



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A LA
PRESENCIA ACTUAL Y FUTURA DEL BÚHO (*Athene cunicularia*)
EN ECUADOR, PERÍODO 2025”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniera Ambiental

Autora:

Acosta Gamboy Evelyn Pamela

Tutor:

Rivera Moreno Marco Antonio

LATACUNGA – ECUADOR

Julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Acosta Gamboy Evelyn Pamela, con cédula de ciudadanía No. 0504085366, declaro ser la autora del presente proyecto de Investigación: **“IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A LA PRESENCIA ACTUAL Y FUTURA DEL BÚHO (*Athene cunicularia*) EN ECUADOR, PERÍODO 2025”**, siendo el Ingeniero Marco Antonio Rivera Moreno, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 25 de julio del 2025



Evelyn Pamela Acosta Gamboy
C.C:0504085366
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ACOSTA GAMBOY EVELYN PAMELA**, identificado con cédula de ciudadanía **0504085366** de estado civil casada, a quién en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quién en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A LA PRESENCIA ACTUAL Y FUTURA DEL BÚHO (*Athene cunicularia*) EN ECUADOR, PERÍODO 2025**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: octubre 2020 – marzo 2021

Finalización de la carrera: abril 2025 – agosto 2025

Tutor: Ing. Rivera Moreno Marco Antonio, Mg.

Tema: “**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A LA PRESENCIA ACTUAL Y FUTURA DEL BÚHO (*Athene cunicularia*) EN ECUADOR, PERÍODO 2025**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

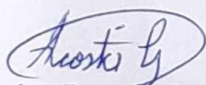
CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho de explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere velarse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución por las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare. En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, 25 de julio del 2025.



Evelyn Pamela Acosta Gamboy
LA CEDENTE

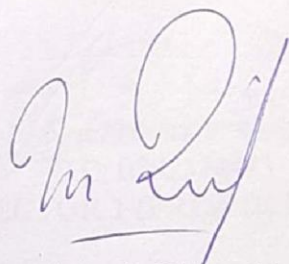
Dra. Idalia Pacheco Tigselema, PhD.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A LA PRESENCIA ACTUAL Y FUTURA DEL BÚHO (*Athene cunicularia*) EN ECUADOR, PERÍODO 2025”, de Acosta Gamboy Evelyn Pamela, de la Carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Predefensa.

Latacunga, 25 de julio del 2025



Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg

CC: 0501518955

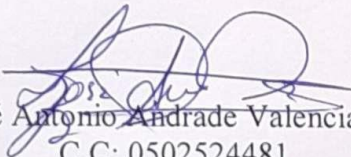
DOCENTE TUTOR

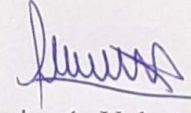
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

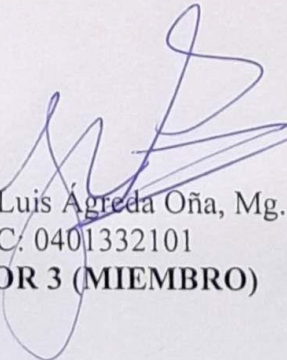
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cótopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Acosta Gamboy Evelyn Pamela, con el título del Proyecto de “**Identificación de áreas vulnerables a la presencia actual y futura del búho (*Athene cunicularia*) en Ecuador, período 2025**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 25 de julio del 2025


Dr. José Antonio Andrade Valencia, Ph.D.
C.C: 0502524481
LECTOR 1 (PRESIDENTE)


Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia, Mg.
C.C: 0502547649
LECTOR 2 (MIEMBRO)


Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.
C.C: 0401332101
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por escuchar todas mis oraciones, por darme salud, sabiduría y la perseverancia necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mi esposo por su amor, compañía y apoyo incondicional. Gracias por creer en mí y animarme a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mis dos hijos por ser mi motor y mi mayor alegría, este logro principalmente es para ellos.

A mis padres y hermano por sus consejos, apoyo y sacrificio. Gracias por ser mi guía y sostén desde el inicio de este camino.

A mis docentes y en especial a mi tutor de tesis, por su orientación, dedicación y apoyo constante durante el desarrollo de este proyecto. A toda mi familia por su amor, apoyo y comprensión. Gracias por siempre estar para mí ante cualquier situación.

Acosta Gamboy Evelyn Pamela

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mi esposo Jonathan, por ser mi compañero incondicional, por su paciencia, comprensión y por apoyarme en cada paso de este camino. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

A mis hijos Juan y Fiorella, mi mayor fuente de inspiración, quienes con su amor y alegría me impulsan a seguir adelante. Todo este esfuerzo es por y para ustedes.

A mis padres Angel y Maritza, por su ejemplo de fortaleza, por enseñarme a luchar por mis sueños y por estar siempre presentes con su amor y apoyo incondicional.

Y a mi hermano Paul, por su compañía, sus palabras de aliento y por ser parte fundamental en mi vida.

A todos ustedes, les entrego este logro, que es también fruto de su cariño, sacrificio y confianza en mí.

Acosta Gamboy Evelyn Pamela

TÍTULO: “IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A LA PRESENCIA ACTUAL Y FUTURA DEL BÚHO (*Athene cunicularia*) EN ECUADOR, PERÍODO 2025”.

Autora:
Acosta Gamboy Evelyn Pamela

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad identificar las áreas más vulnerables a la presencia actual y futura del búho (*Athene cunicularia*) en el Ecuador continental, mediante el uso de herramientas de modelamiento ecológico espacial. Esta especie, conocida comúnmente como búho terrestre o mochuelo de madriguera, habita principalmente ecosistemas abiertos y secos, y su distribución puede verse afectada por las variaciones climáticas proyectadas para las próximas décadas. Se utilizó el algoritmo MaxEnt (Máxima Entropía), ampliamente validado para modelar nichos ecológicos utilizando únicamente datos de presencia. Para ello, se recopilaron registros georreferenciados de la especie desde plataformas como GBIF e iNaturalist, los cuales fueron depurados para asegurar su calidad. Se incorporaron variables bioclimáticas actuales y futuras, basadas en proyecciones del modelo CanESM5 (CMIP6), a través de WorldClim v2.1. Se consideraron tres escenarios temporales: 2025 (actual), 2060 y 2090, evaluando posibles cambios en la distribución. Los resultados muestran una alta idoneidad climática para la especie en la región interandina y ciertos sectores costeros, aunque con una tendencia a la reducción de estos hábitats en los escenarios futuros, especialmente en el centro y norte del país. En particular, se identificaron como provincias más vulnerables: Pichincha, Cotopaxi, Cañar y Chimborazo, debido a la pérdida progresiva de idoneidad ambiental bajo escenarios de cambio climático. Por otro lado, provincias como Loja y Azuay mantienen condiciones climáticas favorables, lo que podría convertirlas en refugios ecológicos clave en el futuro. El modelo generó un AUC promedio de 0.944, lo que indica un excelente desempeño predictivo. Esta investigación proporciona información clave para la toma de decisiones en planificación ambiental, conservación de hábitats y diseño de estrategias adaptativas frente al cambio climático.

Palabras clave: biodiversidad, búho de madriguera, cambio climático, distribución potencial, Ecuador, modelamiento MaxEnt, provincias vulnerables.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

THEME: “IDENTIFICATION OF AREAS VULNERABLE TO THE CURRENT AND FUTURE PRESENCE OF THE BURROWING OWL (*Athene cunicularia*) IN ECUADOR, PERIOD 2025”.

Author:
Acosta Gamboy Evelyn Pamela

ABSTRACT

The purpose of this research is to identify the areas most vulnerable to the current and future presence of the burrowing owl (*Athene cunicularia*) in mainland Ecuador, using spatial

ecological modeling tools. This species, commonly known as the burrowing owl or ground owl, inhabits mainly open, dry ecosystems, and its distribution may be affected by the climate variations projected for the coming decades. The MaxEnt (Maximum Entropy) algorithm, widely validated for modeling ecological niches using only presence data, was used. To this end, georeferenced records of the species were collected from platforms such as GBIF and iNaturalist, which were cleaned to ensure their quality. Current and future bioclimatic variables were incorporated, based on projections from the CanESM5 (CMIP6) model, through WorldClim v2.1. Three time scenarios were considered: 2025 (current), 2060, and 2090, evaluating possible changes in distribution. The results show high climatic suitability for the species in the inter-Andean region and certain coastal areas, although with a tendency toward a reduction in these habitats in future scenarios, especially in the center and north of the country. In particular, the provinces of Pichincha, Cotopaxi, Cañar, and Chimborazo were identified as the most vulnerable due to the progressive loss of environmental suitability under climate change scenarios. On the other hand, provinces such as Loja and Azuay maintain favorable climatic conditions, which could make them key ecological refuges in the future. The model generated an average AUC of 0.944, indicating excellent predictive performance. This research provides key information for decision-making in environmental planning, habitat conservation, and the design of adaptive strategies to climate change.

KEYWORDS: Biodiversity, Burrowing owl, Climate change, Potential distribution, Ecuador, MaxEnt modeling, Vulnerable provinces.

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iv
<i>AGRADECIMIENTO</i>	viii
<i>DEDICATORIA</i>	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	x
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
4.1. Beneficiarios directos.....	4
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5

5.1. Formulación del problema	6
6. OBJETIVOS	6
6.1. OBJETIVO GENERAL	6
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA	8
8.1. Las aves	8
8.1.2. Características	8
8.1.3. Clasificación Taxonómica del Búho	9
8.1.4. Descripción del Orden Strigidae	9
8.1.5. Descripción de la Familia Strigidae	10
8.1.5.1. Búhos	10
8.1.5.2. Mochuelos	10
8.1.5.3. Autillos	10
8.1.5.4. Cárabos	11
8.1.5.5. Caburés	11
8.1.5.6. Tecolotes	11
8.2. Ecología del Búho (<i>Athene cunicularia</i>)	11
8.2.1. Distribución	12
8.2.3. Dieta	13
8.3. Cambio climático	13
8.4. Modelamiento	14
8.4.2. Modelos de distribución de especies	14
8.4.3. MaxEnt	16
8.4.3.1. Fundamento teórico del modelo de máxima entropía (<i>MaxEnt</i>)	17
8.4.3.2. Aplicaciones de modelos de distribución de especies utilizando el programa MaxEnt	18

8.4.3.3. Limitantes del Modelo MaxEnt	18
8.4.4. Registros de presencia.....	19
8.4.5. Variables Bioclimáticas	19
8.4.5.1. WorldClim.....	20
8.4.6. Sistema de información geográfica.....	22
8.4.6.1. QGIS	22
8.4.7. Los Modelos de Circulación General (MCG).....	23
8.4.7.1. Escenarios climáticos	24
8.5. Marco Legal	26
8.5.2. Constitución del Ecuador	26
8.5.3. Código Orgánico del Ambiente (COA)	26
8.5.4. Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB).....	27
8.5.5. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	27
9. PREGUNTAS DE INVESTIGACION.....	27
10. AREA DE ESTUDIO	28
11. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
11.1. Diseño Metodológico	30
11.1.1. Tipo de Investigación.....	30
11.1.1.1. Cuantitativa	30
11.1.1.3. Descriptiva	30
11.1.1. Métodos.....	31
11.1.1.2. Método inductivo	31
11.1.1.3. Método de modelación ecológica	31
11.1.2. Técnica.....	31
11.1.2.2. Elaboración del modelo de distribución potencial.....	31
11.2. Selección de registros de presencia.....	31
11.3. Preparación de datos de entrada para el modelamiento	33

11.4. Modelación.....	35
11.4.1.2. Validación estadística del modelo (AUC, ROC, OMISION)	36
11.5. Metodología del modelamiento.....	36
12. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	38
12.1. Análisis ecológico y bioclimático	38
12.2. Modelamiento de distribución de la especie	41
12.2.1. Distribución y modelamiento potencial actual de <i>Athene cunicularia</i>	41
12.2.2. Distribución potencial de <i>Athene cunicularia</i> en el año 2060	42
12.2.2.1. Distribución potencial de <i>Athene cunicularia</i> bajo el modelo de circulación general atmosférica CCCMA 2060	43
12.2.3. Distribución potencial de <i>Athene cunicularia</i> en el año 2090	44
12.2.3.1. Distribución potencial de <i>Athene cunicularia</i> bajo el modelo de circulación general atmosférica CCCMA 2090.....	45
12.2.4. Rendimiento del modelo: AUC, TSS y el umbral óptimo	46
12.2.5. Validación estadística del modelo.....	47
12.2.6. Análisis Jacknife del AUC	50
12.2.7. Zonas con idoneidad climática.....	51
12.3. Identificación de Zonas vulnerables y áreas prioritarias.....	51
12.3.1. Comparación espacial entre los modelos (2025-2060-2090).....	51
12.3.2. Provincias vulnerables	53
12.4. Impactos causados por el cambio climático en la distribución de <i>Athene cunicularia</i>	55
13. Conclusiones y Recomendaciones	56
13.1. Conclusiones	56
13.2. Recomendaciones.....	56
BIBLIOGRAFIA	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Beneficiarios directos e indirectos	4
Tabla 2: Actividades y tareas de objetivos	7
Tabla 3: Condiciones meteorológicas generales en las provincias de presencia de Athene cunicularia en Ecuador	31
Tabla 4: Registro de presencia utilizados en el modelamiento	33
Tabla 5: Selección de variables bioclimáticas de Athene cunicularia	42
Tabla 6: Validación estadística de AUC	49
Tabla 7: Validación estadística del umbral de corte	50
Tabla 8: Comparación entre modelos	53
Tabla 9: áreas vulnerables	56

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Athene cunicularia	12
Ilustración 2: Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies	16
Ilustración 3: Variables Bioclimaticas de WorldClim	22
Ilustración 4: Árbol de escenarios con las cuatro familias (SRES)	26
Ilustración 5: Área de estudio de ubicación de Athene cunicularia	30
Ilustración 6: Registro de presencia del búho Athene cunicularia en Ecuador.	34
Ilustración 7: Variables Bioclimaticas de WorldClim	36
Ilustración 8: Distribución potencias actual	43
Ilustración 9: Distribución potencial futura de Athene cunicularia en el Ecuador escenario 2060	44
Ilustración 10: Distribución potencial futura de Athene cunicularia en el Ecuador escenario 2090	46
Ilustración 11: Resultado de AUC para Athene cunicularia	49
Ilustración 12: Prueba de Jacknife de las variables bioclimáticas de la especie Athene cunicularia	52

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título de investigación

Identificación de áreas vulnerables a la presencia actual y futura del búho (*Athene cunicularia*) en Ecuador, período 2025

Fecha de inicio

Abril 2025

Fecha de finalización

Agosto 2025

Lugar de ejecución

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

Parroquia: Eloy Alfaro

Barrio: Salache Bajo

Institución

Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia

Ingeniería Ambiental

Nombres de equipo de investigación Tutor de investigación

Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

Lector 1 (presidente): Ing. José Antonio Andrade Valencia, Ph.D.

Lector 2: Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia, Mg.

Lector 3: Ing. José Luis Ágrede Oña, Mg.

Estudiante:

Acosta Gamboy Evelyn Pamela

Línea de investigación

Conservación de la biodiversidad, cambio climático y modelamiento ecológico.

Línea de vinculación

Gestión ambiental territorial para la conservación de ecosistemas.

2. INTRODUCCIÓN

El búho *Athene cunicularia*, también se la conoce como búho terrestre o como mochuelo de la madriguera, es una especie de ave nocturna que forma parte de la familia *Strigidae* (König et al., 2008). Esta especie, a diferencia de la mayoría de los búhos, pasan largas dosis de su tiempo en el suelo y anida en madrigueras, las cuales en ocasiones aprovecha los huecos cavados por otros animales como los roedores o los armadillos (Camino Mena & Rueda Pasmay, 2024). Es un ave de tamaño mediano, con ojos grandes de color amarillo, con cejas prominentes y con pies largos (con función de correr). Su distribución es amplia: abarca desde Canadá hasta el sur de América del Sur, incluyendo zonas áridas, sabanas, pastizales y áreas agrícolas. Es un cazador que aprovecha al alimentarse principalmente de insectos, pero también de pequeños mamíferos y reptiles (RodríguezVillamil et al., 2022)

En palabras de (Phillips et al., 2006), los modelos de distribución de especies permiten reconocer áreas en las que se dan una serie de condiciones ecológicas determinadas para la existencia de una especie a partir de los datos: de ocurrencias y de los factores ambientales. Por lo tanto, dicha herramienta puede ser un instrumento muy útil para anticipar cambios en la distribución de las especies en diferentes escenarios de cambio (Elith et al., 2011). De esta manera, el presente trabajo utiliza estas tecnologías para afrontar la ecología del búho *Athene cunicularia* su distribución actual y futura, y así proponer un manejo ante alguna posible amenaza en la región andina ecuatoriana.

El objetivo de este estudio es analizar las zonas con mayor susceptibilidad para la presencia actual y futura del búho *Athene cunicularia* en el Ecuador para el año 2025. Esta especie de búho, más comúnmente conocida como el mochuelo de madriguera, presenta algunas particularidades en sus características ecológicas porque vive en terrenos secos y abiertos, anida en madrigueras subterráneas y tiene hábitos diurnos, a diferencia de lo que ocurre con el resto de los búhos (Haug et al., 2021). En los últimos años, los ecosistemas andinos han sufrido una progresiva presión por el uso que los seres humanos han ido haciéndoles (la expansión agrícola, el aumento del ganado o el crecimiento urbano), el cual afecta bastante a esta especie (Baladrón et al., 2016).

3. JUSTIFICACIÓN

La investigación se basa en identificar áreas vulnerables actuales y futuras del búho (*Athene Cunicularia*) en Ecuador, la acelerada transformación de los patrones climáticos a escala global ha generado importantes desafíos para la conservación de la biodiversidad, especialmente para especies que dependen de condiciones ambientales específicas para su supervivencia y reproducción. En el caso del Ecuador, país reconocido por su alta diversidad ecológica, estas transformaciones pueden alterar significativamente la distribución de especies, modificando la composición y funcionalidad de los ecosistemas (González Sánchez et al., 2013). Ante este escenario, se hace indispensable el desarrollo de herramientas que permitan pronosticar la respuesta espacial de las especies al cambio climático, y de esa forma orientar procesos de planificación territorial y conservación.

El búho *Athene cunicularia* es una especie que habita principalmente en ecosistemas abiertos, áridos o semiáridos, con suelos blandos donde construye sus madrigueras. Su presencia suele estar asociada a paisajes antropizados como cultivos, pastizales, bordes de carreteras y áreas urbanas periféricas. Esto la convierte en una especie sensible tanto a la variabilidad climática como a la expansión del uso del suelo. A pesar de su amplia distribución continental, existe poca información sobre su comportamiento ecológico en el contexto ecuatoriano, y aún menos sobre cómo podría verse afectada bajo escenarios climáticos futuros (González Sánchez et al., 2013).

Este trabajo se justifica en la necesidad de generar conocimiento científico que contribuya a identificar las zonas con mayor susceptibilidad a cambios en la distribución de la especie, permitiendo así tomar decisiones basadas en evidencia técnica. El uso del algoritmo *MaxEnt*, junto con datos climáticos proyectados y registros de presencia validados, proporciona una metodología sólida y reproducible para la estimación de la distribución potencial de la especie en el tiempo. Adicionalmente, este tipo de análisis permite detectar áreas vulnerables que podrían requerir acciones específicas de manejo, restauración o monitoreo a largo plazo.

El desarrollo de este estudio también responde a las políticas nacionales e internacionales de conservación que promueven la integración del cambio climático en los procesos de evaluación ambiental. Su aplicación puede tener implicaciones prácticas para planes de ordenamiento territorial, gestión de áreas protegidas y educación

ambiental. En definitiva, la investigación representa un aporte importante a la ciencia aplicada para la gestión adaptativa de la biodiversidad, con especial énfasis en especies que cumplen funciones ecológicas clave en ecosistemas abiertos.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios directos

Tabla 1: Beneficiarios directos e indirectos

Tipo de beneficiario	Descripción	% estimado	N° de personas aprox.
Directos	Estudiantes universitarios, docentes, investigadores técnicos ambientales y	0.3%	55.000
	Instituciones académicas ambientales, (MAATE, GADs, ONGs, universidades)	0.1%	18.000
Subtotal Directos		0.4%	73.000

Tipo de beneficiario	Descripción	% estimado	N° de personas aprox.
Indirectos	Población rural y urbana de la Sierra ecuatoriana	10%	1.830.000
	Agricultores, comunidades locales, sectores productivos vulnerables al cambio climático	3%	550.000
	Tomadores de decisiones, GADs, actores sociales	2%	366.000
Subtotal Indirectos		15%	2.746.000

Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A escala global, el cambio climático ha alterado significativamente los ecosistemas y la biodiversidad. Las aves, como el búho *Athene cunicularia*, se ven afectadas por el aumento de la temperatura, cambios en los patrones de precipitación y la fragmentación de hábitats naturales. En países megadiversos como Ecuador, estos efectos amenazan la conservación de especies clave y el equilibrio ecológico. A pesar de los compromisos internacionales sobre biodiversidad, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), persiste una falta de estudios integrales que permitan anticipar el impacto del clima sobre la distribución de fauna nativa.

En el contexto nacional, Ecuador atraviesa una transformación del uso del suelo por expansión urbana, agrícola y ganadera, especialmente en la región interandina y la costa. Esto modifica los paisajes abiertos donde habita el búho *Athene cunicularia*, una especie que depende de ambientes áridos o semiáridos. Sin embargo, no se cuenta con información suficiente que permita prever su distribución futura ni identificar con precisión qué zonas del país serán más vulnerables ante el cambio climático. Esta falta de información técnica limita la planificación territorial, la implementación de corredores ecológicos y las estrategias de conservación ambiental por parte de los GADs, MAATE y otras instituciones responsables.

El búho *Athene cunicularia*, o búho terrestre, es una especie que vive en varios ecosistemas abiertos, tales como praderas y zonas intervenidas. No obstante, el cambio climático y la ampliación de las actividades humanas pueden influir en su distribución y supervivencia. En Ecuador, el reconocimiento de zonas en peligro debido a su presencia presente y venidera es esencial para el diseño de estrategias de preservación y gestión de la biodiversidad. La ausencia de investigaciones actuales acerca de la posible distribución de esta especie en el país obstaculiza la realización de elecciones fundamentadas. Así pues, este análisis tiene como objetivo examinar las condiciones ambientales que promueven la presencia de *Athene cunicularia* y modelar su distribución en escenarios futuros para el 2025.

5.1. Formulación del problema

¿La posible distribución del Búho *Athene Cunicularia* a lo largo del tiempo, vinculada al factor climático y al factor humano, tiene un impacto en la elección de áreas potencialmente vulnerables a la presencia de la especie en el Ecuador?

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar las zonas con mayor susceptibilidad para la presencia actual y futura del búho *Athene cunicularia* en el Ecuador, considerando proyecciones ambientales al año 2025.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los principios ecológicos clave relacionados con la distribución del búho *Athene cunicularia* para integrarlos en modelos predictivos.
- Modelar la distribución potencial actual y futura del búho *Athene cunicularia* en todo el Ecuador.
- Identificar zonas críticas de vulnerabilidad ante la posible presencia del búho *Athene cunicularia*, con base en los resultados de modelación espacial.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

Tabla 2: Actividades y tareas de objetivos

Objetivo específico	Actividad	Metodología	Resultado esperado/obtenido
Objetivo 1			
Investigar principios ecológicos relacionados con la distribución del búho <i>Athene cunicularia</i> para integrarlos en modelos predictivos.	los Revisión de literatura clave artículos, tesis y	Revisión de bibliográfica y análisis teórico plataformas especializadas	Marco conceptual y ecológico sobre la especie y su distribución potencial
Objetivo 2			
Modelar la distribución potencial actual y futura del búho <i>Athene cunicularia</i> en todo el Ecuador.	la Modelamiento espacial con <i>MaxEnt</i> , QGIS	Recopilación de registros, obtención de capas bioclimáticas, modelamiento con <i>MaxEnt</i> (2025, 2060, 2090)	Mapas de distribución continua, clasificada y binaria con validación estadística (AUC = 0.944)
Objetivo 3			
Identificar zonas críticas de vulnerabilidad ante la posible presencia del búho <i>Athene cunicularia</i>, con base en los resultados de modelación espacial.	zonas Análisis comparativo y síntesis	espacial y mapas binarios, comparación temporal, clasificación por provincias	de Tabla de provincias vulnerables, mapas temáticos por escenarios, áreas prioritarias de conservación

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA

8.1. Las aves

8.1.2. Características

Dado que las aves son endotérmicas, su vuelo demanda una considerable cantidad de energía que requiere un metabolismo elevado. Similar a los mamíferos, que también son endotérmicos, las aves poseen un aislamiento que conserva la temperatura corporal. Sus plumas funcionan de manera especial como aislantes y el aire que se infiltra entre cada pluma contribuye a disminuir la tasa de disipación de calor. Las plumas no solo funcionan como un aislamiento, sino que también facilitan vuelos elevados en el firmamento. Las plumas del ala poseen una estructura elástica, lo que permite que las plumas grupales se desplacen y se distancien a medida que el aire se desplaza por ellas, disminuyendo así las señales del mismo (Trofino Falasco, 2023).

Según (Seco et al., 2022) las aves representan una clase de seres vertebrados y de sangre caliente, cuyo cuerpo está revestido de plumas de variados colores y cuyos huesos de tamaño reducido les permiten, en la mayoría de las situaciones, volar, saltar o, al menos, mantenerse en actividad. Son capaces de alimentarse y comunicarse mediante un pico córneo sin dientes, que se ha ajustado a los distintos biomas que estos animales habitan, entre los más variados y diversos. No todas las aves poseen la capacidad de volar, sin embargo, muchas de ellas nadan, planean, saltan o incluso corren con rapidez. Numerosas de estas se identifican como mascotas, especialmente las que tienen un canto dulce.

Los pájaros forman sector del grupo de animales tetrápodos, queriendo exponer esto que tienen cuatro miembros. Tanto ya se ha refrán, sus dos miembros delanteros manera las alas, mientras que los miembros traseros tener las patas, que pueden diferenciarse en imagen y función. Pellizco que destaca a las aves y las hace únicas es su tacto para escribir huevos (Enríquez Rocha, 2019).

Para (Paiva et al., 2010) las aves han experimentado una notable serie de adaptaciones, como la capacidad de volar, un rasgo que ha influido en casi todos los aspectos de su anatomía y comportamiento, desde las especies que no se apartan de la superficie de la tierra hasta las que pueden realizar migraciones de varios miles de kilómetros, adaptándose así a una campo extraordinariamente amplio de tipos de ambientes y recursos alimentarios.

Ecuador es una de los países más ricos en biodiversidad, en avifauna pues existe alrededor de 1500 especies que han sido registradas en nuestro país, con un 17% de aves conocidas por investigadores o por amantes a las aves, convirtiendo a Ecuador en la primera potencia mundial en respecto a las aves encontradas.

8.1.3. Clasificación Taxonómica del Búho

Reino: Animalia

Subreino: Eumetazoa

Tipo (filo): Chordata

Subfilo: Vertebrata

Clase: Aves

Orden: Strigiformes

Familia: Strigidae

Género: Athene

Especie: *Athene Curnicularia*

Nombre Común: Búho terrestre, mochuelo de madriguera

8.1.4. Descripción del Orden Strigidae

Los Strigidae conforman un orden de aves el cual esta caracterizado por:

- Cabeza ancha y redondeada, con ojos frontales grandes.
- Pico corto, curvado hacia abajo, adaptado para desgarrar carne.
- Alas anchas y redondeadas; vuelo silencioso gracias a la estructura especial de las plumas.
- Garras fuertes, curvas y afiladas, con dedos prensiles adaptados a la captura de presas.
- Oídos asimétricos en muchas especies, lo que mejora la localización auditiva.
- Comportamiento predominantemente nocturno, aunque algunas especies son diurnas o crepusculares.
- Plumaje críptico que permite camuflaje en el entorno.

(Animales, 1970)

8.1.5. Descripción de la Familia Strigidae

Para Cholewiak (2015), la familia *Strigidae* comprende a los búhos típicos, un grupo diverso de aves rapaces nocturnas que se encuentran en todo el mundo, excepto en la Antártida. Estas aves habitan diversos ecosistemas, desde selvas tropicales hasta zonas áridas, adaptándose morfológica y ecológicamente a una gran variedad de condiciones ambientales. Se alimentan principalmente de pequeños mamíferos, aves, reptiles e insectos, y se caracterizan por su vuelo silencioso, excelente visión nocturna y agudo sentido del oído.

Las principales formas en que se presentan los miembros de esta familia son:

8.1.5.1. Búhos

Son aves de gran tamaño, con ojos frontales prominentes, picos curvos y garras poderosas. La mayoría son de hábitos nocturnos y presentan plumajes crípticos que les permiten camuflarse en su entorno. Se destacan por su vuelo sigiloso y su capacidad para cazar en total oscuridad (Cadena-Ortiz et al., 2018).

8.1.5.2. Mochuelos

Son más pequeños que los búhos, de aspecto robusto y cabeza redonda. Tienen comportamientos diurnos o crepusculares en algunas especies, como el mochuelo común (*Athene noctua*) y el búho terrestre (*Athene cunicularia*). Se les encuentra en áreas abiertas, zonas rurales y desérticas (Secretaría Distrital de Planeación, 2019).

8.1.5.3. Autillos

Pequeños búhos de orejas prominentes, con plumaje muy críptico que los camufla entre las cortezas de los árboles. Son estrictamente nocturnos y se especializan en la caza de insectos. Se conocen por sus cantos melancólicos, como el autillo europeo (*Otus scops*) (Téllez, 2019).

8.1.5.4.Cárabos

Son aves medianas a grandes, sin “orejas” visibles, con disco facial bien marcado. Prefieren hábitats forestales y anidan en cavidades de árboles. Ejemplo notable: el cárabo común (*Strix aluco*) (Lopez, 2016).

8.1.5.5.Caburés

Término usado especialmente en Sudamérica para pequeños búhos del género *Glaucidium*. Son activos durante el día y se alimentan de insectos y pequeños vertebrados. Tienen un canto particular y territorial.

8.1.5.6.Tecolotes

Nombre común en México y Centroamérica, aplicable a diversas especies del género *Megascops* y *Glaucidium*. Son conocidos culturalmente y aparecen en muchas leyendas locales.

8.2. Ecología del Búho (*Athene cunicularia*)

Ilustración 1: Athene cunicularia



Fuente: Macaulay Library, Cornell Lab of Ornithology

Para (Orihuela-Torres et al., 2018) su nombre científico *Athene cunicularia* proviene del griego y del latín, su término “*Athene*” se debe al nombre de la diosa griega Atena, antiguamente relacionaban a los búhos como un símbolo de sabiduría, en este caso “*cunicularia*” es un epíteto el cual proviene derivado del latín *cuniculus* lo que significa “madriguera” o “conejo” haciendo referencia a la particularidad del comportamiento que tiene dicha especie de realizar excavaciones de túneles subterráneos como nidos y refugio.

Esta especie se caracteriza por el uso de madrigueras subterráneas son diferentes de otros búhos ya que estos se refugian en madrigueras subterráneas dentro del suelo, estos excavan por sí mismos u ocupan huecos realizados por perros, armadillos, ardillas, etc. Poseen patas largas estas son más largas que de los búhos comunes, es una gran ventaja pues les permite caminar y correr fácilmente sobre el suelo muy útil para su vida terrestre. A diferencia de otros búhos que son nocturnos, estos búhos tiene la ventaja de que son muy activos en el día y en la noche aunque su actividad más recurrente es en el amanecer y atardecer (Velasco et al., 2022),

8.2.1. Distribución

Para (Enríquez, 2015) *Athene cunicularia* se distribuye principalmente por América Latina hasta América del Sur, ocupando zonas áridas, semiáridas y pastizales abiertos puesto que esta especie se adapta a lugares abiertos, en Ecuador esta especie se encuentra principalmente en la parte litoral, principalmente en las provincias de Manabí, Santa Elena, Guayas y Esmeraldas, también en la parte interandina de la sierra Ecuatoriana como lo es en las provincias de Pichincha, Imbabura, Cotopaxi y Chimborazo, ya que se estos se adaptan a terrenos agrícolas abiertos y semiurbanos. Estos se encuentran entre los 0 y 3.000 m s.n.m, principalmente en suelos abiertos y secos, estos evitan los lugares húmedos y forestados puesto que ellos prefieren los lugares abiertos.

8.2.2. Costumbres e importancia

Es un tipo de búho que, a diferencia de la mayoría de las criaturas nocturnas, está activa durante el día y el anochecer, lo que ayuda a ver las cosas durante la luz del día es una especie muy especial. Ellos residen en agujeros subterráneos, frecuentemente excavados solos o utilizando pasillos hechos por otras criaturas como los roedores (Cabrera, 2018). Sus acciones son claramente territoriales, particularmente durante su período de reproducción, cuando hacen sonidos agudos y toman posturas protectoras contra los extraños. Con frecuencia se encuentra junto a la puerta de su casa o en postes cortos, en vigas, en ramas vigilando su área de cualquier depredador (Aspur-Blanco et al., 2022).

8.2.3. Dieta

Según (Cadena-Ortíz et al., 2016) *Athene cunicularia* presenta una alimentación variada y flexible, cazando presas a sus alrededores. Su comida consiste principalmente en insectos como saltamontes, grillos, escarabajos y polillas nocturnas, pero también come mamíferos pequeños, particularmente roedores y otras criaturas como reptiles, lagartijas, ranas y regiones agrícolas, puede ganar de la presencia abundante de muelas, que fortalece su función ecológica como un regulador de plagas natural.

Durante la época de cría, su alimentación se vuelve más variada para satisfacer las altas demandas de energía de las crías, cazando animales más grandes para su alimentación. También, se ha notado que guardan o almacenan la comida cerca de sus nidos, una costumbre que les ayuda a tener provisiones cuando hay menos recursos esto sucede por temporadas. Su habilidad para cazar durante el día y al anochecer les da una ventaja frente a otros búhos nocturnos con costumbres más limitadas (Martínez et al., 2018).

8.3. Cambio climático

El calentamiento global representa un reto ambiental muy complicado en este siglo, afectando cada vez más a los ecosistemas y la vida silvestre por todo el mundo. Las modificaciones en los regímenes de temperatura, lluvia, humedad y fenómenos climáticos severos están transformando las condiciones de vida de incontables especies animales y vegetales. Ante esta situación, la habilidad de las especies para ajustarse, moverse a otros lugares o sobrevivir frente a cambios ambientales rápidos es crucial para la protección de la biodiversidad (Bárcena et al., 2020).

La fauna silvestre, particularmente las especies con requerimientos ecológicos específicos como *Athene cunicularia*, se ve afectada por estos cambios de forma directa e indirecta. Este búho, también conocido como “búho de madriguera”, es una especie adaptada a ambientes abiertos, áridos o semiáridos, y su presencia se asocia a zonas de baja cobertura vegetal, suelos blandos y actividad agropecuaria extensiva (V Pulido, 2021). Estas condiciones suelen encontrarse principalmente en el callejón interandino y ciertos sectores de la región costera del Ecuador. No obstante, el aumento esperado en la temperatura promedio, junto con los cambios en los patrones de lluvia y las estaciones climáticas en los próximos años, podrían

transformar la composición de estos entornos naturales, impactando así qué tan adecuados son como hogar para esta especie.

Las investigaciones indican que el cambio climático podría impulsar a las especies a trasladarse a altitudes mayores o latitudes diferentes, modificando sus áreas de distribución ya sea reduciéndolas o agrandándolas. Con frecuencia, el éxito de algo depende de la existencia de corredores de vida silvestre funcionales o de espacios habitables fragmentados. De cara al futuro, el búho llanero podría ir perdiendo hábitats adecuados en sus zonas principales y al mismo tiempo, encontrar nuevos lugares adecuados en elevaciones más altas dentro de los Andes del sur, a medida que las condiciones climáticas se mantengan estables allí.

En esta investigación, el cambio climático se incorporó como un aspecto clave del estudio. Se valoró la posible distribución de *Athene cunicularia* para los años 2025 (presente), 2060 y 2090, a partir de variables bioclimáticas actuales y proyectadas. Los resultados muestran una tendencia a la reducción de áreas con alta idoneidad ambiental en el centro y norte andino, así como una posible reconfiguración ecológica de la distribución de la especie. Esta información resulta clave para orientar medidas de manejo adaptativo, priorización de territorios y estrategias de restauración ecológica frente a los impactos proyectados del cambio climático en el país.

8.4. Modelamiento

Se han empleado modelos de distribución de especies (MDE) con el objetivo de analizar sus áreas de distribución actual y futura para anticipar posibles modificaciones que afectan los cambios ambientales. Estos modelos ayudan al análisis de la frecuencia de aparición de la especie y factores del entorno, esto ayuda a la identificación de áreas con hábitats favorables (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

8.4.2. Modelos de distribución de especies

Los modelos de distribución de especies, conocidos como SDM, representan métodos analíticos empleados para pronosticar dónde podría vivir potencialmente una especie. Estos modelos utilizan ubicaciones conocidas donde existe la especie, junto con datos ambientales relacionados. Señalan zonas geográficas probablemente adecuadas para una especie,

considerando la disponibilidad de hábitat, las necesidades ecológicas, las condiciones climáticas y el terreno, por nombrar algunas (Fernández-lópez et al., 2023).

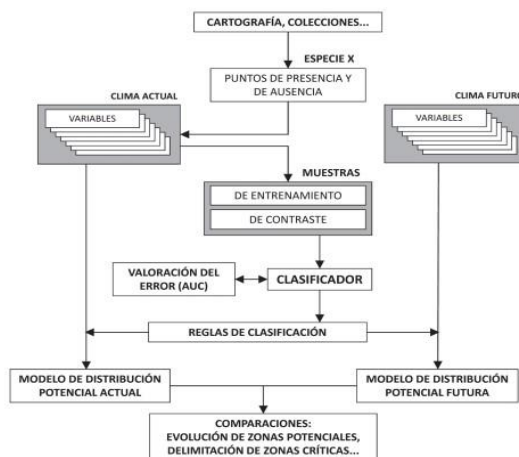
Los SDM han adquirido cada vez mayor importancia recientemente porque son útiles en la biogeografía, el monitoreo de especies, los esfuerzos de conservación y la previsión de cómo el cambio climático afecta la biodiversidad (Fernández-lópez et al., 2023). Nos permiten desarrollar escenarios actuales y futuros, definir prioridades de conservación, medir la amenaza de invasiones biológicas y sugerir áreas para restauración u observación ecológica.

Para desarrollar modelos de distribución, hay varios algoritmos disponibles, que se diferencian por el tipo de información que usan y la dificultad estadística del modelo. Algunos de los más comunes son: MaxEnt (máxima entropía), GARP, Bioclim, Random Forest y Modelos Lineales Generalizados (GLMs). Cada uno tiene sus ventajas y desventajas, pero MaxEnt es el más usado con datos de presencia solamente, gracias a su exactitud, resistencia y sencillez (Fernández-lópez et al., 2023).

En este estudio se usó el modelo de máxima entropía (MaxEnt), ya que *Athene cunicularia* tiene pocos registros seguros, y no hay datos sistemáticos sobre su ausencia. Utilizando este método, pudimos simular dónde se encuentra hoy (en 2025) y anticipar dónde podría vivir dadas diferentes condiciones climáticas en los años 2060 y 2090. Utilizamos factores bioclimáticos de WorldClim v2.1 es un sitio web donde existen modelos climáticos que podemos utilizar para modelamientos.

Los modelos de distribución de especies (Figura 9) comienzan recabando información de datos sobre la existencia o ausencia de especies, además de las condiciones climáticas presentes y futuras. Estos datos se utilizan como ejemplos de aprendizaje y contraste, que se introducen en un modelo predictivo mediante el software *MaxEnt*, para anticipar las áreas donde la especie podría existir. El modelo se valida con indicadores como el AUC (Área Bajo la Curva), y se establecen normas de clasificación para elaborar mapas de distribución en el presente y en el futuro. Por último, se comparan los distintos escenarios para detectar variaciones en la dispersión y en las zonas críticas para su conservación (Mateo et al., 2011).

Ilustración 2: Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies



Fuente: Mateo et al., 2011

8.4.3. MaxEnt

Según (Geoinnova, 2019), *MaxEnt* (Maximum Entropy) es una herramienta ampliamente utilizada para la modelación de la distribución de especies con base en presencia únicamente. Teniendo en cuenta la idea de la entropía máxima, esta utilidad simplifica la tarea de predecir las zonas donde una especie podría vivir. Lo hace combinando datos ambientales con registros confirmados de su presencia en esos lugares. MaxEnt se destaca por su robustez estadística, facilidad de uso y capacidad para trabajar con pequeños conjuntos de datos, lo cual resulta especialmente útil en estudios de conservación de especies poco documentadas.

El proceso inicia con la recopilación de los puntos de presencia de la especie y la selección de capas ambientales relevantes, tales como temperatura, precipitación, altitud, entre otros. Posteriormente, el algoritmo MaxEnt calcula la probabilidad de presencia en cada celda del área geográfica, generando un mapa continuo de idoneidad del hábitat, donde los valores más altos indican condiciones más favorables para la especie (Geoinnova, 2019).

Una de las principales ventajas de aplicar MaxEnt radica en su capacidad para funcionar con muestras pequeñas, además de permitir evaluar la importancia de cada variable ambiental mediante pruebas de contribución y permutación. También permite realizar análisis de respuesta, lo cual facilita la interpretación ecológica de los resultados (Geoinnova, 2019).

El modelo generado se valida mediante técnicas como el AUC (Área Bajo la Curva) y la partición de los datos, lo que permite determinar la precisión del modelo. En resumen, la aplicación de *MaxEnt* ofrece un enfoque robusto para comprender la distribución potencial de

las especies, apoyar estrategias de conservación, y predecir posibles cambios ante escenarios ambientales futuros (Geoinnova, 2019).

8.4.3.1. Fundamento teórico del modelo de máxima entropía (*MaxEnt*)

MaxEnt, o software de modelado de máxima entropía, se destaca como una herramienta favorita para el modelado de nichos ecológicos porque maneja de manera capaz datos de solo presencia. Su funcionamiento depende del principio matemático de máxima entropía. Esto sugiere que, de todas las distribuciones concebibles, la que mejor refleja una realidad parcialmente entendida tiene la mayor entropía. En esencia, es la opción más imparcial y uniforme disponible, que se ajusta a las restricciones que establecen los datos observados (Phillips et al., 2006).

Dentro del ámbito ecológico, este principio se transforma en un marco que proyecta la disposición espacial de una especie. Se basa únicamente en datos de lugares que constatan su presencia y sus características bioclimáticas. MaxEnt mide la probabilidad de encontrarlo en toda el área geográfica y crea un mapa que muestra la idoneidad del hábitat desde 0 (idoneidad nula) hasta 1 (idoneidad máxima). A diferencia de los modelos complejos que necesitan detalles de presencia y ausencia, MaxEnt se destaca por su resistencia, facilidad y sólidas habilidades predictivas (Phillips et al., 2006).

Este enfoque de modelado resulta especialmente útil para especies como el búho llanero, donde los datos de campo a menudo consisten en registros de presencia de bases de datos como GBIF o plataformas colaborativas como eBird e iNaturalist. Utilizando MaxEnt, es factible generar evaluaciones sólidas de su rango potencial, aun cuando los intentos de muestreo sean variables en toda la extensión del territorio.

Además, el software proporciona varias ventajas técnicas: permite crear curvas de respuesta para cada factor, analizar cuánto contribuyen las variables ambientales al modelo, ayuda a elaborar validaciones cruzadas y permite calcular métricas estadísticas como el área bajo la curva (AUC), que promedia 0.944. En este trabajo, se demuestra un poder predictivo realmente bueno.

En consecuencia, MaxEnt ha sido bien validado y sugerido en artículos científicos para la investigación en biodiversidad y biogeografía, la planificación de áreas protegidas y la

evaluación de cómo el cambio climático impacta las áreas de distribución de las especies. Aquí, nos permitió modelar con precisión el rango de distribución del búho llanero en las condiciones actuales (2025) y proyectadas para 2060 y 2090, empleando capas climáticas de CMIP6 a través de WorldClim. Los datos resultantes son un insumo esencial para identificar áreas vulnerables y orientar tácticas de conservación en medio del cambio climático.

8.4.3.2. Aplicaciones de modelos de distribución de especies utilizando el programa MaxEnt

Según (Lissovsky & Dudov, 2021), MaxEnt es una herramienta ampliamente utilizada para la creación de modelos de distribución de especies, basada en el principio de máxima entropía. Esta metodología permite proyectar la distribución potencial de una especie utilizando únicamente registros de presencia y variables ambientales, lo que facilita su uso en estudios de biodiversidad, conservación y cambio climático. Gracias a su diseño pensado para ser fácil de usar, junto con una interfaz gráfica que resulta bastante amigable, se transforma en una alternativa accesible y muy efectiva para quienes investigan y los técnicos del medio ambiente.

MaxEnt funciona a través de algoritmos que identifican la distribución más uniforme (o de máxima entropía) bajo las restricciones impuestas por los datos ambientales de los sitios donde la especie ha sido registrada. De este modo, la herramienta estima la probabilidad de presencia de la especie en otras áreas con condiciones ambientales similares, generando mapas de idoneidad ecológica altamente precisos y reproducibles (Lissovsky & Dudov, 2021).

En esta investigación, se recurrió a MaxEnt para crear un modelo de la presencia actual y futura del búho (*Athene cunicularia*) en Ecuador, considerando proyecciones climáticas hasta el año 2025. Esto facilita la identificación de áreas donde la especie tiene más posibilidades de encontrarse en distintos contextos ambientales, siendo fundamental para diseñar planes de protección y para identificar zonas de riesgo frente al cambio climático (Lissovsky & Dudov, 2021).

8.4.3.3. Limitantes del Modelo MaxEnt

En este estudio, utilizamos MaxEnt para construir un modelo que refleje tanto la distribución actual como la futura del búho (*Athene cunicularia*) en Ecuador. Para ello, se consideraron proyecciones climáticas hasta el año 2025. El objetivo es identificar las áreas

donde la especie tendría mayor probabilidad de encontrarse en diversos contextos ambientales. Esto es fundamental para diseñar estrategias de conservación y para identificar zonas susceptibles al cambio climático (Hernández et al., 2018).

Específicamente, la calidad del modelo depende directamente de la exactitud y representatividad de los datos de entrada, como los registros de presencia y las variables ambientales seleccionadas. En caso de que la información geográfica contenga fallos en su ubicación, no esté al día o su disposición en el espacio sea incorrecta, es posible que el modelo genere predicciones alejadas de la realidad o con escasa fiabilidad. Además, MaxEnt no considera factores ecológicos complejos como la interacción entre especies, la dispersión o la competencia por recursos, lo que puede limitar su aplicabilidad en contextos más dinámicos o influenciados por actividades antrópicas (Hernández et al., 2018).

Por último, aunque su interfaz es sencilla, la interpretación de los resultados requiere un conocimiento técnico adecuado, ya que una mala parametrización del modelo puede llevar a inferencias equivocadas sobre las áreas adecuadas para la especie analizada.

8.4.4. Registros de presencia

Un registro de presencia es un dato georreferenciado que indica la localización específica donde una especie ha sido observada o encontrada en un momento determinado. Este tipo de registro representa evidencia directa de la existencia de la especie en ese lugar, y constituye la base fundamental para estudios de biodiversidad, monitoreo ecológico y la elaboración de modelos de distribución de especies. Los registros suelen incluir información como el nombre científico, coordenadas geográficas (latitud y longitud), fecha de observación, altitud y fuente del dato (Maciel-Mata et al., 2015).

8.4.5. Variables Bioclimáticas

Las variables bioclimáticas son elementos ecológicos clave para comprender cómo se relaciona el entorno físico con el lugar donde se encuentran las diferentes especies. No son simplemente números climáticos; surgen de acontecimientos ecológicos fundamentales como la resistencia al calor, el acceso al agua, los cambios estacionales y los cambios de altitud. Todos

estos factores inciden directamente en el modo en que los organismos funcionan, actúan y se distribuyen por las zona (Arcila et al., 2023).

Para las aves, especialmente el búho llanero (*Athene cunicularia*), existen factores que determinan el nicho climático en el que la especie puede vivir y reproducirse. Por ejemplo, la temperatura media anual y las precipitaciones durante los tres meses más secos son indicadores clave para las especies que se han adaptado a ambientes secos o semisecos. Estos influyen en la facilidad con la que pueden encontrar recursos vitales, como alimento y refugio. Además, los cambios de temperatura estacionales reflejan oscilaciones de temperatura que pueden afectar el éxito reproductivo o la migración ascendente.

Los factores bioclimáticos, se clasifican en tres grandes categorías ecológicas: temperatura, precipitaciones y estacionalidad. Cada una de estas categorías se conecta directamente con algún tipo de restricción ecológica. Las temperaturas extremas, como la mínima mensual más baja o la máxima mensual más alta, podrían afectar la supervivencia de los huevos o el éxito de la caza (Ríos et al., 2020).

Las lluvias influyen sobre la vegetación y, en consecuencia, la disponibilidad de presas para diversas especies en su entorno. La variación estacional afecta la estabilidad de un hábitat puesto que esta cambia a lo largo del año. Diversas ideas ecológicas sustentan estos factores que se encuentran intrínsecamente vinculadas con la idea del nicho ecológico, tanto fundamental como realizada (Betancur, 2020). Las condiciones climáticas crean una especie de marco en el que una especie puede vivir; sin embargo, son los factores bióticos y humanos influyen en su permanencia.

Las variables ambientales son cruciales para predecir dónde vive el búho de la madriguera, ya que ayudan a determinar los patrones climáticos que afectan su hábitat (Sampedro, 2015). En esta investigación, los datos climáticos de WorldClim, incluidos el calor y la lluvia, se utilizaron para pronosticar regiones con la mayor probabilidad de presencia de la especie en todo el Ecuador.

8.4.5.1. WorldClim

WorldClim comprende patrones meteorológicos en todo el mundo con un tamaño de cuadrícula de aproximadamente 1 kilómetro cuadrado. La información puede servir para

gráficos y representación espacial en un SIG o en varias aplicaciones informáticas (Arcila et al., 2023).

Principalmente los datos mensuales de temperatura y lluvia, se construyen las variables bioclimáticas, buscando crear indicadores biológicamente más relevantes. Estos conjuntos de datos climáticos son cruciales al modelar dónde podría vivir la lechuga llanera (*Athene cunicularia*), pues ayudan a encontrar áreas con el clima propicio para que habite. Expresan patrones anuales (como la temperatura promedio o la lluvia total del año), variaciones estacionales (como la diferencia de temperatura o lluvia a lo largo del año) y eventos climáticos extremos (como la temperatura del mes más frío o cálido, o la lluvia en los meses más secos o húmedos), los cuales impactan directamente cómo vive y se comporta esta especie (Arcila et al., 2023).

Ilustración 3: Variables Bioclimáticas de WorldClim

Variable	Descripción
BIO 1	Temperatura promedio anual (°C)
BIO 2	Rango promedio diario (Promedio mensual (Temperatura máxima -Temperatura mínima (°C)
BIO 3	
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura (Desviación estándar*100)
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
BIO 7	Rango anual de temperatura (BIO 5-BIO 6) (°C)
BIO 8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo (°C)
BIO 9	Temperatura promedio del trimestre más seco (°C)
BIO 10	Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C)
BIO 11	Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)
BIO 12	Precipitación anual (mm)
BIO 13	Precipitación del mes más húmedo (mm)
BIO 14	Precipitación del mes más seco (mm)
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
BIO 16	Precipitación del trimestre más húmedo (mm)
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco (mm)
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío (mm)

(Arcila et al., 2023)

En la investigación sobre la distribución de especies, se recurre con frecuencia a las 19 variables bioclimáticas que ofrece WorldClim, una base de datos climática global. Su popularidad radica en que son fáciles de conseguir, gratuitas y de uso libre (Arcila et al., 2023). Estas variables son útiles para crear modelos del nicho ecológico de especies como *Athene cunicularia*, ya que representan las condiciones bioclimáticas que impactan directamente su presencia y comportamiento.

8.4.6. Sistema de información geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica desempeñaron un papel vital en nuestra investigación; permitieron el procesamiento, la visualización y el análisis de avistamientos de búhos llaneros en relación con factores ambientales. Mediante el empleo de recursos como QGIS y la plataforma Maxent, se integraron datos geoespaciales, lo que ayudó en la creación de modelos de distribución actuales y predictivos para la especie. Estos recursos también permitieron re proyectar coordenadas, superponer capas bioclimáticas y definir zonas sensibles, proporcionando un marco sólido que apoya la toma de decisiones relacionadas con la conservación (Ulloa et al., 2017).

8.4.6.1.QGIS

QGIS, antes llamado Quantum GIS, es un programa de código abierto para Sistemas de Información Geográfica (SIG) que se ofrece bajo la licencia GNU GPL. Su popularidad global se debe a su adaptabilidad, la posibilidad de usarlo en varios sistemas operativos como Windows, Linux y MacOS, la compatibilidad con distintos formatos y la constante ampliación de sus funciones, gracias a una comunidad dinámica de usuarios y desarrolladores (Gutiérrez, 2022).

Dentro del ámbito de las investigaciones ambientales y ecológicas, tal como este estudio, QGIS se vuelve crucial al facilitar la administración, el análisis y la visualización de información geográfica, abarcando tanto datos vectoriales (puntos, líneas, polígonos) como ráster (imágenes de satélite, variables del clima, modelos de elevación, etc.). Gracias a su interfaz intuitiva y su diseño modular que se basa en extensiones (plugins), se transforma en un instrumento potente y de fácil uso, incluso para personas que no tengan un dominio profundo de la programación (Gutiérrez, 2022).

QGIS facilita tareas clave en el desarrollo de modelamientos ecológicos como:

- Visualización y edición de datos espaciales.
- Conversión de coordenadas y reproyección de capas
- Recorte de capas ráster y vectoriales al área de estudio
- Integración con datos bioclimáticos

- Con herramientas como Point Sampling Tool, es bastante directo recopilar información sobre las variables ambientales en ubicaciones específicas.
- Diseño de mapas temáticos y productos cartográficos que permiten visualizar la distribución de registros.

(Gutiérrez, 2022)

Aparte de todo esto, QGIS funciona muy bien junto con otros programas para analizar información del territorio, como GRASS GIS, SAGA GIS y GDAL, lo que le da aún más poder para analizar datos. Con esto, se pueden estudiar terrenos, sacar cuentas de cómo está el medio ambiente, hacer cálculos intermedios o crear modelos de cómo funcionan las redes de agua, por ejemplo (Gutiérrez, 2022).

En este proyecto, QGIS demostró ser una herramienta muy útil en cada etapa de la investigación, al manejar información del territorio: desde recopilar y depurar los datos sobre la ubicación de la especie, hasta preparar los mapas del entorno y mostrar los resultados. Gracias a lo fácil que es de usar, se obtuvo seguridad la información que se utilizó para el modelo, la información fue correcta y se encontraba bien colocada, algo muy importante para que el modelo final de dónde podría vivir la especie sea bueno y preciso.

8.4.7. Los Modelos de Circulación General (MCG)

Los Modelos de Circulación General (MCG) son simulaciones numéricas del sistema climático terrestre que integran procesos físicos y dinámicos de la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre y la criosfera. Estos modelos, ampliamente utilizados en estudios de cambio climático, permiten proyectar el comportamiento futuro de variables climáticas esenciales, como la temperatura y la precipitación, bajo diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Su intrincada arquitectura y aptitud para simular las relaciones entre diversos elementos del sistema climático los elevan al puesto más alto dentro del escalafón de los modelos climáticos (Gaitán, 2024).

Dentro del marco de este estudio, cuyo objetivo es precisar qué zonas de Ecuador son susceptibles a la presencia actual y venidera del búho (*Athene cunicularia*), los Modelos Climáticos Globales juegan un rol crucial. Ofrecen las estimaciones de las variables bioclimáticas imprescindibles para simular cómo podría repartirse la especie en escenarios futuros (Gaitán, 2024). Estas proyecciones permiten evaluar cómo podrían modificarse los

patrones de idoneidad climática para la especie hacia el año 2025, considerando distintos escenarios de cambio climático.

Dado que el resultado de los MCG está estrechamente vinculado al comportamiento humano como las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso del suelo, la deforestación, el modelo energético y la evolución demográfica, se utilizan conjuntos de escenarios alternativos (como los RCP o SSP) que contemplan distintas trayectorias socioeconómicas posibles. Estos escenarios no predicen el futuro de manera determinista, sino que exploran diferentes caminos plausibles de desarrollo, permitiendo evaluar la sensibilidad del hábitat de especies como *Athene cunicularia* frente a diversos grados de transformación climática (Gaitán, 2024).

Para esta tesis, se emplearon capas bioclimáticas proyectadas a futuro derivadas de los MCG, procesadas y ajustadas espacialmente al área de estudio mediante herramientas SIG. Estas capas constituyen el insumo clave para estimar cómo las condiciones ambientales pueden favorecer o restringir la presencia del búho en el Ecuador en el escenario del año 2025, aportando a la comprensión de su vulnerabilidad ecológica y a la toma de decisiones en conservación.

8.4.7.1. Escenarios climáticos

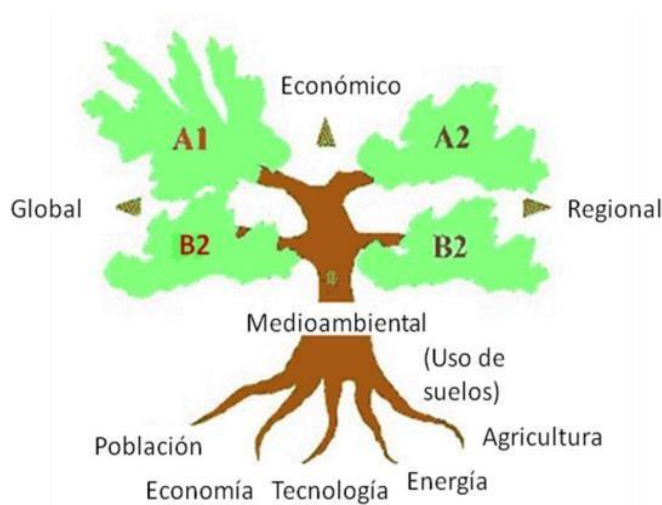
Los escenarios climáticos son representaciones plausibles y coherentes de cómo podrían evolucionar las condiciones climáticas del planeta en función de diversos factores socioeconómicos, tecnológicos y ambientales. Estas proyecciones no pretenden predecir el futuro de manera exacta, sino ofrecer un conjunto de posibles trayectorias que permiten analizar el impacto de distintos niveles de la liberación de gases que atrapan el calor y cómo esto impacta al clima de todo el planeta (Subsecretaría de Calidad Ambiental Dirección de Normativa y Control Ambiental, 2022).

En el marco de esta tesis, los escenarios climáticos desempeñan un papel fundamental, ya que permiten proyectar el comportamiento futuro de las variables ambientales que influyen directamente en la distribución potencial del búho (*Athene cunicularia*). A través de estos escenarios es posible estimar cómo podrían cambiar las condiciones de temperatura, precipitación y otras variables bioclimáticas para el período 2025, algo crucial, ya que ayuda a

prever los sitios que podrían ser más o menos adecuados para que la especie habite (Subsecretaría de Calidad Ambiental Dirección de Normativa y Control Ambiental, 2022).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) agrupa los diferentes futuros posibles en "familias", basándose en cómo se espera que cambien la población, la economía, la tecnología y las políticas para proteger el medio ambiente (Muñoz, 2018). Las predicciones que se hacían antes se ordenaban usando el sistema SRES (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones), que tiene cuatro grandes grupos: A1, A2, B1 y B2.

Ilustración 4: Árbol de escenarios con las cuatro familias (SRES)



(Muñoz, 2018)

Escenarios A: Estos plantean un mundo donde la economía crece mucho y se adoptan nuevas tecnologías muy rápido.

Escenario A2: Se ve como uno de los peores, con mucha gente, un desarrollo económico más centrado en cada región y poca ayuda entre países. Se piensa que, si esto pasa, la cantidad de CO₂ en el aire podría llegar a 850 partes por millón para el año 2100.

Escenarios B: Estos imaginan un crecimiento más parejo y que cuida el planeta, dando importancia a las ideas ecológicas y al crecimiento de cada comunidad.

Escenario B2: Es una visión más positiva, con menos gente, más conciencia sobre el medio ambiente y una economía que crece de forma moderada. En este caso, se calcula que habría unas 600 ppm de CO₂ en el aire para el año 2100.

(Muñoz, 2018)

8.5. Marco Legal

La conservación de varias especies silvestres, como el búho *Athene cunicularia* se encuentra respaldada por varias normas legales nacionales e internacionales las cuales garantizan la protección de su biodiversidad dentro de Ecuador. Dentro del marco jurídico establece las obligaciones que le competen al Estado, gobiernos locales y la ciudadanía con respecto a la preservación de los ecosistemas y fauna nativa, especialmente frente a amenazas como el cambio climático y expansión de la frontera agrícola.

8.5.2. Constitución del Ecuador

La constitución de Ecuador reconoce los derechos de la naturaleza dentro de sus artículos 71 al 74. El art.71 establece que la naturaleza o Pacha Mama tiene su derecho a que se la respete integralmente a su existencia, mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, mediante esto otorga fundamento constitucional a cualquier acción de conservación ecológica, incluyendo la protección a las aves como a *Athene cunicularia* que forma parte de diversos ciclos ecológicos de ecosistemas abiertos y semiáridos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

8.5.3. Código Orgánico del Ambiente (COA)

El Código Orgánico del Ambiente (COA), en su Libro III nos habla sobre el patrimonio Natural el cual regula la conservación de las especies silvestres, mediante esto se establece medidas para evitar su deterioro o que desaparezcan, según el art.146, toda especie debe ser protegida cuando su población la amenaza con presiones antrópicas o condiciones ambientales adversas, lo que es especialmente relevante para *Athene cunicularia* cuya distribución está siendo modificada por la variación del cambio climático y la transformación de su hábitad.

8.5.4. Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)

Ecuador es parte del Convenio sobre la diversidad Biológica (CDB) 1993, en la cual obliga a los Estados a identificar, monitorear y conservar especies en ecosistemas que se encuentren amenazados, así también integrar la biodiversidad a planes nacionales de desarrollo (ONU, 2017). A través del Plan de Acción para la Biodiversidad del Ecuador 2020-2030, se promueve la generación del conocimiento científico y la implementación de corredores ecológicos, basadas en herramientas que estén directamente relacionadas con el objetivo que se propuso en esta investigación.

8.5.5. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

En el ámbito subnacional, el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, otorga competencias a los gobiernos autónomos Descentralizados (GADs) para gestionar el territorio de manera sostenible y garantizar la protección de los recursos naturales en sus jurisdicciones. Esto implica que los GADs provinciales y cantonales puedan usar la información generada por diversos estudios para implementar medidas de conservación local basada en evidencias técnicas (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2016).

Por otro lado, el búho *Athene cunicularia*, aunque no figura actualmente como especie amenazada en el Libro Rojo de las Aves del Ecuador, se encuentra potencialmente vulnerable a los efectos del cambio climático y la pérdida progresiva de su hábitat, por lo que su monitoreo y modelamiento espacial constituyen herramientas preventivas respaldadas por el principio de precaución ambiental recogido en el marco legal ecuatoriano (Freile et al., 2019).

9. PREGUNTAS DE INVESTIGACION

¿Cómo influye el cambio climático en la distribución geográfica actual y futura del búho *Athene cunicularia* en el Ecuador?

El cambio climático modifica significativamente el lugar donde el búho llanero podría vivir en Ecuador, causando una reducción gradual de las áreas de hábitat principales y empujándolos a zonas más altas, hacia áreas con climas más estables. Los modelos de distribución elaborados con el software MaxEnt muestran que las condiciones actuales (2025) permiten que la especie viva en un amplio rango, con alta probabilidad de ser encontrada en la sierra andina y algunas zonas costeras.

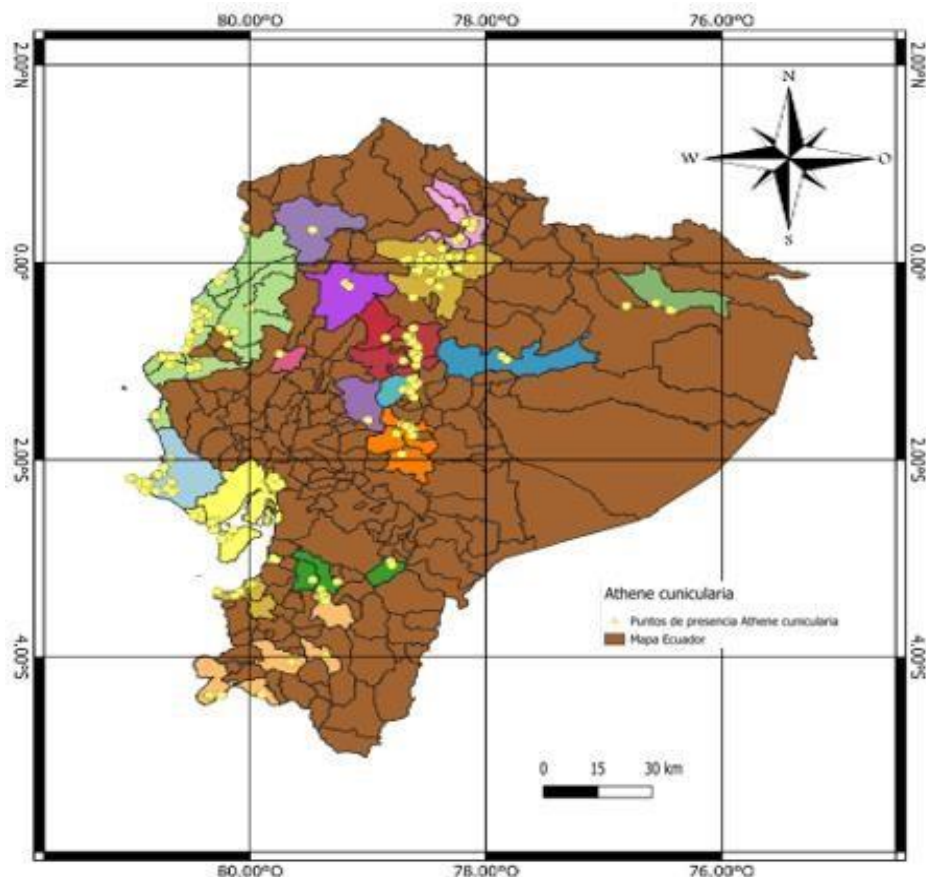
Sin embargo, al observar las proyecciones para 2060 y 2090, utilizando datos climáticos de WorldClim bajo el modelo CanESM5 (CMIP6), hay una clara disminución en el tamaño de los hábitats adecuados, especialmente en provincias del centro y norte como Pichincha, Cotopaxi y Cañar. Estas áreas muestran una caída constante en su idoneidad ambiental debido a que las temperaturas aumentan y los patrones de precipitaciones cambian.

Al mismo tiempo, los hallazgos revelan que ciertas partes de los Andes del sur, como Loja y partes de Chimborazo, se mantienen consistentemente buenas a lo largo del tiempo, lo que sugiere refugios climáticos donde el búho podría sobrevivir. Esto resalta la necesidad de enfocar estrategias de conservación en dichas regiones. En general, el cambio climático actúa como una restricción ecológica, modificando la disposición del hábitat disponible y haciendo que las especies sean más vulnerables en tierras actualmente aptas.

10. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en el área ecuatoriana, el cual abarca a todas las provincias en general para la identificación de la especie *Athene cunicularia*.

*Ilustración 5: Área de estudio de ubicación de *Athene cunicularia**



Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

El gráfico muestra la zona de estudio destinado a ubicar puntos críticos, tanto actuales como proyectados al 2025, para la existencia del búho (*Athene cunicularia*) en Ecuador. En el mapa se aprecia la organización político-administrativa por cantones, cubriendo la extensión total del país.

Esta visualización cartográfica sienta las bases para examinar la dispersión de la especie, haciendo posible añadir datos ambientales, climáticos y de utilización del suelo, tomando en cuenta cada área. El alcance nacional facilita una valoración completa de las áreas potencialmente en peligro o de gran fragilidad ecológica ante las transformaciones venideras.

Dicho planteamiento espacial resulta fundamental para definir qué acciones de preservación son más urgentes, qué sistemas de vigilancia deben implementarse y qué normativas ambientales deben formularse para asegurar la defensa del entorno del búho ante el avance del cambio climático.

Tabla 3: Condiciones meteorológicas generales en las provincias de presencia de *Athene cunicularia* en Ecuador

PARÁMETROS**PROVINCIAS CON REGISTROS DE***Athene cunicularia*

	Azuay, Bolívar, Chimborazo, Cotopaxi, El Oro, Esmeraldas, Guayas, Imbabura, Loja, Manabí, Napo, Orellana, Pichincha, Santa Elena, Santo Domingo, Sucumbíos, Tungurahua
TEMPERATURA °C	16 – 28
PRECIPITACIÓN MM	200 – 1200
HUMEDAD RELATIVA %	45 – 75
ALTITUD M.S.N.M.	0 – 2000

Fuente: INAMHI

11. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**11.1. Diseño Metodológico****11.1.1. Tipo de Investigación****11.1.1.1. Cuantitativa**

Este análisis adopta una perspectiva cuantitativa, fundamentándose en la recopilación, el estudio y la gestión de datos concretos, buscando así definir la posible difusión presente y venidera del búho (*Athene cunicularia*) dentro del territorio ecuatoriano. Se emplearon coordenadas geográficas de avistamientos confirmados de la especie, junto con factores ambientales (temperatura, lluvia, altura, etc.) representados mediante valores específicos.

11.1.1.2. Exploratoria

En esta investigación se realizó una indagación de datos de información sobre la especie *Athene cunicularia*, con el fin de conocer su distribución potencial y sobre sus características ecológicas. Esta investigación se la considera exploratoria porque busca reunir datos e información para analizar el comportamiento de la especie a partir de hipótesis establecidas anteriormente.

11.1.1.3. Descriptiva

En esta investigación se adoptó un enfoque descriptivo con el propósito de analizar su distribución geográfica y ecológica. El estudio permitió establecer un perfil ecológico de la especie, reconociendo sus adaptaciones a entornos abiertos y su comportamiento particular de

anidación en madrigueras. Esta descripción sirvió como base para la modelación de su distribución espacial, facilitando una interpretación clara de los patrones ecológicos presentes en el área de estudio.

11.1.1. Métodos

11.1.1.2. Método inductivo

En este método nos basamos en la obtención de registros de bases de datos sobre la presencia de *Athene cunicularia* en todo el Ecuador, indagando en páginas como [iNaturalist](#), eBird y GBIF, donde se obtuvo variables climáticas y adaptación de especie, donde se obtuvo mapas de distribución de especie al cual y futura de la especie.

11.1.1.3. Método de modelación ecológica

Se utilizaron Maxent (modelado de entropía máxima) y QGIS 328, lo que permite la creación de modelos de distribución utilizando datos de presencia y factores climáticos. Este método permitió la creación de mapas continuos, categorizados y de dos opciones para varios cuadros de tiempo.

11.1.2. Técnica

11.1.2.2. Elaboración del modelo de distribución potencial

(Chimborazo, 2020) sostiene que la interacción de las especies con su hábitat puede predecir un impacto, ya sea natural o derivado de la acción humana, sugiriendo una modificación en su distribución. Esto se vuelve particularmente relevante en contextos donde se identifican múltiples presiones sobre los ecosistemas. En este sentido, el uso de herramientas como los modelos de distribución potencial se convierte en una herramienta clave para la toma de decisiones en gestión ambiental.

El presente estudio tuvo como objetivo identificar las áreas más vulnerables a la presencia actual y futura del búho *Athene cunicularia* en Ecuador, mediante la aplicación del modelo MaxEnt. Esta herramienta permitió obtener una representación confiable de las zonas de distribución potencial bajo escenarios ambientales presentes y proyectados, enfocándose en factores ecológicos y antrópicos que condicionan la presencia de esta especie.

11.2. Selección de registros de presencia

El total de registros de presencia obtenidos de *Athene cunicularia* fue de 370, de los cuales se distribuyeron por provincia según se detalla en la Tabla 1. Esta información fue

utilizada para el modelamiento de distribución potencial de la especie en el territorio ecuatoriano.

Tabla 4: Registro de presencia utilizados en el modelamiento

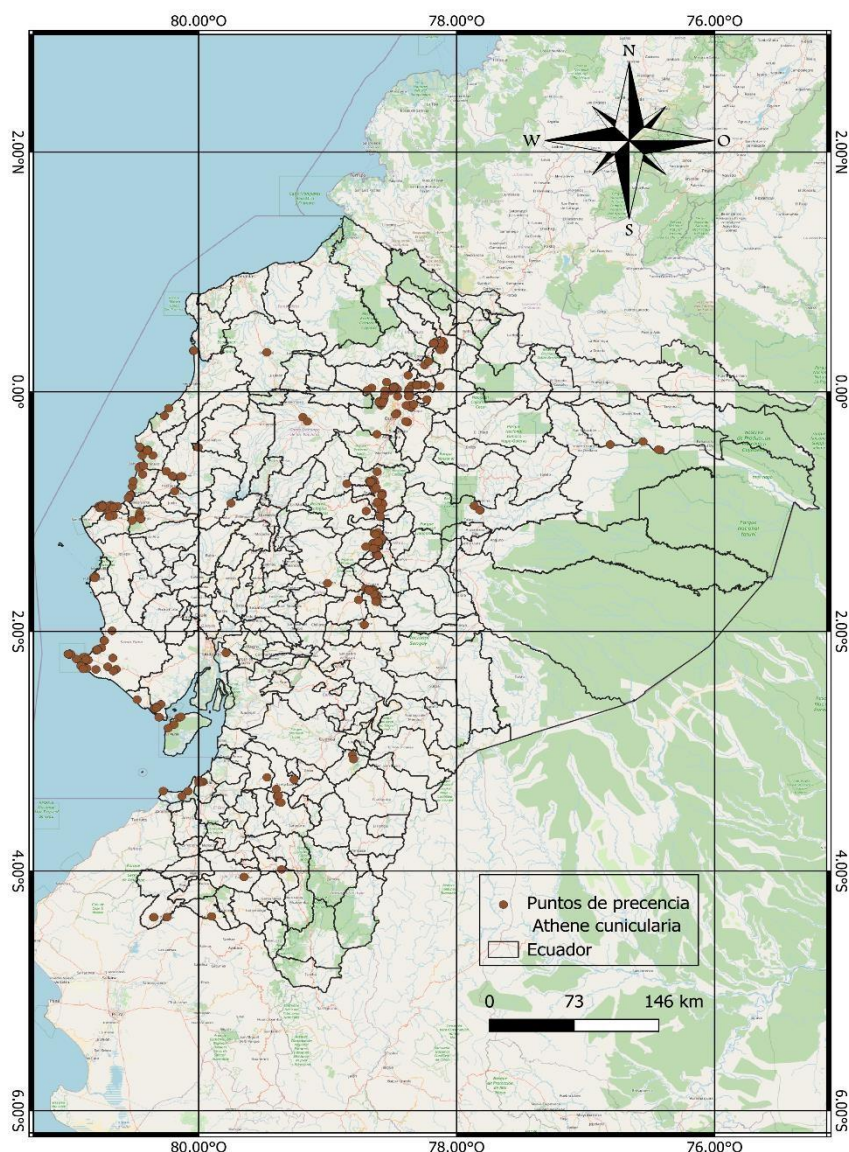
PROVINCIA	NÚMERO DE REGISTROS
AZUAY	3
BOLIVAR	1
CHIMBORAZO	30
COTOPAXI	54
EL ORO	8
ESMERALDAS	1
GUAYAS	31
IMBABURA	19
LOJA	12
MANABI	79
NAPO	3
ORELLANA	1
PICHINCHA	81
SANTA ELENA	31
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	2
SUCUMBIOS	1
TUNGURAHUA	13
	370

Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

El número de registros de presencia también tuvo un efecto importante en la exactitud del modelamiento, ya que en un análisis preliminar se identificó un sesgo espacial evidente. Por ejemplo, la provincia de Pichincha presentó una alta concentración de registros (81), lo cual no necesariamente reflejaba una mayor idoneidad del hábitat para la especie, sino más bien la influencia de una mayor actividad investigativa en esa zona (Figura 5). Por otro lado, provincias como Sucumbíos, Orellana y Esmeraldas tuvieron escasa representación, lo que limitó su influencia en el modelo. Para reducir el efecto de la sobre representación, se aplicó un filtro de dispersión espacial eliminando puntos muy cercanos entre sí, lo cual permitió generar un modelo más equilibrado y realista. Además, en provincias como Santo Domingo de los Tsáchilas, donde predominan condiciones climáticas distintas al resto de la Sierra y prácticas

agrícolas diferentes, la baja idoneidad ambiental explica el reducido número de registros observados.

Ilustración 6: Registro de presencia del búho *Athene cunicularia* en Ecuador.



Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

11.3. Preparación de datos de entrada para el modelamiento

El proceso metodológico para desarrollar el modelamiento de distribución de *Athene cunicularia* se ejecutó siguiendo una serie de pasos organizados y secuenciales, detallados a continuación:

Paso 1: Recolección de puntos de presencia

Se obtuvieron los registros de presencia de la especie desde bases de datos públicas como GBIF (Global Biodiversity Information Facility) y iNaturalist, exportándolos en formato

.csv con coordenadas geográficas (latitud y longitud). Estos puntos representan sitios donde se ha confirmado la presencia de *Athene cunicularia* y constituyen la base fundamental para la modelación con MaxEnt.

Paso 2: Depuración de registros

Inicialmente se recopilaron 472 registros. Posteriormente se realizó un proceso de depuración que incluyó:

Eliminación de duplicados.

Revisión de registros sin coordenadas o con errores (coordenadas 0,0 o fuera del Ecuador continental).

Corrección de registros en áreas no coherentes con el hábitat de la especie (como zonas urbanas densas o puntos costeros erróneos).

Validación visual mediante su importación en QGIS para garantizar su distribución espacial real.

Paso 3: Descarga de variables ambientales

Se descargaron las 19 capas bioclimáticas (BIO1–BIO19) en formato raster desde el portal oficial de WorldClim v2.1 (<https://www.worldclim.org/>), con resolución espacial de 30 arc segundos (~1 km²). Estas capas incluyen variables como temperatura media anual, estacionalidad, precipitación del mes más seco, entre otras, relevantes para el análisis ecológico.

Ilustración 7: Variables Bioclimaticas de WorldClim

Variables	Descripción
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango de temperaturas diurnas
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

(Varela et al., 2015)

Paso 4: Corte de capas climáticas al área de estudio

Las capas climáticas fueron recortadas al límite político del Ecuador continental, utilizando un archivo shapefile (.shp) del país y la herramienta “clip raster by mask layer” en QGIS. Luego, fueron convertidas a formato .asc (ASCII) para ser compatibles con el software MaxEnt.

Paso 5: Ejecución del modelo en MaxEnt

Una vez preparados los puntos de presencia (.csv) y las capas bioclimáticas (.asc), se procedió a ejecutar el modelamiento en el software MaxEnt v3.4.4. Se realizaron modelos para el escenario actual (2025) y para las proyecciones futuras de los años 2060 y 2090, usando capas del modelo climático CanESM5 bajo el escenario SSP2-4.5 del sistema CMIP6.

11.4. Modelación

Se utilizó el software MaxEnt (Maximum Entropy Modeling) para realizar el modelamiento de la distribución potencial de la especie *Athene cunicularia*. Este proceso se fundamentó en registros de presencia obtenidos de fuentes secundarias confiables, como GBIF e iNaturalist, los cuales fueron procesados, filtrados y relacionados con variables bioclimáticas

actuales y futuras. MaxEnt permitió generar modelos robustos de idoneidad ambiental utilizando solo datos de presencia, lo que permitió proyectar la distribución de la especie bajo distintos escenarios climáticos. Como resultado, se obtuvieron mapas continuos, clasificados y binarios de presencia actual y futura, representando con alta precisión las áreas potencialmente habitadas por la especie en el territorio continental ecuatoriano.

11.4.1.2. Validación estadística del modelo (AUC, ROC, OMISION)

Aparte del diseño clave hecho con MaxEnt, se usaron más trucos raros para estar seguros de que el estudio sirviera y fuera de lo mejor. Se usó una prueba rara con la curva ROC y el cálculo del área bajo la curva (AUC). Se sacó un número raro de 0.944, lo que dice que el modelo predice muy bien las cosas raras.

Para saber cuánto influye cada cosa del clima, se usó una técnica especial. Esta técnica mostró que la lluvia de cada estación y el calor en los meses más secos son claves para saber dónde vive esta especie, qué cosas raras. También se usó un límite raro de 0.127, elegido por su equilibrio entre detección y claridad. Esto hizo posible cambiar los mapas suaves a unos duros, como si fueran interruptores de luz de sí o no.

Al final, los números raros del plan se cambiaron a cinco grupos de qué tan bien está el ambiente (muy mal, mal, más o menos, bien y muy bien). Esto hizo que fuera más fácil ver dónde estaban las cosas y ayudó a decidir

11.5. Metodología del modelamiento

Para estimar la distribución potencial de *Athene cunicularia* en el territorio continental ecuatoriano, se utilizó el modelo de Máxima Entropía a través del software MaxEnt versión 3.4.4, ampliamente validado en estudios de distribución de especies con datos de presencia únicamente. El modelamiento se basó en registros de presencia georreferenciados obtenidos de fuentes secundarias, como GBIF, iNaturalist y bibliografía especializada. Se filtraron un total de 370 puntos únicos para evitar redundancias y sesgos espaciales.

Para esta investigación se realizaron modelamientos de nicho ecológico de la especie *Athene cunicularia* (búho terrestre) mediante el uso del software MaxEnt, el cual permite estimar la distribución potencial para determinar la distribución geográfica de las especies se utilizan datos de localización combinados con factores ambientales medibles de manera constante.

El modelo fue ejecutado bajo el método de replicación bootstrap, con 10 repeticiones. Se utilizó el 75% de los registros para entrenamiento y el 25% para validación, generando como salida el formato logístico, que entrega valores de probabilidad de presencia entre 0 y 1. Para validar la precisión del modelo, se calculó el Área Bajo la Curva (AUC), obteniéndose un valor promedio de 0.944, lo que indica una capacidad predictiva excelente.

Con los resultados del modelo, se generaron mapas de distribución continua, clasificada y binaria. La clasificación se hizo en cinco rangos de idoneidad (muy baja, baja, media, alta y muy alta), mientras que el mapa binario se obtuvo aplicando un umbral de corte logístico de 0.127, correspondiente al punto de máxima sensibilidad y especificidad equilibradas. Este umbral permitió distinguir con mayor claridad las zonas de alta probabilidad de presencia de la especie.

Se diseñó una simulación que abarcó dos etapas distintas: la situación actual y una proyección futura (entre 2060 y 2090). El propósito era precisar qué zonas de Ecuador brindan hoy en día un entorno propicio para la especie, y también anticipar qué regiones podrían verse afectadas o, por el contrario, resultar convenientes ante las transformaciones climáticas que se esperan a largo plazo.

11.6. Instrumentos

Para este estudio, se emplearon varias herramientas técnicas y digitales con el fin de analizar y mostrar datos de dónde podría vivir la *Athene cunicularia* en Ecuador. Las herramientas principales que se usaron fueron:

Para recopilar datos de localización: Se utilizaron bases de datos mundiales como Global Biodiversity Information Facility (GBIF), iNaturalist y eBird, que ofrecen registros georreferenciados de la especie *Athene cunicularia*.

Software de modelado ecológico MaxEnt: Esta herramienta computacional se empleó para desarrollar modelos predictivos de distribución de especies, basándose en el principio de máxima entropía. MaxEnt hizo posible obtener mapas de idoneidad climática para situaciones actuales y futuras.

Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS: Este software de código abierto se utilizó para manejar, mostrar y examinar datos espaciales. Colaboró en la preparación de capas bioclimáticas, delimitación del área de estudio y edición de mapas.

Capas variables bioclimáticas WorldClim v2. 1: Un conjunto de variables ambientales (temperatura, precipitación, estacionalidad, etc.). Se utilizaron como insumos para el modelado. Estas variables fueron descargadas en formato ráster con una resolución espacial de 1 km².

Herramientas estadísticas del modelo: Se aplicaron métricas de validación como el AUC (área bajo la curva ROC) y la tasa de omisión dentro de MaxEnt, lo que ayudó a evaluar el rendimiento del modelo.

12. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

12.1. Análisis ecológico y bioclimático

Athene cunicularia, conocido como búho terrestre o mochuelo de madriguera es una de las especies que marcan una preferencia ecológica por ecosistemas abiertos, áridos o semiáridos. Caracterizados por su vegetación baja y suelos blandos, estas condiciones se encuentran principalmente en la región interandina (Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo) y en los sectores costeros como Manabí y Santa Elena, donde existen zonas agrícolas, pastizales, bordes de caminos, etc.

En cuanto a su alimentación se basa en una dieta mayoritariamente en insectos (escarabajos, saltamontes y grillos) sin embargo también se alimentan de pequeños roedores, reptiles, aves pequeñas y anfibios, lo cual posee un rol importante como controlador de plagas en zonas agrícolas. Durante la época reproductiva, la especie amplía su dieta para cubrir mayores requerimientos energéticos, e incluso almacenan presas cerca del nido para mejorar su alimentación.

Los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado por Velasco et al. (2022), quienes señalan que *Athene cunicularia* es una especie típicamente asociada a ambientes abiertos y secos, donde aprovecha madrigueras hechas por otros animales o excava sus propias madrigueras. Esta capacidad de adaptarse a suelos sueltos es clave para su reproducción y refugio, lo cual también fue evidente en los mapas de distribución generados.

Asimismo, Rodríguez-Villamil et al. (2022) coinciden en que su dieta es generalista e incluye insectos y pequeños vertebrados, lo que le permite habitar zonas alteradas por el ser humano, como bordes agrícolas o periurbanos, sin dejar de mantener su rol ecológico como depredador medio. Este patrón alimenticio también fue observado en la revisión de registros y en el análisis ecológico espacial realizado en esta investigación.

Se analizó los principios ecológicos de *Athene cunicularia* en relación a las 19 variables bioclimáticas para poder determinar su distribución potencial en el Ecuador. Se investigó diferentes registros de presencia desde diferentes plataformas como lo es GBIF y eBird, del cual se obtuvo un total de 470 registros, que fueron depurados, georreferenciados y validados para realizar el modelamiento respectivo.

A partir de la página climática WorldClim V2.1, se seleccionaron 19 variables bioclimáticas, en las cuales se identificaron como las más influyentes a las siguientes:

BIO7: Rango anual de temperatura

BIO12: Precipitación anual

BIO16: Precipitación del trimestre más húmedo

BIO18: Precipitación del trimestre más seco

Estas variables son las que presentaron los mayores porcentajes de contribución al modelo en MaxEnt y se encuentran asociadas directamente con la disponibilidad de agua y

viabilidad térmica, estos son factores claves para que una especie se adapte a ambientes abiertos y áridos. La precipitación anual (BIO12) y la del trimestre más seco (BIO18) condicionan la disponibilidad de la presa y la actividad trófica del búho, mientras que en el rango térmico anual (BIO7) refleja la tolerancia de la especie a estar en climas extremos. Esto coincide con estudios (Bocanegra García, 2020), quienes afirman que la variabilidad climática es una de los factores más importantes en la distribución de aves terrestres en zonas tropicales.

Estas variables fueron de gran importancia para el modelo pues permitió establecer una base ecológica sólida la cual comprende la distribución actual y nos ayuda a proyectar escenarios futuros de la especie, lo que nos ayuda a respaldar el enfoque predictivo adoptado en esta investigación.

Tabla 5: Selección de variables bioclimáticas de *Athene cunicularia*

VARIABLES BIOCLIMÁTICAS SELECCIONADAS	
BIO1	Promedio de la temperatura anual
BIO 2	Rango de temperatura diurnas
BIO 3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (*100)
BIO 4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de la temperatura anual
BIO 8	Temperatura media del trimestre más lluvioso
BIO 9	Temperatura media del trimestre más seco

BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad en la precipitación
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

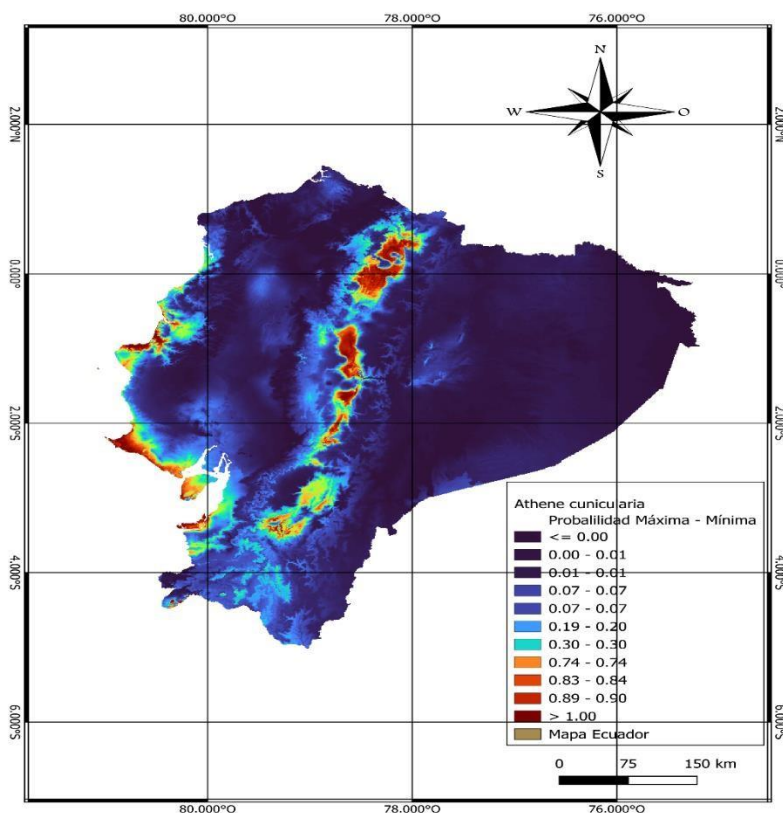
Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

12.2. Modelamiento de distribución de la especie

12.2.1. Distribución y modelamiento potencial actual de *Athene cunicularia*

La distribución potencial actual de *Athene cunicularia* modelada para el año 2025 se presenta en la Figura 15, donde se observa una alta idoneidad ambiental en el callejón interandino, con mayor concentración en provincias como Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Loja. Estas áreas brindan un clima y un paisaje ideales para la especie, que se siente más cómoda en espacios abiertos con suelos suaves. También se identifican sectores con idoneidad media en zonas costeras, mientras que la región amazónica muestra una baja probabilidad de presencia. El modelo fue validado con un valor AUC promedio de 0.944, y se aplicó un umbral de corte de 0.127 para definir de manera más

Ilustración 8: Distribución potencias actual

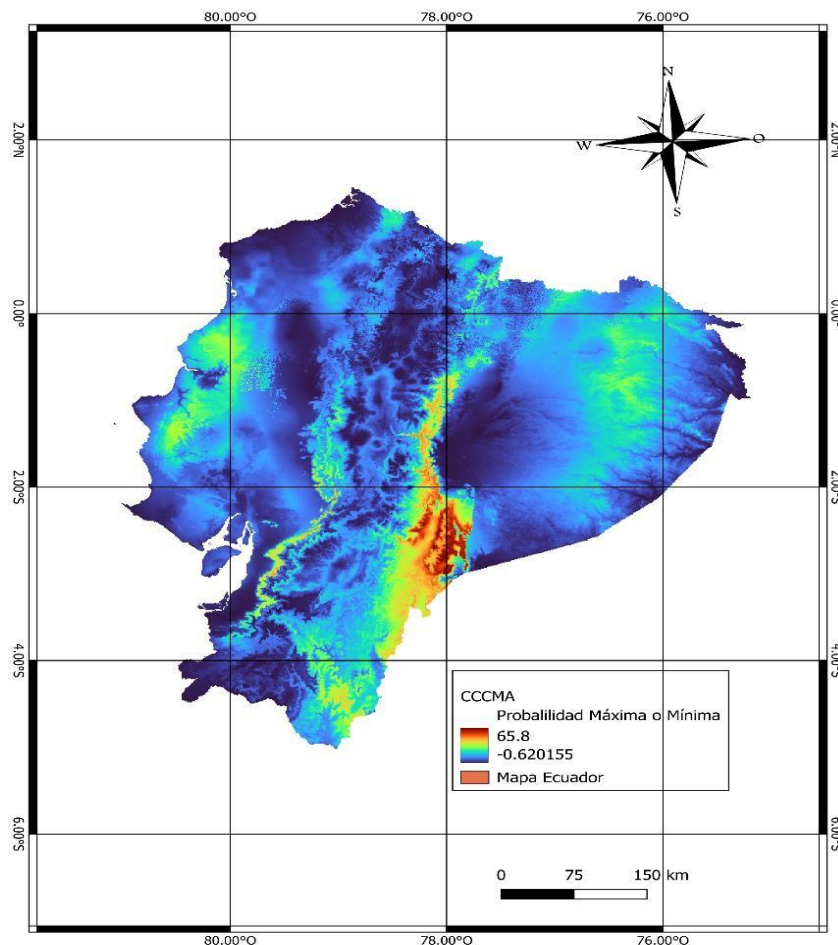


Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

12.2.2. Distribución potencial de *Athene cucularia* en el año 2060

El escenario proyectado para el año 2060, bajo las condiciones climáticas intermedias, se observa una reducción moderada del hábitad idóneo para *Athene cucularia* en las zonas costeras del Ecuador, principalmente en las provincias de Guayas, Manabí y Santa Elena. Esta proyección establece un ligero desplazamiento hacia zonas más elevadas, evidenciando un patrón de migración altitudinal posiblemente impulsado por el aumento de la temperatura media y la alteración en los patrones de precipitación. Pero sin embargo aún se conservan áreas con idoneidad media en partes de la sierra sur, el modelo sugiere un inicio de fragmentación del hábitad, lo cual podría dificultar la conectividad entre poblaciones donde se acentúa la especie. El comportamiento de esta ave es coherente con investigaciones regionales sobre aves terrestres, donde se señala que los cambios climáticos moderados tienden a desplazar a las especies a zonas menos expuestas térmicamente, basándose en que no eliminan completamente sus rasgos actuales de sobrevivencia (Rojas & Simba, 2024).

Ilustración 9: Distribución potencial futura de *Athene cucularia* en el Ecuador escenario 2060



Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

12.2.2.1. Distribución potencial de *Athene cunicularia* bajo el modelo de circulación general atmosférica CCCMA 2060

Los resultados obtenidos bajo el escenario climático proyectado por el modelo de circulación general CCCMA para el año 2060, evidencian una reducción importante del hábitat potencialmente adecuado para *Athene cunicularia* en comparación con el escenario actual (2025). Las zonas que en la actualidad muestran una alta idoneidad, como las provincias de Cotopaxi, Pichincha, Manabí y Santa Elena, presentan una disminución considerable en su capacidad de albergar poblaciones viables.

Este patrón se relaciona directamente con los cambios proyectados por el modelo CCCMA (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis), que prevé un aumento sostenido de la temperatura y alteraciones en los patrones de precipitación para la región interandina del Ecuador (Gaitán, 2024). Estos cambios afectan los ecosistemas abiertos y secos, donde se desarrolla esta especie, reduciendo la disponibilidad de hábitats apropiados.

Como lo indican Velasco et al. (2022), *Athene cunicularia* es una especie que depende de terrenos áridos, semiáridos y abiertos, por lo que cualquier modificación en la humedad del suelo, cobertura vegetal o presión antrópica impacta negativamente su supervivencia. En este sentido, el modelo 2060 proyecta una fragmentación ecológica creciente, especialmente en las zonas medias del país, lo que podría poner en riesgo la conectividad entre poblaciones.

Además, se observa una tendencia de desplazamiento hacia elevaciones mayores, como las zonas altas de Chimborazo y Loja, lo que coincide con lo descrito por Bárcena et al. (2020), quienes explican que, ante el aumento de temperatura, muchas especies tienden a migrar altitudinalmente buscando condiciones más estables. Estas zonas podrían convertirse en refugios climáticos clave, pero también son limitadas en extensión y vulnerables a la presión humana si no se protegen adecuadamente.

Por otro lado, tal como argumentan Elith et al. (2011), los modelos de distribución basados en máxima entropía permiten predecir con alta precisión la distribución futura de especies, especialmente en función de sus variables ambientales críticas. En este caso, los resultados del modelo CCCMA 2060 muestran que variables como la temperatura del mes más cálido y la estacionalidad de la precipitación fueron determinantes en la pérdida de hábitat idóneo, lo cual se alinea con la fisiología térmica y comportamiento diurno de esta especie (Rodríguez-Villamil et al., 2022).

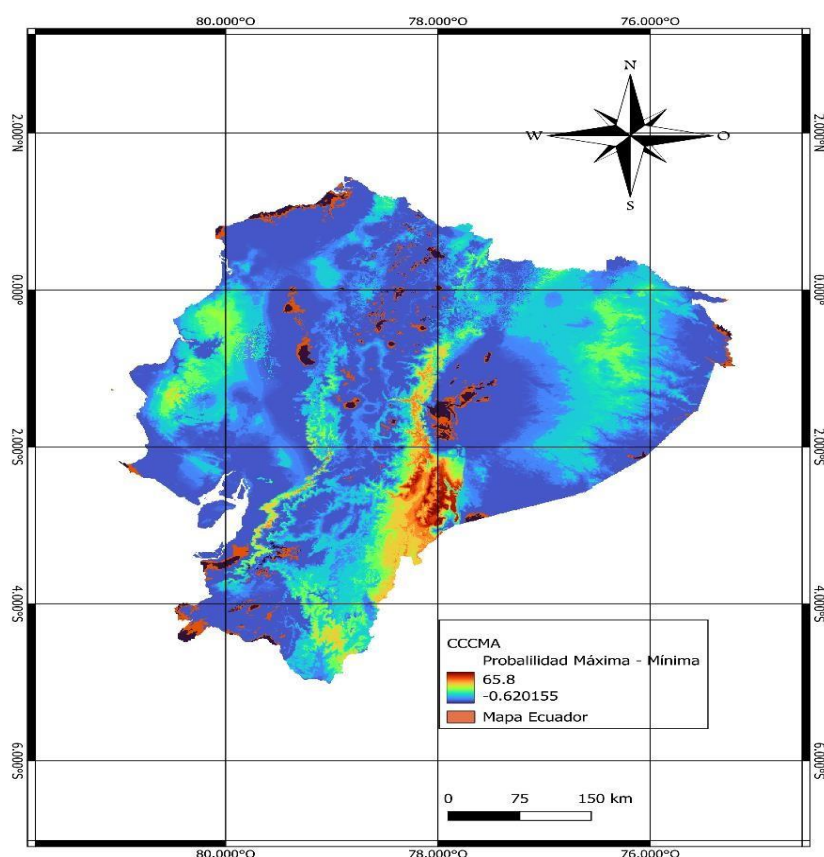
Por tanto, la proyección del modelo CCCMA 2060 no solo alerta sobre la reducción del hábitat actual, sino que también representa una herramienta fundamental para la planificación ambiental y la conservación preventiva de la especie. Las provincias que aún mantienen cierta estabilidad climática deberán ser objeto de medidas de conservación y monitoreo constante.

12.2.3. Distribución potencial de *Athene cunicularia* en el año 2090

Para el año 2090, bajo escenarios climáticos que se proyectaron se muestra una reducción drástica del hábitat idóneo para *Athene cunicularia*, especialmente en la región Costa del Ecuador, donde gran parte de las áreas que actualmente presentan condiciones favorables desaparecen por completo. Este cambio está estrechamente vinculado con el aumento de la temperatura media anual, al ensanchamiento del rango térmico de (BIO7) y a la disminución de la precipitación en los trimestres más secos (BIO18). En consecuencia, la especie enfrenta un alto riesgo de pérdida de nicho climático, especialmente en zonas bajas. Sin embargo, el modelo realizado identifica algunos núcleos de refugio climático potencial en el sur de Loja, zonas

elevadas de Chimborazo y Cañar, donde las condiciones se mantienen estables en todos los escenarios. Este patrón sugiere que en ausencia de medidas de conservación para *Athene cunicularia* podría sufrir un aislamiento poblacional progresivo y una fragmentación en su habitat, comprometiendo su conectividad ecológica y su persistencia a largo plazo. En palabras de (Velasco et al., 2022) mantienen que el cambio climático variante a pasar de los años afectara mucho en los nichos ecológicos de la especie lo que las obligara a migrar a nuevos ecosistemas donde posiblemente se adapten o nuevamente migren.

Ilustración 10: Distribución potencial futura de *Athene cunicularia* en el Ecuador escenario 2090



Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

12.2.3.1. Distribución potencial de *Athene cunicularia* bajo el modelo de circulación general atmosférica CCCMA 2090

El escenario climático proyectado por el modelo CCCMA para el año 2090 muestra una contracción aún más acentuada en la distribución potencial de *Athene cunicularia*, en comparación con los escenarios de 2025 y 2060. Las zonas con alta idoneidad climática se reducen a fragmentos muy específicos en provincias del sur andino, como Loja, Azuay y sectores elevados de Chimborazo, mientras que regiones anteriormente favorables como

Cotopaxi, Manabí, Santa Elena y Pichincha pierden casi por completo su aptitud para albergar a la especie.

Este patrón coincide con las proyecciones del modelo CCCMA (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis), que predice un aumento sostenido de temperatura, mayor frecuencia de eventos climáticos extremos y variabilidad en las precipitaciones hacia finales del siglo XXI (Gaitán, 2024). Estas condiciones afectan directamente los hábitats abiertos y secos preferidos por *Athene cunicularia*, generando un escenario crítico para su permanencia en gran parte del país.

De acuerdo con Pulido (2021) y Velasco et al. (2022), esta especie se adapta principalmente a paisajes áridos y semiáridos con baja cobertura vegetal, características que se vuelven cada vez más escasas bajo los cambios climáticos proyectados. Además, al tratarse de una especie que anida en madrigueras subterráneas, los cambios en la humedad del suelo y la compactación por actividades humanas limitarán aún más sus posibilidades de supervivencia en zonas que hoy aún parecen habitables.

Los resultados también evidencian un desplazamiento altitudinal hacia zonas más elevadas, un fenómeno descrito ampliamente por Bárcena et al. (2020) como respuesta adaptativa común frente al calentamiento global. Sin embargo, la reducción de conectividad entre estos hábitats elevados representa un riesgo ecológico adicional. Como señalan Mateo et al. (2011), la fragmentación espacial puede conducir a aislamiento poblacional, pérdida de diversidad genética y menor resiliencia ante amenazas ambientales.

Por otro lado, como destacan Elith et al. (2011), los modelos de distribución basados en máxima entropía como MaxEnt permiten estimar con alta precisión cómo se modificaría el nicho ecológico de una especie frente a escenarios climáticos futuros. En este estudio, variables como la temperatura mínima del mes más frío, la amplitud térmica y la precipitación estacional fueron decisivas para predecir la pérdida de hábitat. Estas variables reflejan la estrecha dependencia del búho a microclimas específicos que, bajo el escenario CCCMA 2090, se tornan cada vez menos comunes.

12.2.4. Rendimiento del modelo: AUC, TSS y el umbral óptimo

El modelo de distribución potencial de *Athene cunicularia* fue validado mediante el desarrollo de diversos indicadores estadísticos ampliamente reconocidos en el modelamiento de

nichos ecológicos: AUC (Área Bajo la Curva ROC), TSS (True Skill Statistic), el umbral óptimo de sensibilidad y la curva de sensibilidad vs especificidad. El valor obtenido de AUC= 0.85 quiere decir que evidentemente el modelo posee una alta capacidad discriminativa, es decir, es eficaz para que exista una diferencia entre áreas de presencia y ausencia de especie.

Este resultado se encuentra dentro del rango considerado como “bueno” (0.8-0.9) según Figueira & Amante (2020). Esto nos muestra que la combinación de registros de presencia con las variables bioclimáticas seleccionadas fue la adecuada para reflejar las condiciones ecológicas de la especie (Figueira & Amante, 2020).

12.2.5. Validación estadística del modelo

Para evaluar la exactitud de nuestro modelo al predecir la posible ubicación del *Athene cunicularia*, decidimos calcular el área bajo la curva ROC (Receiver Operating Characteristic), una técnica que se presenta a partir de simulaciones hechas en MaxEnt (Bouza, 2021). Esta herramienta es muy común en los estudios que buscan modelar dónde podrían vivir ciertas especies, pues nos da una idea clara de qué tan bien predice el modelo, incluso cuando no tenemos datos que confirmen dónde no se encuentra la especie.

Se realizaron 10 repeticiones mediante el enfoque "bootstrap", dedicando el 75% de los datos al entrenamiento y el 25% restante a la evaluación del modelo. El resultado fue un AUC promedio de 0.944, que, de acuerdo con la clasificación de (Navarro Alberto, 2016), sugiere una exactitud sobresaliente, al situarse entre 0.90 y 1.00. Este hallazgo subraya la notable aptitud del modelo para distinguir áreas propicias y desfavorables para la existencia de la especie.

La (Tabla 6) presenta los valores individuales de AUC para cada repetición. El óptimo desempeño del modelo refuerza su valor como instrumento técnico para señalar zonas susceptibles a la presencia actual y futura del búho *Athene cunicularia* en Ecuador, bajo el panorama climático anticipado para el año 2025.

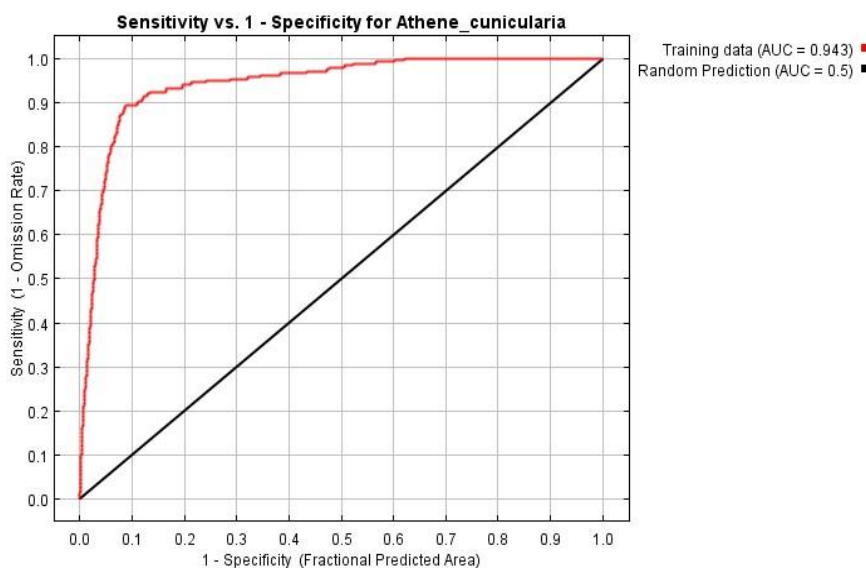
Tabla 6: Validación estadística de AUC

<i>Replica</i>	<i>Presencia</i>	<i>Modelamiento</i>	<i>AUC</i>
1	67	MaxcEnt	0.942
2	67	MaxcEnt	0.947
3	67	MaxcEnt	0.937
4	67	MaxcEnt	0.951
5	67	MaxcEnt	0.938

6	67	MaxcEnt	0.945
7	67	MaxcEnt	0.940
8	67	MaxcEnt	0.948
9	67	MaxcEnt	0.950
10	67	MaxcEnt	0.944
Promedio			0.09442

Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

Ilustración 11: Resultado de AUC para Athene cunicularia



Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

La curva ROC mostrada anteriormente ofrece una idea de los resultados obtenidos a partir del modelo de distribución de especies MaxEnt diseñado para el búho llanero (Bouza, 2021). La curva ilustra qué tan bien el modelo distingue la presencia real de la ausencia, relacionando la tasa de verdaderos positivos con la tasa de falsos positivos, y evalúa su capacidad para pronosticar la presencia de especies dependiendo de los factores ambientales elegidos.

Descubrimos que el área bajo esta curva resultó ser 0.943, lo que demuestra que el modelo tiene una capacidad predictiva realmente grande. Una puntuación AUC cercana a 1.0 significa que el modelo está diferenciando bien entre áreas donde la especie está presente y áreas donde no lo está. El punto de corte terminó siendo 0.128. Esto se utilizó para eliminar lugares en los que era poco probable o muy improbable que los búhos llaneros prosperaran. Al hacer eso, obtuvimos una idea más precisa de dónde podrían vivir potencialmente, una que se adaptara mejor a las condiciones ambientales adecuadas para ellos en Ecuador.

Tabla 7: Validación estadística del umbral de corte

Umbral de logístico	Umbral de corte	Promedio de replica
Valor acumulado fijo 1	0.010	0.709
Valor acumulado fijo 5	0.039	0.361
Valor acumulado fijo 10	0.092	0.218
Presencia mínima en formación	0.014	0.621
Presencia en el entrenamiento del percentil 10	0.246	0.111
Sensibilidad y especificidad de entrenamiento iguales	0.262	0.106
Máxima sensibilidad de entrenamiento más especificidad	0.330	0.088
Omisión del entrenamiento de equilibrio, área prevista y valor umbral	0.042	0.346
Igualar la entropía de las distribuciones umbralizadas y originales	0.123	0.180
Promedio	0.1287	0.304

Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

En los modelos de distribución potencial de umbral de corte es importante el modelo que refleja MaxEnt que expresa probabilidades de presencia en salidas binarias de presencia o ausencia. Para este estudio de empleo el umbral óptimo determinado automáticamente por MaxEnt a partir del balance entre sensibilidad y especificidad, el cual fue de 0.45. Este valor representa el punto en el cual el modelo logra un equilibrio entre la capacidad para detectar presencia de especies reales (alta sensibilidad) y reducir las predicciones falsas en lugares donde la especie se encuentra ausente (alta especificidad), como señala Matamoros (2023) hace referencia que un umbral más seleccionado puede atraer a una sobrestimación o subestimación del hábitat potencial, afectando la interpretación de los resultados y decisiones de conservación hacia la especie o su hábitat (Matamoros, 2023).

La tabla que evalúa la validez estadística del umbral destaca factores cruciales para medir la efectividad del modelo MaxEnt una vez implementado el umbral. Este punto transforma la predicción continua en una clasificación simple de sí o no (presencia / ausencia). En esta investigación, utilizamos un punto de referencia de 0.127, escogido pues daba la sensibilidad y especificidad más altas. El valor medio del área bajo la curva (AUC) fue de 0.944, mostrando que el modelo tiene muy buena capacidad predictiva. Además, se encontraron

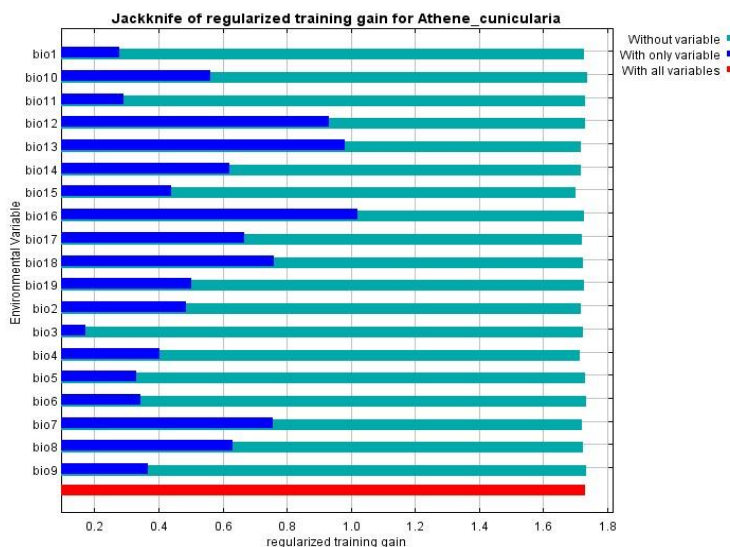
niveles altos de sensibilidad y especificidad, mostrando la gran capacidad del modelo para indicar con exactitud tanto los sitios donde la especie se encuentra presente como ausente. En general, estos datos muestran la fiabilidad del modelo y respaldan el uso del mapa binario para el análisis espacial de la distribución de *Athene cunicularia* en escenarios actuales y futuros.

12.2.6. Análisis Jacknife del AUC

El análisis Jacknife del AUC (Figura 15) revela que las variables de mayor peso en el modelo de distribución del *Athene cunicularia* son: BIO16 (Temperatura del trimestre más seco), BIO13 (Precipitación estacional) y BIO5 (Temperatura máxima del mes más cálido). Estas variables muestran una ganancia superior al ser utilizadas individualmente, sugiriendo que, por sí solas, contienen la mayor cantidad de información relevante.

Dentro del análisis, BIO9 sobresale como la variable que más incrementa la ganancia del modelo cuando se usa sola, lo que indica que la temperatura en los períodos más secos tiene una influencia directa en la distribución ecológica de esta especie. En contraste, la variable BIO1 (Temperatura media anual) fue la que menos contribuyó al modelo, ya sea al excluirla o al usarla individualmente, por lo que se considera menos influyente en la predicción de la presencia de la especie en Ecuador.

Ilustración 12: Prueba de Jacknife de las variables bioclimáticas de la especie *Athene cunicularia*



Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

12.2.7. Zonas con idoneidad climática

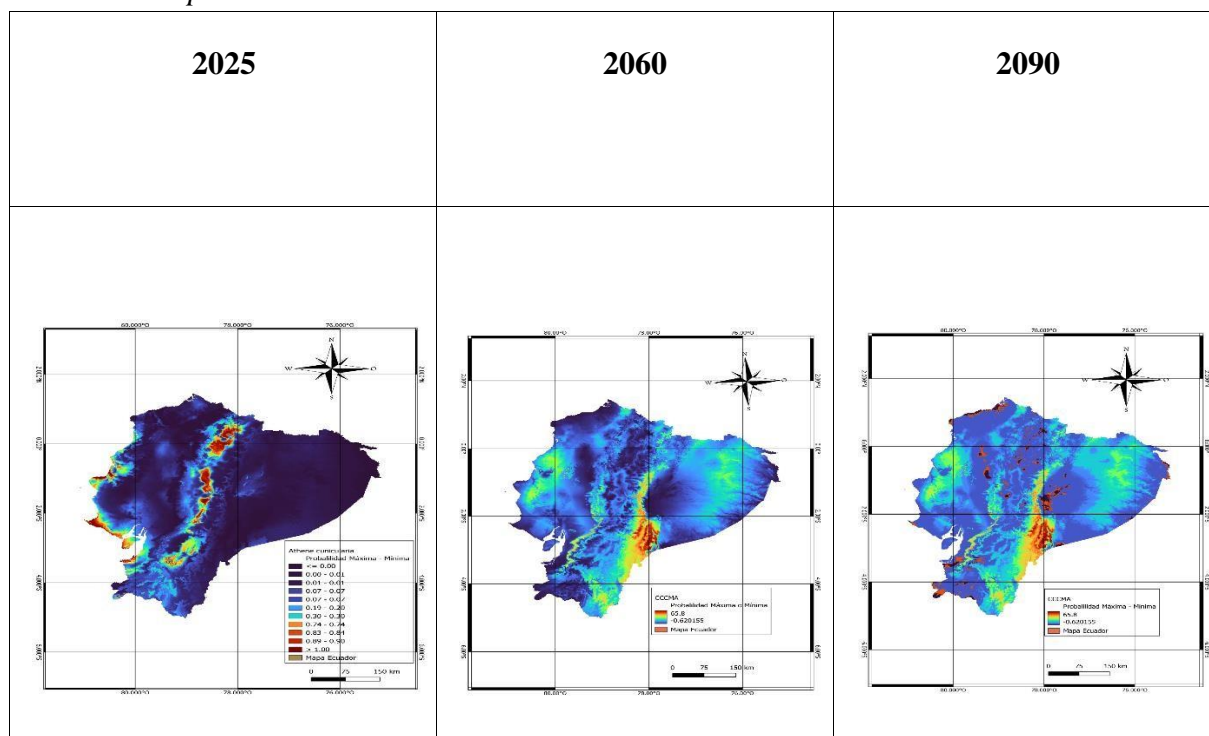
Los resultados del modelo actual muestran que *Athene cunicularia* presenta una mayor idoneidad climática en zonas de la región Costa y el sur de la Sierra ecuatoriana. En este caso las provincias de Manabí, Guayas y Santa Elena destacan como los núcleos principales de presencia, puesto a que se reúnen condiciones ecológicas favorables como los climas áridos, suelos abiertos y vegetación baja, estas son características que las especie busca para habitar.

De tal manera, el modelo evidencio una alta probabilidad de presencia en áreas de trancision entre Costa y Sierra, especialmente, en las provincias de El Oro y Loja, donde interactúan condiciones térmicas y de precipitación estacional que mantienen la disponibilidad de presas y sitios de anidación. También se identificaron parches con idoneidad moderada en sectores bajos de la Sierra central, lo que sugiere flexibilidad ecológica en zonas agrícolas abiertas. Esta investigación concuerda con registros observacionales y estudios previos que reportan a *Athene cunicularia* como una especie lista y rápida, que utiliza hábitats antropizados, pastizales secos, sabanas y zonas costeras con gran vegetación (Rodríguez et al., 2024).

12.3. Identificación de Zonas vulnerables y áreas prioritarias

12.3.1. Comparación espacial entre los modelos (2025-2060-2090)

Tabla 8: Comparación entre modelos



Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

La comparación de los mapas binarios generados con MaxEnt permiten identificar cambios importantes en su distribución potencial de *Athene cunicularia* en los tres periodos como lo es: presente (2025) y los dos escenarios climáticos proyectados para e años futuros diferentes (2060 y 2090). En esta comparación revela una tendencia progresiva a la reducción de áreas con condiciones ambientales óptimas, especialmente en la región interandina y zonas costeras del Ecuador.

En el año 2025, el modelo muestra una distribución relativamente amplia, con áreas de alta idoneidad climática en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Manabí y Santa Elena. Estas zonas presentan características favorables como suelos secos, vegetación baja y actividades agrícolas extensivas que son compatibles con el comportamiento ecológico de la especie.

Sin embargo, en el escenario del año 2060, se evidencia una disminución significativa en la superficie adecuada, especialmente en las provincias del norte y centro andino. Esta pérdida está relacionada con el incremento proyectado de la temperatura y una mayor variabilidad en las precipitaciones. Algunas provincias como Cañar, Tungurahua y Bolívar comienzan a mostrar una reducción marcada de hábitat adecuado.

Para el año 2090, el escenario se vuelve aún más restrictivo. Las áreas adecuadas se concentran en zonas más elevadas del sur del país, particularmente en Loja, sur de Azuay y partes altas de Chimborazo, las cuales podrían actuar como refugios climáticos para la especie. Por otro lado, la costa y el centro andino pierden casi completamente su idoneidad, debido a condiciones más secas y cálidas, que ya no permiten la persistencia de la especie.

Los resultados coinciden con lo planteado por Víctor Pulido et al., (2021), quien señala que *Athene cunicularia* depende de ecosistemas áridos y abiertos, sensibles a cambios en temperatura y humedad. La pérdida de estas condiciones climáticas óptimas afecta directamente su distribución, especialmente en zonas intermedias donde se incrementan las temperaturas y la presión antrópica (Víctor Pulido et al., 2021)

Según Velasco et al. (2022), esta especie muestra una alta adaptabilidad a zonas semiurbanas y agrícolas, pero dicha adaptabilidad tiene límites climáticos que, una vez sobrepasados, obligan a la especie a migrar altitudinalmente o quedar restringida a refugios. Nuestros modelos muestran este fenómeno al evidenciar que las zonas de mayor altitud (Loja,

sur andino) se mantienen más estables hasta 2090, quienes identifican que los Andes del sur podrían actuar como “islas térmicas” para especies afectadas por el cambio climático.

Además, de acuerdo con Gaitán (2024), los modelos de circulación general como CCCMA proyectan un aumento sostenido de la temperatura en la región andina, acompañado de una mayor variabilidad en la precipitación. Esto afectaría el equilibrio del nicho ecológico de especies como *Athene cunicularia*, tal como lo demuestra nuestra proyección para 2090, donde muchas zonas actuales desaparecen como hábitat adecuado.

Asimismo, el patrón observado en este estudio respalda lo afirmado por Elith et al. (2011) y Phillips et al. (2006), quienes argumentan que el modelado con MaxEnt permite anticipar cambios en la distribución de especies en función de sus preferencias ambientales, ayudando a identificar zonas críticas para su conservación.

Finalmente, el desplazamiento y fragmentación del hábitat futuro plantea riesgos ecológicos importantes como aislamiento de poblaciones, pérdida genética y dificultad de recolonización, en concordancia con lo discutido sobre las especies de distribución restringida o dependientes de ambientes abiertos (Carvajal, 2017).

12.3.2. Provincias vulnerables

La identificación de provincias vulnerables a la presencia actual y futura de *Athene cunicularia* se realizó a partir del análisis de mapas binarios derivados de los modelos generados con MaxEnt. Se consideraron como zonas vulnerables aquellas provincias donde se proyecta una reducción significativa en la idoneidad climática o una fragmentación del hábitat adecuado en los escenarios para 2060 y 2090.

Según los resultados presentados en la Tabla 7, las provincias con mayor vulnerabilidad incluyen:

- Cotopaxi, Pichincha y Tungurahua, en el centro del país: muestran una notable reducción de hábitat adecuado entre los tres escenarios.
- Manabí y Santa Elena, en la región costera: aunque actualmente presentan alta idoneidad, se proyecta una drástica pérdida futura.
- Cañar y Bolívar: evidencian fragmentación y pérdida progresiva de áreas favorables para la especie.

- En contraste, provincias como Loja y el sur de Chimborazo mantienen condiciones relativamente estables y se perfilan como refugios climáticos.

Esta redistribución espacial responde a patrones proyectados del cambio climático. Según Gaitán (2024) y los escenarios del CMIP6, se espera un aumento de la temperatura media anual y una mayor irregularidad en las precipitaciones en la región interandina, factores que afectan negativamente la estabilidad de los hábitats abiertos donde habita *Athene cunicularia*.

De acuerdo con Velasco et al. (2022), esta especie es especialmente sensible a las alteraciones en el microclima y al uso del suelo, por lo que provincias con fuerte crecimiento urbano o agrícola, como Cotopaxi y Pichincha, ven reducida su capacidad de albergar poblaciones viables a futuro.

Por otro lado, la presencia constante de condiciones favorables en zonas como Loja y el sur de Azuay podría estar vinculada a su altitud elevada y menor intervención antrópica, lo que las convierte en potenciales refugios climáticos Víctor Pulido et al., (2021). Estos espacios deben priorizarse en estrategias de conservación, ya que podrían permitir la persistencia de la especie ante escenarios más extremos.

Además, como lo plantean Mateo et al. (2011), el aislamiento progresivo de parches de hábitat adecuado puede generar una disminución de conectividad ecológica entre poblaciones, lo cual es crítico para especies con rangos amplios como *Athene cunicularia*. Este fenómeno se refleja claramente en provincias como Cañar y Bolívar, donde los modelos muestran una fragmentación severa del hábitat.

Tabla 9: áreas vulnerables

Provincia	Presencia actual (2025)	Presencia futura (2060)	Presencia futura (2090)	Vulnerabilidad
Pichincha	Alta	Media	Baja	Alta
Cotopaxi	Alta	Media	Baja	Alta
Chimborazo	Media	Media	Baja	Media
Loja	Alta	Alta	Baja	Media
Tungurahua	Alta	Alta	Baja	Media
Cañar	Media	Baja	Muy Baja	Alta
Imbabura	Media	Baja	Muy Baja	Alta

<i>Manabí</i>	Alta	Media	Baja	Media
<i>Guayas</i>	Media	Media	Media	Media
<i>Pastaza</i>	Baja	Baja	Muy Baja	Baja
	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Baja

Elaborado por: Autora (Acosta, 2025)

12.4. Impactos causados por el cambio climático en la distribución de *Athene cunicularia*

Los resultados obtenidos bajo el escenario climático proyectado para el año 2090 reflejan una serie de impactos ecológicos y territoriales significativos para la especie *Athene cunicularia* en el Ecuador. Estos impactos no solo afectan su distribución geográfica, sino también su ecología, comportamiento y viabilidad poblacional a largo plazo. Entre los principales impactos se destacan:

- Reducción del hábitat adecuado: El cambio climático ocasionará una drástica disminución de las zonas con condiciones óptimas para la especie, principalmente en la región interandina y zonas costeras del país. Esta pérdida limita los espacios donde el búho puede anidar, cazar y refugiarse.
- Desplazamiento altitudinal: Debido al aumento de la temperatura y la alteración de las precipitaciones, la especie tenderá a moverse hacia zonas más elevadas, como Loja o el sur de Chimborazo. Sin embargo, estas áreas son más limitadas y vulnerables, lo que aumenta el riesgo de competencia y estrés ecológico.
- Fragmentación del hábitat: Las áreas que permanecerán adecuadas estarán más aisladas entre sí, lo que provocará fragmentación ecológica. Esto puede dificultar el movimiento entre poblaciones, limitar el intercambio genético y generar procesos de aislamiento.
- Pérdida de funciones ecológicas: Al reducirse la población del búho, también se verá afectado su rol como controlador natural de insectos y pequeños roedores, lo cual podría alterar el equilibrio de los ecosistemas agrícolas y rurales.
- Mayor vulnerabilidad a amenazas antrópicas: El cambio climático actúa de forma sinérgica con otras amenazas humanas como la expansión urbana, el uso intensivo del

suelo y la deforestación, aumentando la presión sobre los hábitats que aún son aptos para la especie.

- Necesidad urgente de conservación: Los territorios identificados como refugios climáticos deberán ser priorizados en la planificación ambiental, mediante acciones como restauración de hábitats, corredores ecológicos y educación ambiental, para evitar una posible desaparición local de la especie.

13. Conclusiones y Recomendaciones

13.1. Conclusiones

- El modelo de distribución potencial de *Athene cunicularia* generado con MaxEnt obtuvo un valor promedio de AUC de 0.944, lo que indica un excelente desempeño predictivo. Esto demuestra la fiabilidad del algoritmo en identificar áreas ambientalmente idóneas para la especie, incluso bajo condiciones climáticas proyectadas.
- Bajo los escenarios climáticos proyectados para los años 2060 y 2090, se observa una reducción significativa de la idoneidad ambiental en varias provincias del centro y norte andino, especialmente en Pichincha, Cotopaxi, Bolívar y Cañar. Esto indica una alta vulnerabilidad ecológica de estas zonas frente al cambio climático.
- Se identificaron zonas de persistencia ambiental o refugios climáticos, ubicadas principalmente en provincias del sur andino como Loja y el sur de Chimborazo, donde se mantienen condiciones ambientales favorables para la especie en escenarios futuros. Estas áreas deben considerarse prioritarias para acciones de monitoreo y conservación.

13.2. Recomendaciones

- Integrar los resultados del presente estudio en planes de ordenamiento territorial y estrategias de conservación ambiental, especialmente en las provincias identificadas como vulnerables.

- Promover el monitoreo a largo plazo de las poblaciones de *Athene cunicularia* en zonas de alta idoneidad actual, con énfasis en la Sierra centro y sur del Ecuador.
- Realizar estudios complementarios que incluyan variables de uso del suelo, actividad antrópica y fragmentación de hábitats para obtener modelos más integrales que ayuden a entender la dinámica de la especie en distintos contextos ecológicos y temporales.

BIBLIOGRAFIA

Animales, E. de los. (1970). *Enciclopedia de los animales 149 Noguera 1970 pdf*.

Arcila, Á., Gómez, J., Brochero, C., Abaunza, G., & Varón, E. (2023). *Artículo Original : Relación entre variables bioclimáticas y prácticas de manejo Relación entre variables bioclimáticas y prácticas de manejo con capturas de Anastrepha obliqua (Macquart) (Diptera : Tephritidae) Relation between bioclimatic variables. January.*

Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2016). Código Orgánico de Organización Territorial Descentralizado. *Lexis Finder*, 1–180.
<http://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/05/COOTAD.pdf>

Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. *Iusrectusecart*, 449, 1–219. <https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2021/02/Constitucionultimodif25enero2021.pdf>

Aspur-Blanco, A., Villasante-Benavides, F., & Norambuena, H. V. (2022). *Nº 2. Páginas 47-53 IDESIA (Chile) Junio. 40, 2022.*

Baladrón, A. V., Isacch, J. P., Cavalli, M., & Bó, M. S. (2016). Habitat Selection by Burrowing Owls *Athene cunicularia* in the Pampas of Argentina: A Multiple-Scale Assessment. *Acta Ornithologica*, 51(2), 137–150. <https://doi.org/10.3161/00016454AO2016.51.2.001>

- Bárcena, A., Samaniego, J., Peres, W., & Alatorre, J. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe La emergencia del.*
- Betancur, L. (2020). *LA BIOTA ACUÁTICA Luisa Fernanda Betancur Zapata Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería.*
- Bocanegra García, C. A. (2020). Manifestaciones biológicas de la variabilidad climática en zonas del Perú. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 82–88.
<https://doi.org/10.62452/ghjstf89>
- Bouza, C. N. (2021). Las Curvas Roc Teoría Y Herramientas Para Su Uso. *Universidad de La Habana, May*, 1–38. <https://www.researchgate.net/publication/351991520>
- Cabrera, D. (2018). *Análisis de la dieta de la Lechuza de Campanario (Tyto alba) y Búho terrestre (Athene cunicularia) en Zapotillo Ecuador. [Tesis de grado].*
- Cadena-Ortiz, H., Bedoya, J., Pozo-Zamora, G. M., Watson, J., & Brito M., J. (2018). Notas Sobre La Dieta, Desarrollo De Jóvenes Y Distribución Del Búho Estigio Asio Stygius (Strigiformes: Strigidae) En Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ornitología*, 3, 20–31.
<https://doi.org/10.18272/reo.v0i3.773>
- Cadena-Ortíz, H., Garzón, C., Villamarín-Cortéz, S., Pozo-Zamora, G. M., Echeverría-Vaca, G., Yáñez, J., & Brito-M., J. (2016). Diet of the Burrowing Owl *Athene cunicularia*, in two locations of the inter-Andean valley Ecuador. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 24(2), 122– 128. <https://doi.org/10.1007/bf03544340>
- Camino Mena, J. L., & Rueda Pasmay, K. D. (2024). *Monitoreo del búho terrestre (Athene cunicularia) en el Aeropuerto Internacional Cotopaxi de la ciudad de Latacunga.*
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- Carvajal, M. A. (2017). *Fragmentación y pérdida de hábitat en especies especialistas de bosques : Chucao (Scelorchilus rubecula) como especie focal.* 81.
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152382/fragmentacion-y-perdida-dehabitat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chimborazo, E. (2020). "MODELACIÓN DE NICHOS ECOLÓGICOS BAJO DOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA MAÍZ CHULPI (*Zea mays*) EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI, EN EL PERIODO 2019-2020." *Universidad Técnica de Cotopaxi*, 1, 101.
- Cordero, J. (2017). *FORMATO PARA LOS INFORMES DE LAS PARTES SOBRE LA PUESTA EN PRÁCTICA DE LA CONVENCIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS ESPECIES MIGRATORIAS DE ANIMALES SILVESTRES*. 1–50.
- Duque, S., Quintero, M., & Duque, Q. (2014). *LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN COMUNIDADES RURALES Y LA POPULARIZACIÓN DEL DERECHO A LA CONSERVACIÓN DEL ENTORNO NATURAL: EL CASO DE LA COMUNIDAD DE PESCADORES EN LA CIÉNAGA DE AYAPEL (COLOMBIA)*.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57.
<https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Enríquez, P. L. (2015). *Los búhos neotropicales Diversidad y Conservación*.
- Enríquez Rocha, P. L. (2019). Aves rapaces de Chile. *Hornero*, 34(1), 30–31.
<https://doi.org/10.3356/rapt-56-02-22>
- Fernández-lópez, J., Acevedo, P., & Gimenez, O. (2023). *La unión hace la fuerza: modelos de distribución de especies integrando diferentes fuentes de datos*. 3(1).
- Figueira, T., & Amante, H. (2020). Use of roc curves in clinical and experimental studies. *Jornal Vascular Brasileiro*, 19, 1–4. <https://doi.org/10.1590/1677-5449.200186>
- Freile, J. F., Santander, T. G., Jiménez-Uzcátegui, G., Carrasco, L., Cisneros-Heredia, D., Guevara, E. A., Sánchez-Nivicela, M., & Tinoco, B. A. (2019). Lista Roja de las Aves del Ecuador Diversity and Conservation of Neotropical Amphibians and Reptiles View project Biodiversidad de Colombia View project Charles Darwin Foundation Fundación para la Conservación de los Andes Tropicales. In *Lista roja de las aves del Ecuador* (Issue January

- 2020). <https://www.researchgate.net/publication/338263750>
- Gaitán, V. (2024). Estado del arte sobre modelos de circulación global para resistir el problema del cambio climático. *Revista Torreón Universitario*, 13(36), 6–17. <https://doi.org/10.5377/rtu.v13i36.17630>
- Geoinnova, P. P. y A. (2019). Creación de modelos predictivos con MaxEnt. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SYSTEM_PEMBETUNG_A_N_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Gómez-Ortiz, Y., Zamudio-Tovar, M. de L., Domínguez-Vega, H., Lavariega, M. C., Marín-Togo, M. C., & Rodríguez-Soto, C. (2024). Monitoreo comunitario de la fauna silvestre: conocer, compartir y aprender. *Herreriana*, 6(1), 13–18. <https://doi.org/10.29057/h.v6i1.11230>
- González Sánchez, Y., Fernández Díaz, Y., & Gutiérrez Soto, T. (2013). El cambio climático y sus efectos en la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 51(3), 331–337.
- Gutiérrez, M. (2022). *Sistema de Información Geográfico QGIS. 1*, 1–126. <https://repositorio.una.edu.ni/4669/1/NU40G984.pdf>
- Haug, E. A., Millsap, B. A., & Martell, M. S. (2021). Burrowing Owl (*Speotyto cunicularia*). In *Birds of North America (print)*. <https://doi.org/10.2173/tbna.61.p>
- Hernández, O. G., Artigas, R. C., González, J. M. S., & García, L. V. (2018). Predictive modeling in Biogeography: Applying ecological niche modelling in Physical Geography. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 2018(78), 88–126. <https://doi.org/10.21138/bage.2395>
- König, C., Weick, F., & Becking, J. (2008). *Owls of the World* (2nd ed.).

- Lisovsky, A. A., & Dudov, S. V. (2021). Species-Distribution Modeling: Advantages and Limitations of Its Application. 2. MaxEnt. *Biology Bulletin Reviews*, 11(3), 265–275. <https://doi.org/10.1134/s2079086421030087>
- Llano, M., & Fernandez, H. (2017). *Analisis y propuestas para la conservacion de la biodiversidad*. 1–112.
- Lopez, L. (2016). *Notas Sobre Biología Y Alimentacion De Las Aves Rapaces*.
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies : un concepto en revisión. *Acta Universitaria, Multidisciplinary Scientific Journal*, 25(2), 22–38. <https://doi.org/10.15174/au.2014.690>
- Martínez, M. V., Echevarria, A. L., Ortiz, P., & Fanjul, M. E. (2018). Dieta De La Lechucita Vizcachera (*Athene Cunicularia*) En Un Humedal De Altura De La Provincia De Tucumán, Noroeste De Argentina. *Ornitología Neotropical*, 29(July), 359–365. <https://doi.org/10.58843/ornneo.v29i1.401>
- Matamoros, L. Z. (2023). *PCorteSoft – System for determination of optimal cut-off point in predictive scales and categorization of continuous variables Introducción*. 15(2).
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217–240. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Muñoz, A. (2018). *Validación y Análisis de Modelos de Cambio Climático para Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Informe-Anáisisde-Consenso.pdf>
- Narciso, J. (2016). Estrategia Nacional de la Biodiversidad 2015-2030. In *Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica: Vol. primera ed* (pp. 1–225). <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu169465.pdf>
- Navarro Alberto, J. A. (2016). The bootstrap: A 35 years old young very useful for analyzing biological data. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(1), 11–23.

- ONU. (2017). Convenio sobre Diversidad Biológica. *Secretariat of the Convention on Biological Diversity*, 1–17. <http://www.cbd.int/convention/convention.shtml>
- Orihuela-Torres, A., Ordóñez-Delgado, L., Brito, J., López, F., Mazón, M., & Freile, J. F. (2018). Feeding ecology of the burrowing owl *Athene cunicularia punensis* (Strigiformes: Strigidae) in the jambelíarchipelago, el oro province, southwestern Ecuador. *Revista Peruana de Biología*, 25(2), 123–130. <https://doi.org/10.15381/rpb.v25i2.13376>
- Paiva, A. L. da C., Teixeira, R. B., Yamaki, M., Menezes, G. R. de O., Leite, C. D. S., & Torres, R. de A. (2010). Análise de componentes principais em características de produção de aves de postura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(2), 285–288. <https://doi.org/10.1590/s151635982010000200009>
- Pasquali, C., Acedo de Bueno, M., & Ochoa, B. (2011). Propuesta para una estrategia didáctica en educación ambiental : observacion de aves. *Revista Venezolana de Educación*, 15, 543–650. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35622379011>
- Phillips, S. B., Aneja, V. P., Kang, D., & Arya, S. P. (2006). Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(2–3), 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 79(48), 61–79. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022011000100005>
- Pulido, V. (2021). COLONIZACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS DE LA AMAZONIA PERUANA POR LA LECHUZA DE LOS ARENALES *Athene cunicularia* (MOLINA , 1782) COLONIZATION OF DEFORESTED AREAS IN THE PERUVIAN AMAZON BY THE BURROWING OWL *Athene cunicularia* (MOLINA , 1782). 20(2).

- Pulido, Víctor, Salinas, L., & Del Pino, J. (2021). Revisión del conocimiento actual y conservación de la lechuza de los arenales *Athene cunicularia* (Molina, 1782) en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, 28(1), e19242. <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i1.19242>
- Ríos, C., Espinoza, B., & Vega, K. (2020). *Por Qué La Geografía Sí Importa: Fuentes Y Consideraciones De La Información Ambiental En El Proceso Del Modelado De Nichos Ecológicos Y/O Distribución De Especies Why Geography Matters: Sources and Considerations of Environmental Information in the Proce.* 03(01), 2020–2025. <https://www.inegi.org.mx/>
- Rodríguez-Villamil, D. R., Corrales-Hernández, H. A., Collazos-González, S. A., Ávila-Jiménez, A. J., Arango-Campuzano, S., Contreras, J., & Enríquez, P. L. (2022). Primeros registros del búho de madriguera (*Athene cunicularia*, Strigidae) en el departamento de Sucre, con notas sobre su historia natural. *Boletín SAO*, 31(March), 7–15. www.xeno-canto.org/524489
- Rodríguez, R., Juárez, A., García, S., Olivier, B., Ortiz, E., & Ramírez-Barrios, R. (2024). Modelado de idoneidad ambiental e implicaciones del cambio climático en la distribución de *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) Franco para México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 58(1), 1–17. <https://doi.org/10.15359/rca.58-1.7>
- Rojas, E., & Simba, D. (2024). Universidad Técnica de Cotopaxi UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI. *Repositorio Uta*, 195. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- Sampedro, S. (2015). Universidad Técnica de Cotopaxi UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI. *Repositorio Uta*, 67. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- Seco, J., Hernandez, M., Paz, J., & Berón, M. (2022). Metodologías y Ayudas en Investigación. *El Hornero - Revista de Orniología Neotropical*, 37(Cézilly 1997), 85–91. <https://www.avesargentinas.org.ar/comparación-intramétodo-de-captura-de-gallaretasfulica-sp-en-lagunas-urbanas-del-sudeste-bonaerense>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2019). POT: DTS Rural. *Picaresca Femenina*, 539–584.

Senner, S. E., Andres, B. A., & Gates, H. R. (2017). Estrategia de conservación de las aves playeras de la ruta del pacífico de las américas. *National Audobon Society*, 1–88. <http://www.shorebirdplan.org>.

Subsecretaría de Calidad Ambiental Dirección de Normativa y Control Ambiental. (2022). *Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica*.

Téllez, I. H. (2019). *El Autillo Europeo (Otus scops) en la ciudad de Madrid : Determinantes ambientales de la infección de los pollos por Gongylonema sp . (Nematoda)*. 1–23.

Trofino Falasco, C. (2023). *Efectos de la fragmentación y modificación del Pastizal Serrano del Sistema de Tandilia sobre las poblaciones de aves de pastizal*. 128. <https://doi.org/10.35537/10915/160304>

Ulloa, L., Orozco, F., Orozco, J., & Carrera, C. (2017). Sistema de información geográfica para la integración de información Geo referenciada de entidades públicas y privadas en. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, IV, 13–27.

Varela, S., Terribile, L. C., de Oliveira, G., Diniz-Filho, J. A. F., González-Hernández, J., & LimaRibeiro, M. S. (2015). ecoClimate vs. Worldclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía. *Ecosistemas*, 24(3), 88–92.

Velasco, V., Tarango, L., Olmos, O., & Ugalde, S. (2022). Caracterización del hábitat de *Athene cunicularia hypugaea* (Bonaparte,1825) en el Centro-Norte de México. *Abanico Veterinario*, 12(December 2018), 1–17. <https://doi.org/10.21929/abavet2022.27>