



UNIVERSIDAD TÉCNOLÓGICA

INDOAMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS
GENÉTICOS**

TEMA:

MODELANDO PARA LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *AKODON MOLLIS* EN LOS ANDES ECUATORIANOS BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en Biodiversidad y Recursos Genéticos

Autor (a)

Muñoz Ortega Karla Milena

Tutor (a)

Dr. Bonilla Bedoya Santiago

QUITO-ECUADOR

2023

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, Karla Milena Muñoz Ortega, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “Modelando para la distribución espacial de *Akodon mollis* en los Andes ecuatorianos bajo escenarios de cambio climático”, como requisito para optar al grado de Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

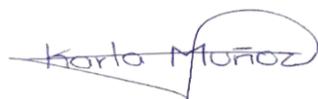
Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 10 días del mes de marzo del 2023, firmo conforme:

Autor: Karla Milena Muñoz Ortega

Firma:



Número de Cédula: 1725618399

Dirección: Pichincha, Quito, Tumbaco, Comuna Leopoldo N Chávez

Correo Electrónico: karla_1000ena@hotmail.com

Teléfono: 0998242263

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “MODELANDO PARA LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE *AKODON MOLLIS* EN LOS ANDES ECUATORIANOS BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO” presentado por Karla Milena Muñoz Ortega, para optar por el Título Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos,

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

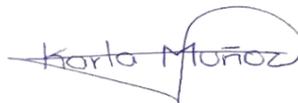
Quito, 10 de marzo del 2023

.....
PhD. Santiago Bonilla Bedoya

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 10 de marzo de 2023



.....
Karla Milena Muñoz Ortega
1725618399

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: **MODELANDO PARA LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE AKODON MOLLIS EN LOS ANDES ECUATORIANOS BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO** previo a la obtención del Título de Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 13 de marzo de 2023

.....

PhD. Ernesto Santos García
Lector 1

.....

PhD. Ibon Tobes Sesma
Lector 2

DEDICATORIA

El siguiente trabajo es dedicado a:

Mis padres,

Daniel y Bernarda

Por ser ese pilar fundamental en mi vida, por su amor, apoyo incondicional y demostrarme que con fe y perseverancia todo es posible.

A mis hermanas,

Natalia y Daniela

Gracias por mostrarme que no hay imposibles mientras exista constancia y trabajo duro.

A mis sobrinas y sobrino,

Camila, Sofia, Paula, Raquel y Emilio

Alegran mis días con sus ocurrencias, locuras y me enseñan que hay veces que esta bien ver la vida como niños.

A mi abuelita,

Gracias por enseñarme el significado de mujer valiente y esforzada, por ser el pilar de nuestra familia y por nunca rendirte.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por mostrarme cada día su gracia, amor y fidelidad.

A mis padres, porque sin ellos no podría haberlo logrado, gracias por ser mi motor, por hacer posible el cumplimiento de mis sueños. Sin ustedes nada de esto sería posible. Gracias por todas sus enseñanzas por demostrarme que con esfuerzo, perseverancia y sacrificio todo es posible.

A mis hermanas, por cada consejo, enseñanza y por mostrarme lo bonito, positivo y negativo de esta aventura que es vivir.

A mis amigos, gracias por cada mensaje y palabras de apoyo, fueron ese rayito de luz en mis momentos de oscuridad, gracias por celebrar mis triunfos como suyos.

A Oreo y Guachito que me acompañaron hasta donde pudieron, llenando mi vida de color y mucho amor.

Al Dr. Santiago Bonilla, por aceptar mi tesis y apoyarme en el desarrollo de esta, por compartir sus conocimientos y apoyarme en este proceso.

A mis docentes por todo lo impartido en clases, en campo, gracias por compartir las herramientas necesarias para llegar hasta aquí.

A mí, por demostrarme que sí puedo y que a pesar de las dificultades o problemas siempre he podido salir adelante y afrontar las adversidades. Por encontrar nuevas fuerzas cuando parecía que no había y por saber sobrellevar esos días no tan buenos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN TRIBUNAL.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN EJECUTIVO	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	6
1.1.1. Objetivo General	6
1.1.2. Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II	
2. MÉTODOS	7
2.1. Área de estudio.....	7
2.2. Obtención de datos de distribución y clima futuro.....	8
2.3. Compilación de datos en Excel	11
2.4. Recorte de capas de clima futuro.....	11
2.5. Modelos de distribución	12
2.6. Maxent.....	13
CAPÍTULO 3	
3. RESULTADOS PRELIMINARES	15
4. DISCUSIÓN	19

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
6. LITERATURA CITADA	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables climáticas disponibles en resolución espacial de 30 segundos..	9
Tabla 2. Descripción de los escenarios de las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP).	10
Tabla 3. Ajuste de Maxent para la ejecución del software.....	14

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación del área de estudio y los países que comprenden la Cordillera de los Andes.....	8
Figura 2. Mapa de distribución de <i>Akodon mollis</i> en la Sierra Ecuatoriana	15
Figura 3. Mapa de distribución de <i>Akodon mollis</i> realizado con Maxent.....	16
Figura 4. Distribución potencial de <i>Akodon mollis</i>	17
Figura 5. Prueba de jackknife utilizando datos de entrenamiento de <i>Akodon mollis</i>	18
Figura 6. Prueba de jackknife utilizando datos del área bajo la curva de <i>Akodon mollis</i>	18

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS
GENÉTICOS

TEMA: MODELANDO PARA LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE
AKODON MOLLIS EN LOS ANDES ECUATORIANOS BAJO
ESCENARIOS DE CLIMA FUTURO

AUTOR: KARLA MILENA MUÑOZ ORTEGA

TUTOR: PhD. SANTIAGO BONILLA BEDOYA

RESUMEN EJECUTIVO

Los Andes Tropicales constituyen uno de los hotspots de biodiversidad más importantes, por lo tanto, es fundamental su protección y manejo. No obstante, en los últimos años el cambio climático generó impactos significativos en estos ecosistemas poniendo en riesgo su biodiversidad. Aquí, modelamos mediante máxima entropía la distribución espacial de *Akodon mollis* en los Andes ecuatorianos bajo escenarios de clima futuro. Para ello se realizaron búsquedas bibliográficas con información de presencia de la especie en los Andes del Ecuador y descarga de las capas de clima futuro. Se aplicó el modelo de máxima entropía mediante el Software Maxent y los resultados proporcionaron un AUC de (0,87) lo que permite inferir en posibles cambios en la distribución de *Akodon mollis*; las variables climáticas más importantes fueron temperatura mínima y variable bioclimática, que serían las responsables de una posible variación en la distribución de la especie. Esta información es importante para impulsar los esfuerzos de conservación, manejo de los Andes y su biodiversidad de cara a los efectos de la variación climática global.

DESCRIPTORES: *Akodon mollis*, Andes, Biodiversidad, Cambio climático, Distribución.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS
GENÉTICOS

THEME: MODELING FOR THE SPATIAL DISTRIBUTION OF AKODON MOLLIS IN THE ECUADORIAN ANDES UNDER FUTURE CLIMATE SCENARIOS

AUTHOR: Karla Milena Muñoz Ortega

TUTOR: Santiago Bonilla Bedoya. PhD

ABSTRACT

The Tropical Andes are one of the most important biodiversity hotspots, so their protection and management is essential. However, in recent years climate change has had a significant impact on these ecosystems, putting their biodiversity at risk. Here, we modeled by maximum entropy the spatial distribution of *Akodon mollis* in the Ecuadorian Andes under future climate scenarios. For this purpose, we searched bibliographies with information on the presence of the species in Ecuador and downloaded the future climate layers. The maximum entropy model was applied using Maxent software and the results provided an AUC of (0.87), which allows inferring changes in the distribution of *Akodon mollis*; the most important climatic variables were minimum temperature and the bioclimatic variable, which would be responsible for a possible variation in the distribution of the species. This information is important because it promotes conservation and management efforts in the Andes and its biodiversity in the face of the effects of global climatic variation.

KEYWORDS: *Akodon mollis*, Andes, Biodiversity, Climate change, Distribution.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se define como las alteraciones o variaciones en el clima, se pueden dar de forma natural o antrópica (Hasan et al., 2018). Este fenómeno el cual se expresa mediante el aumento de temperatura, cambios en los patrones de precipitación y aumento del nivel del mar, entre otros factores que ponen en riesgo la biodiversidad, el bienestar y desarrollo social (Bárcena et al., 2020). El aumento significativo de temperatura se puede evidenciar en los glaciares ya que presentan una regresión acelerada asociada al calentamiento global generado por la actividades antrópicas y naturales (Magrin, 2015). El cambio climático es una amenaza que pone en riesgo a la mitad de las plantas y animales en las zonas de alta biodiversidad (WWF, 2018). Algunos de los efectos son: periodos largos de sequía, tormentas intensas, fragmentación de hábitat, mayor incidencia de plagas, incendios, inundaciones, adicional a esto se suman los impactos antrópicos constituyendo las problemáticas que incrementan las probabilidades de extinción de flora y fauna (WWF, 2018).

El índice de vulnerabilidad mide la capacidad de sensibilidad, adaptación y exposición al cambio climático, la vulnerabilidad dependerá de la magnitud y rapidez a la que un sistema este expuesto (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016). En el caso de Colombia, Ecuador, y Venezuela se clasifican como países de alto riesgo en el índice de exposición al cambio climático. Los modelos

de proyecciones futuras del clima en las regiones que conforman América Latina y el Caribe predicen un aumento de temperatura de hasta 5°C desde Ecuador hasta el sur de Paraguay, lo que implica grandes impactos sobre los ecosistemas de gran valor para estas regiones (CAF, 2014).

Las afectaciones del cambio climático sobre los ecosistemas, vegetación, tipo de suelo, ponen en riesgo de extinción a un grupo de especies lo que implica cambios en los servicios ecosistémicos y ambientales (Aguirre et al., 2010). Esta problemática se da en zonas con alta biodiversidad como es el caso de Brasil, Colombia, Ecuador, México y Perú que son los países con mayor biodiversidad en América Latina según datos del Banco Mundial (2009). Dicha diversidad biológica, en cuanto a ecosistemas y especies se da gracias a la presencia de la Cordillera Andina; el Callejón Interandino; corrientes marinas y la actividad volcánica (Velásquez, 2019).

Una de las zonas más diversas en comparación con otras regiones de biodiversidad o hotspots son los Andes Tropicales, en donde los impactos del cambio climático podrían afectar la supervivencia de varias especies alterando su dinámica poblacional y distribución espacial (Aguirre et al., 2010). Si se produce un aumento de temperatura, las especies que se encuentran adaptadas a rangos de temperatura más estrechos serían las principales afectadas, siendo las zonas más sensibles los sistemas montañosos tropicales, dando paso a la reducción de las poblaciones (Ojeda y Novillo, 2013). Otro factor que se ha visto amenazado es la diversidad

biológica debido a las actividades antrópicas, en el caso de los mamíferos se ven afectados por la deforestación, agricultura, ganadería, ruido ambiental y cambio climático (Tirira, 2021).

Diversas investigaciones concluyen que ciudades pertenecientes a los países de los Andes tropicales y sus sistemas montañosos corren mayor riesgo al calentamiento global (Bonilla-Bedoya et al, 2022). Dadas las variaciones en las condiciones climáticas actuales es posible que dentro de 50 años exista una afectación a las cadenas montañosas específicamente glaciares (Vuille et al., 2003). Se estima que en 2050 aproximadamente el 15% y 37% de las especies presentarán un riesgo de extinción desencadenando más impactos, problemáticas naturales y sociales (Thomas et al., 2004).

Los Andes Tropicales presentan diversos ecosistemas como: bosques inundables, bosques montanos, páramos, valles interandinos, dando lugar a una basta diversidad de flora y fauna (Tognelli et al., 2016). Esto hace que sea una zona con diversidad y endemismo biológico gracias a factores topográficos, climáticos y geográficos, sin embargo estas mismas características hacen que sea una de las áreas menos conocidas (Brito y Arguero, 2012; Moscoso, 2019; UICN, 2019). Cuenta con aproximadamente el 16% de especies de aves a nivel global; 8% de anfibios; 5% reptiles y 8% de mamíferos (Mestanza et al, 2020). Con base en los datos mencionados, la conservación de los Andes Tropicales es fundamental ya que es

considerada el hotspot de biodiversidad más importante gracias a los servicios ecosistémicos que proporciona (Báez et al., 2016).

Entre el grupo de mamíferos más diverso del Ecuador se encuentra el orden Rodentia con un aproximado de 2.500 especies perteneciente a la familia Cricetidea que es la segunda más diversa y distribuida en distintos ecosistemas (Albuja et al 2012; Curay, 2019). Los roedores han colonizado una gran variedad de ecosistemas debido a su capacidad de adaptación a cambios y alteraciones producidas por distintas actividades (Pérez-Torres, 1994). De igual forma esta especie es importante para la dispersión de semillas, equilibrar la demografía de las plantas, controlar las poblaciones de grupos de insectos, oxigenar y enriquecer de nutrientes el suelo (Villareal, 2019).

Uno de los géneros pertenecientes a este grupo es *Akodon* considerado el más diverso dentro de los Adokodontini (Alvarado, 2007). El género presenta una distribución geográfica restringida en Sudamérica y el 82% es proveniente de los Andes (Myers y Patton, 1989). En Ecuador se reconocen cuatro especies de *Akodon*: *A. aerosus*, *A. latebricola*, *A. mollis*, *A. orophilus* (Alvarado, 2007).

Akodon mollis o ratón campestre delicado se distribuye en Ecuador y Perú en pisos templados y altoandinos (Brito y García, 2018). Esta especie comprende un rango altitudinal de 0 a 4900 msnm y se caracteriza por ser nocturna, solitaria, pequeña, rostro robusto, cola corta peluda o moderadamente peluda. Se encuentran presentes

en toda la región Interandina en distintos hábitats como: páramos, bosque siempre verde, bosques semidecíduos, y en ambos lados de la Cordillera de los Andes. (Vallejo y Boada, 2015).

Akodon mollis es considerada una de las especies más abundantes de la familia Cricetidae, aunque muy poco estudiada (Molina, 2019). Su ciclo reproductivo es de al menos dos ciclos anuales con dos o cuatro embriones por gestación (Vallejo y Boada, 2015). Su dieta se basa en plantas e insectos, característica que ha influido en la capacidad que presentan estos individuos para colonizar distintos ecosistemas (Wong, 2012).

El objetivo del proyecto de investigación es realizar un modelamiento de distribución de *Akodon mollis* y evaluar posibles impactos en su distribución ante escenarios climáticos futuros. A pesar de ser una especie abundante y con amplia distribución no existen muchos estudios, por lo que resulta de gran importancia entender su potencial vulnerabilidad a cambios ambientales. Mediante el software Maxent, que utiliza el principio de máxima entropía se identificarán las zonas aptas para la distribución de la especie y así evaluar posibles riesgos o amenazas de esta especie únicamente en los Andes ecuatorianos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Modelar mediante máxima entropía la distribución espacial de *Akodon mollis* en los Andes ecuatorianos mediante la evaluación de clima futuro.

1.1.2. Objetivos específicos

- Generar un compendio depurado de datos para modelar la distribución espacial de *Akodon mollis* en los Andes ecuatorianos bajo escenarios de clima futuro.
- Entrenar y modelar la distribución de *Akodon mollis* con el algoritmo de máxima entropía para evaluar los impactos en la distribución de la especie de estudio considerando escenarios climáticos futuros.

CAPÍTULO II

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Los Andes tienen su origen mucho antes del Mesozoico, las estructuras Paleozoicas de la Cordillera muestran que la historia orogénica se remonta al Precámbrico en América del Sur (Wong, 2012). Su origen es resultado de procesos de subducción entre las placas tectónicas de Nazca y de Sudamérica (Gregory-Wodzicki, 2000). La cadena de los Andes se divide en tres zonas: Norte, Central y Sur, siendo la sección Central la más grande y montañosa de la Cordillera (Picard et al., 2008).

Los Andes de Sudamérica constituyen una región megadiversa con altos grados de endemismo y distribución de especies (Hazzi et al., 2018). Cuentan con una extensión de más de 7.500 km con elevaciones mayores a los 4.000 msnm (Insel et al., 2010). La Cordillera comprende Argentina, Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador, Perú, y parte de Venezuela (Figura 1) considerada como la más larga de la Tierra (FAO, 2014). Los Andes cuentan con aproximadamente 20.000 plantas endémicas y 1.567 vertebrados (Myers et al., 2000). La Cordillera es uno de los sistemas montañosos más importantes no solo por sus ecosistemas sino también por sus dimensiones sociales y culturales (FAO, 2014).



Figura 1. Representación de la extensión y de los países que comprenden la Cordillera de los Andes. Fuente: [Foros ecuador.ec](http://Foros.ecuador.ec)

2.2. Obtención de datos de distribución y clima futuro

La información respecto a la distribución de *Akodon mollis* en Ecuador, se realizó mediante búsqueda bibliográfica con el nombre de la especie en dos repositorios de acceso libre con información de flora y fauna del Ecuador y a nivel mundial. La búsqueda se llevó a cabo en el portal **Bioweb** de la Universidad Católica del Ecuador, este repositorio es de acceso libre con información de diversidad y colecciones biológicas del país, los datos pasan por procesos de validación y revisión. Para acceder a dicha información, se ingresó en la sección Data Web, se buscó el nombre del roedor y se procedió a descargar los datos con un total de 714

observaciones de la especie. **GBIF** es una plataforma internacional que proporciona datos de la diversidad del planeta, es una plataforma en la que los usuarios pueden acceder a la información, sin embargo, existen algunos fallos en la interfaz de búsqueda y calidad de datos es por esta razón que era necesario depurar la base de datos. Considerando lo antes mencionado se seleccionó los siguientes parámetros: Ocurrencia: presente; Continente: Sudamérica; País o área: Ecuador y se obtuvo 321 observaciones.

La información respecto al clima futuro se obtuvo de la página **WorldClim** que brinda datos meteorológicos y climáticos globales utilizados para el mapeo y modelamiento espacial. Los datos que brinda la página son proyecciones climática futuras reducidas del Proyecto de Inter-comparación de modelos de clima acoplados fase 6 (CMIP6) (Ruiz-García et al., 2021). Para el estudio se trabajó únicamente la información de condiciones futuras, se seleccionó la resolución 30 segundos con valores mensuales de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación y la variable climática que por defecto proporcionaba el modelo climático global (Tabla 1).

Tabla 1. Variables climáticas disponibles en resolución espacial de 30 segundos.

Variables climáticas	Siglas
Temperatura mínima media mensual	tn
Temperatura máxima media mensual	tx
Precipitación total mensual	mm
Variable bioclimática	bc

El modelo de clima global (MCG) seleccionado para el año 2021-2040 fue ACCESS-ESM1-5 que se encuentran dentro del CMPI6 proporcionado por el Sistema de la Tierra y el Clima de la comunidad australiana (Ziehn et al., 2019). Sus componentes son: modelos atmosféricos, modelo de superficie terrestre con biogeoquímica, modelo oceánico, modelo de carbono oceánico y modelo de hielo marino. Con base en la bibliografía estudiada se conoce que este modelo tiene un desempeño óptimo a la hora de evaluar la temperatura en el territorio ecuatoriano (Morán y Novillo, 2022). Los MCG cuentan con Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (Shared Socioeconomic Pathways, SSP por sus siglas en inglés) consideran la evolución de la economía, cambios demográficos, desigualdad futura. Los SSP no incluyen variables ambientales ni políticas climáticas y sus escenarios combinan niveles de mitigación y adaptación (Tabla 2) (Escoto-Castillo., et al 2017).

Tabla 2. Descripción de los escenarios de las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP).

Shared Socioeconomic Pathways (SSP)	Descripción
SSP 126	Camino hacia un mundo sostenible y verde. Escenario optimista desarrollado con el fin de simular un desarrollo compatible con la meta de 2°C. Temperatura estimada: 1.5°C.
SSP 245	Cooperación entre estados donde el crecimiento de la población mundial es moderado. Representa la trayectoria media de futuras emisiones de gases de efecto invernadero con escenarios que asumen medidas de protección climática. Temperatura estimada: 3°C.
SSP 370.	Las políticas se centran en cuestiones de seguridad. Existen regiones que sufren daños ambientales drásticos. Temperatura estimada: 4°C.
SSP 585	Introducción de avances tecnológicos e innovación basándose en una explotación intensificada de recursos de combustibles fósiles. Temperatura estimada: 5°C.

Elaboración propia; Tomado de: Clima Modelling (Hausfather, 2019).

2.3. Compilación de datos en Excel

Posterior a la descarga de información sobre la especie en estudio, se creó una base de datos, anexando las dos listas de observaciones con las coordenadas geográficas, ubicación, año de colecta y altitud para iniciar la depuración de la base de datos. Con la ayuda de las herramientas digitales (quitar duplicados) se procedió a eliminar la información con la misma longitud, latitud o características idénticas ya que al graficar los mapas dichos puntos no se verían reflejados, lo que permitió obtener un total de 100 observaciones que conforman la base de datos que evidenciaron las zonas en donde se encuentra distribuida la especie. Se guardó el archivo de texto en un formato en el que los caracteres o valores están separados por comas (CSV) para usar como input para el programa Maxent.

2.4. Recorte de capas de clima futuro

Con el programa ArcMap 10.8 se procedió a transformar los datos en formato TIFF en los que se encontraban las capas con la información de clima futuro. Se utilizó la herramienta ASCII to Raster y se cargó los archivos solicitados por tal herramienta para proceder con la conversión de las capas, con la finalidad de correr los datos de variables climáticas en formato ASC en conjunto con la base de datos que solicita Maxent Versión 3.4.4, para ejecutar y correr la información.

Se debe tomar en cuenta antes de correr los datos en Maxent, que existe un error de no valores asignados es decir algunas capas de clima futuro no contenían la información completa en ciertas filas y columnas, para ello es importante asignar

un valor numérico o realizar una corrección al momento de descargar la información climática. Adicional para solucionar el error se utilizó el bloc de notas con la opción de editar, se le asignó el valor numérico (9999) porque era el dato que si poseía información y el que se mostraba en las capas que poseían la totalidad de los datos requeridos en las filas y columnas para la ejecución del software.

2.5. Modelos de distribución

Los modelos de distribución de especies (MDE) son representaciones cartográficas de un espacio y también muestran la presencia de especies mediante el uso de variables que pueden ser climáticas o topográficas (Mateo et al., 2011). En la década de los 80 se da paso a las primeras predicciones de modelos a un nivel de organización (especies, comunidades) (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Los MDE o modelos de nicho ecológico han permitido minimizar las limitaciones de sesgo y escasez respecto al avistamiento de especies (Gil, 2017).

Los principales grupos de MDE son: modelos estadísticos de regresión (GLM); modelos aditivos generalizados (GAM); métodos de clasificación (Random forest); métodos de sobre (Bioclim, ENFA); basados en algoritmos específicos (GARP, MAXENT) (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Esta área se ha convertido en una fuente de investigación enfocada a la distribución geográfica y conservación de especies y ecosistema (Richardson et al., 2010).

2.6. Maxent

El software Maxent utiliza el principio de máxima entropía para estimar la idoneidad de hábitat y variables ambientales para encontrar el potencial de distribución óptimo (Phillips et al., 2006). Este principio busca la correlación para cada variable que coincide con los datos de observación (Warren et al., 2011). Esta herramienta ha sido utilizada para mapear distribuciones, predecir nuevos tiempos o lugares, cartografiar la biodiversidad a nivel global y estimar la correlación entre especies (Elith et al., 2010).

Para la ejecución de los datos se utilizó la versión 3.4.4 y se conservaron los parámetros establecidos por defecto en el software. Se seleccionó la opción de jackknife que se basa en la estimación del sesgo y la varianza de estimadores y se realizaron ajustes (Tabla 3), y se determinó el 75% para el ajuste del modelo y el 25% para evaluar las predicciones según lo recomendado por distintos autores (Quesada-Quirós et al., 2016). Además, se escogió la opción cloglog que estima la probabilidad de ocurrencia debido a su escala sencilla que va de 0 a 1 (Merow et al., 2013; Phillips et al., 2017).

Tabla 3. Ajuste de Maxent para la ejecución del software

Ajuste del Software	
Formato de salida	Cloglog
Tipo de archivo de salida	ASC
Crear curvas de respuesta	Activado
Hacer predicciones	Activado
Prueba jackknife	Activado

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS PRELIMINARES

Los registros de distribución de *Akodon mollis* en Ecuador una vez elaborada la base de datos fueron de 100 observaciones una vez realizada la depuración y eliminación de duplicados representadas en el mapa (Figura 2). En donde se puede apreciar que la especie se encuentra repartida de norte a sur en la región Interandina del país.

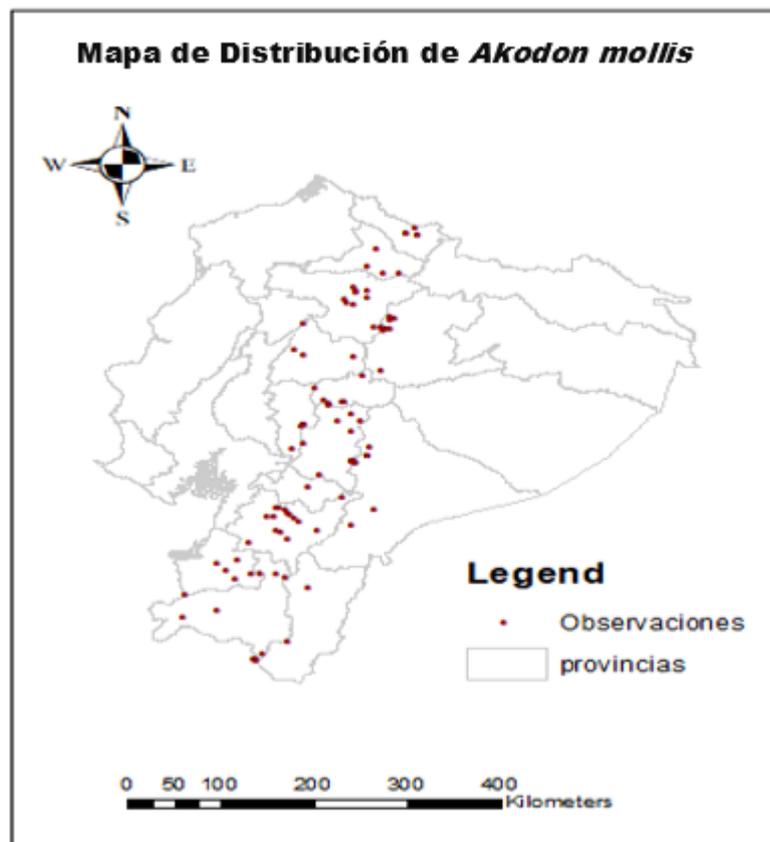


Figura 2. Mapa de distribución de *Akodon mollis* en la Sierra Ecuatoriana.

En el caso del modelo de distribución, Maxent se utilizó las observaciones de la especie y el programa arrojó el siguiente mapa (Figura 3), que predice la presencia de la especie, donde los colores más cálidos representan las zonas con las mejores condiciones para la especie. En la escala de colores el rojo muestra una alta probabilidad de condiciones adecuadas para la especie, verde muestra condiciones típicas de lugares en donde la especie se encuentra y tonalidades cercanas al azul muestran bajas probabilidades de condiciones aptas para la especie. Los puntos de color blanco muestran datos de presencia, mientras los puntos violetas muestran las ubicaciones de prueba.

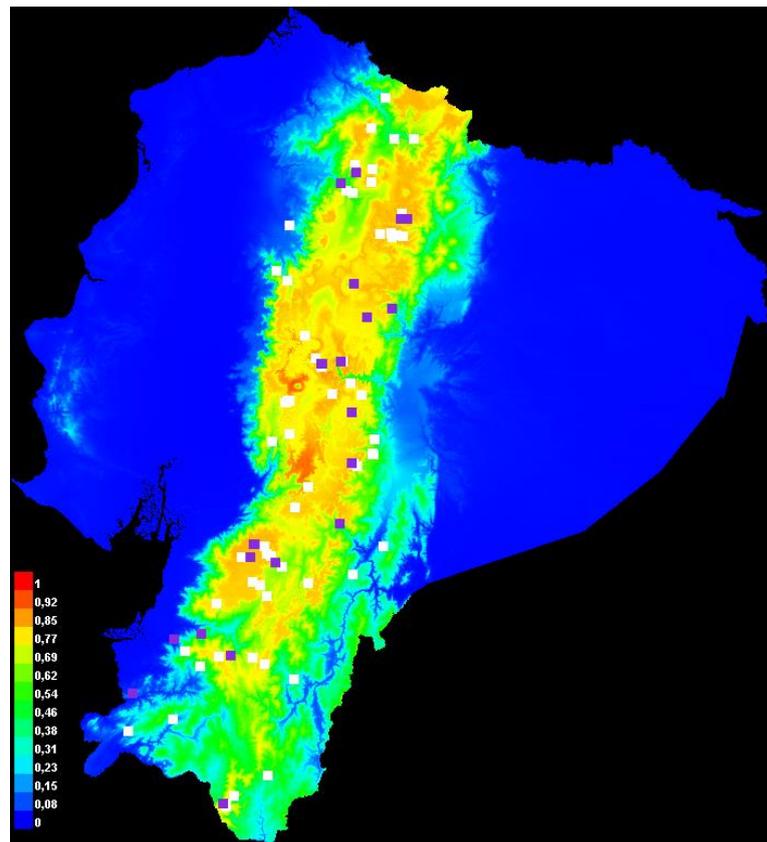


Figura 3. Mapa de distribución de *Akodon mollis* realizado con Maxent.

Para la validación del modelo mencionado con anterioridad se utilizó el estadístico del área bajo la curva (AUC). La misma que permite estimar la presencia o ausencia de una especie con una escala de 0 a 1; donde los puntos cercanos a 1 dan como resultado la estimación éxito absoluto y si es menor a 0,5 una apreciación desfavorable (Moscoso, 2019).

En el caso de estudio el AUC que determinó el programa fue de 0,87 (predicciones de entrenamiento) y 0, 86 (predicciones de prueba) (Figura 4), mediante esta información la curva de operación del receptor (ROC) permite identificar las áreas que son o no idóneas para la especie.

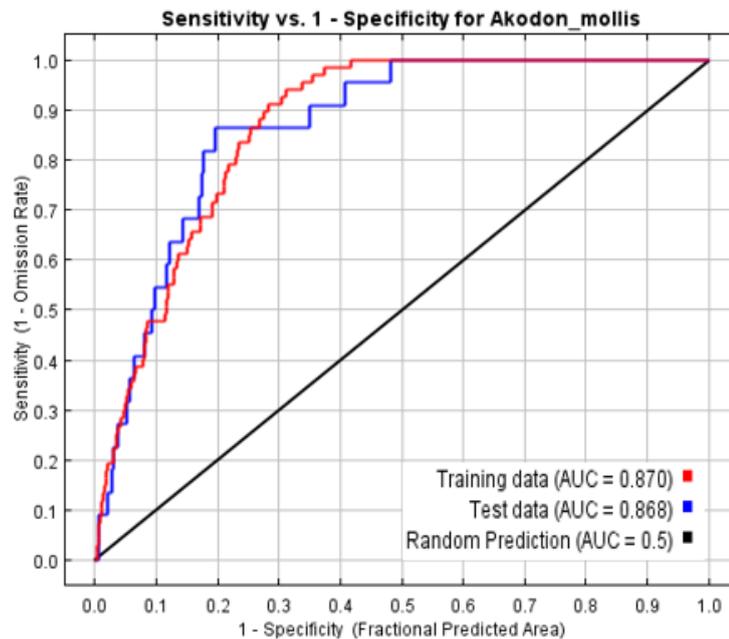


Figura 4. Distribución potencial de *Akodon mollis*.

La prueba de jackknife permite estimar las variables más importantes del modelo. Los resultados de la prueba determinan que para el estudio la variable de mayor relevancia es temperatura mínima (tmin) y la de menor relevancia según el modelo

es la variable correspondiente a precipitación (prec) usando los datos de entrenamiento (Figura 5) y de la curva AUC (Figura 6) donde las variables de mayor importancia son la variable bioclimática y temperatura mínima.

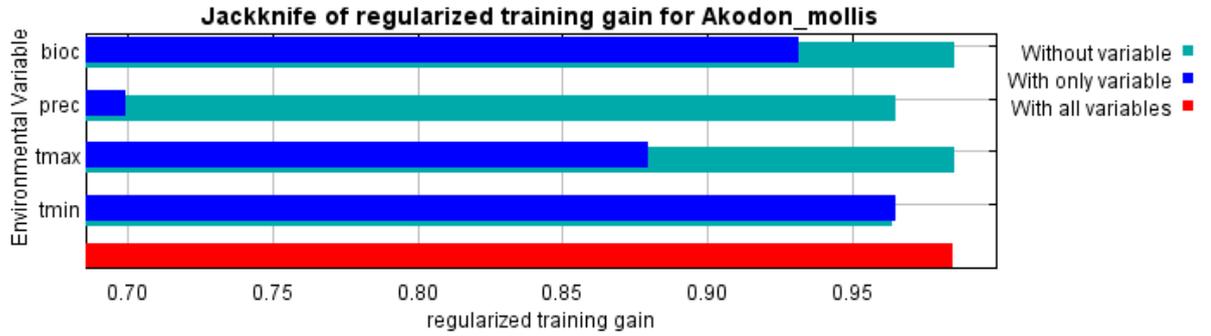


Figura 5. Prueba de jackknife utilizando datos de entrenamiento de *Akodon mollis*.

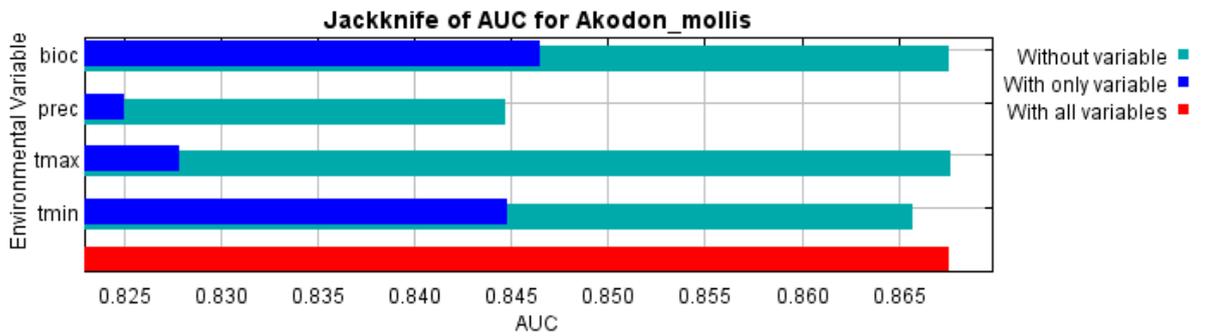


Figura 6. Prueba de jackknife utilizando datos del área bajo la curva de *Akodon mollis*.

4. DISCUSIÓN

Los métodos desarrollados en la propuesta permitieron la elaboración de un compendio de datos con información de la presencia de *Akodon mollis* en los Andes ecuatorianos y de mapas de distribución potencial de la especie. Los modelos de distribución de especies son utilizados para estudiar las condiciones que constituyen un riesgo para el desarrollo de la especie (Graham et al., 2004). El modelamiento potencial de una especie es una herramienta que permite crear áreas de conservación y dar paso a la creación de áreas protegidas para el cuidado de la biodiversidad (Moscoso, 2019).

Los modelos de distribución de especies pueden presentar limitaciones debido a que es complicado realizar predicciones exactas con condiciones climáticas que son cambiantes, lo que da como resultado distintos retos para el estudio de la biodiversidad (Naoki et al., 2006). En el caso de Maxent se ha podido determinar que es un software robusto para realizar modelos mediante el uso de presencia de las especies permitiendo cambiar las herramientas tradicionales (Elith et al., 2006).

La evidencia experimental y de modelos de nicho ecológico sugieren que se podrían producir cambios distributivos de especies y la estructura de los ecosistemas por alteraciones de temperatura y precipitación (Tejedor-Gavito et al 2015). Históricamente se conoce que existen cambios en la distribución de flora y fauna generados por variaciones de temperatura a nivel regional y local (Cameron y Scheel, 2001). Dicha información sustentaría los resultados respecto a las variables con mayor relevancia que se obtuvieron en la prueba jackknife (Figura 5).

Diversos autores concluyen que los cambios en la distribución de mamíferos no se produce únicamente por condiciones climáticas, sino también por las presiones antrópicas debido a la fragmentación del hábitat por actividades agrícolas (Zuliani y Monjeau, 2021). Los cambios en la distribución de pequeños mamíferos dependerá de su capacidad de tolerancia, para las especies de mamíferos no voladores se predijo disminución en los rangos que va del 30% al 80% dependiendo de categoría de amenaza de la especie (Levinsky et al., 2007). Iturralde (2010) estima que para el 2080 existirá una reducción de aproximadamente el 80% en el rango de distribución de varios grupos de mamíferos como respuesta al cambio climático.

Se conoce que *Akodon mollis* presenta una amplia distribución en el centro y norte de Ecuador y Perú, esto se debe a los distintos tipos de ecosistemas con los que cuentan estas regiones, proporcionando el hábitat y condiciones apropiadas para el desarrollo de la especie. Con base en nuestros resultados preliminares se pudo identificar dentro de Ecuador aquellas áreas idóneas y con mayor presencia de la especie (Figura 2 y 3) además, de las variables climáticas más significativas (Figuras 5 y 6).

Se estima que la tolerancia de *Akodon mollis* a distintas presiones se da gracias a sus condiciones fenotípicas como tamaño y forma de la especie (Alvarado, et al 2013), siendo una de las principales razones para que este género presente un amplio rango de distribución. Sin embargo, a pesar de ser un género que se adapta a las perturbaciones, estudios muestran que la densidad y abundancia presentan riesgos debido a la calidad del hábitat y la escasez de recursos (Sánchez-Martínez y Owen., 2021).

En los próximos años se predicen cambios de rango en respuesta al cambio climático. Las diferentes especies de mamíferos muestran distintas formas de afrontar el cambio climático basado en sus rangos históricos, amplitud de condiciones ambientales y climáticas que experimentan (Hetem et al., 2014). Los mamíferos con mayor índice de vulnerabilidad a cambios de clima futuro son los que se concentran principalmente en regiones montañosas, en Ecuador las especies que se encuentran mayormente amenazadas son aquellas que se encuentran al sur debido a las perturbaciones y uso del suelo destinado a ganadería y agricultura sumado a las alteraciones climáticas (Pacifci et al., 2017).

Estudios enfocados en los efectos e impactos del cambio climático en la biodiversidad mencionan casos de aves, musarañas, grupos de coleópteros (escarabajo pelotero) y algunas especies de flora que han tenido que adaptarse o cambiar su distribución debido a las presiones provocadas por variaciones climáticas (Graham y Grimm 1990).

En el caso de los Andes se estima que más del 90% de aves, mamíferos y anfibios presenten alteraciones causadas por condiciones climáticas (Lawler et al 2009). Se estima que la reducción de especies en los Andes será de un 20% a 50% debido a la distribución inducida por las variaciones en el clima (Larsen et al 2012). Además, existen problemáticas relacionadas al flujo y almacenamiento hídrico, si se produce un aumento de la temperatura, la escorrentía se vería seriamente afectada (Orosco et al., 2018).

Una vez analizada la bibliografía se puede determinar que existe suficiente información que respalda la hipótesis respecto a variaciones en la distribución de la biodiversidad por factores climáticos. Tomando en consideración lo antes mencionado se puede contribuir e impulsar los esfuerzos de conservación de la biodiversidad y áreas naturales.

CAPÍTULO FINAL

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Un factor que debe ser considerado es el cambio climático, así como su impacto en la biodiversidad. La afectación que resulta de la pérdida de los ecosistemas y los diversos organismos que habitan en ellos son un problema global que pone en riesgo el equilibrio natural del planeta.

Los datos de presencia de *Akodon mollis* y los modelos de distribución permitieron identificar las zonas más aptas para la distribución de la especie. Los resultados fueron favorables ya que se pudo determinar la probabilidad de ocurrencia con las variables climáticas mediante una escala de 0 a 1 con la que trabaja el programa. Los modelos de distribución se consideran herramientas importantes en el estudio de pequeños mamíferos ya que permiten conocer las condiciones aptas para su supervivencia y aportar en su conservación.

El estudio de la biodiversidad y distribución de especies es fundamental porque permite hacer una estimación de la flora y fauna con la que se cuenta en el territorio. Ecuador es un país megadiverso con distintas áreas naturales, pisos altitudinales y orografía, por lo tanto, es importante ampliar los estudios de especies nativas y endémicas además de llenar los vacíos de información con respecto a los distintos organismos que se distribuyen a lo largo del país y que no cuentan con la clasificación y registros necesarios.

Se debe tomar en cuenta que existen muy pocos estudios enfocados en esta especie, a pesar de que pertenece a uno de los géneros más diversos del país. Sin embargo, se pudo obtener información respecto a su distribución y aplicar el modelo de máxima entropía para conocer las zonas que cuentan con las condiciones óptimas que permiten el desarrollo de la especie.

Se sugiere continuar con la elaboración de estudios enfocados en modelos de distribución específicamente en pequeños mamíferos, establecer comparaciones con otros géneros, familias, incluir distintos MDE, analizar enfoques climáticos presentes y futuros a fin de obtener parámetros con mayor relevancia que brinde mayor información respecto al futuro de este grupo de roedores.

Se recomienda ampliar el área de estudio y coleccionar información de distribución y de presencia de *Akodon mollis* en distintas zonas y regiones como Perú. Esto permitiría enriquecer los conocimientos respecto a esta especie y posibles afectaciones que podría sufrir su rango en caso de existir variaciones climáticas. Además de contar con un mayor número de observaciones que permita realizar una estimación más precisa sobre las áreas idóneas para la especie.

6. LITERATURA CITADA

- Aguirre, N., Ojeda T., y Eguiguren, P. (2010). El cambio climático y la conservación de la biodiversidad en el Ecuador. *Artículos de Investigación de Acuicultura*, 1(1), 17. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Diego-Armijos-2/publication/271833091_Herpetofauna_de_un_Bosque_Humedo_Tropical_en_la_Quinta_El_Padmi_del_Centro_de_Estudios_y_Desarrollo_para_la_Amazonia_CEDAMAZ_provincia_de_Zamora_Chinchipec/links/54d327760cf28e0697279df5/Herpetofauna-de-un-Bosque-Humedo-Tropical-en-la-Quinta-El-Padmi-del-Centro-de-Estudios-y-Desarrollo-para-la-Amazonia-CEDAMAZ-provincia-de-Zamora-Chinchipec.pdf#page=17 .
- Albuja, L., Almendáriz, R., Barriga, F., Montalvo, L., Cáceres, F., y Román, J. (2012). *Fauna de vertebrados del Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Alvarado, D. (2007). Caracterización morfométrica y distribución del género *Akodon* (Muridae: Sigmodontinae) en Ecuador. *Mastozoología Neotropical*, 14(1), 118-120.
- Alvarado, D. F., Luna, L., & Knowles, L. (2013). Localized versus generalist phenotypes in a broadly distributed tropical mammal: how is intraspecific variation distributed across disparate environments? *BMC Evolutionary Biology*, 13(1), 160. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2148-13-160> .
- Báez, S., Jaramillo, L., Cuesta, F., & Donoso, D. A. (2016). Effects of climate change on Andean biodiversity: a synthesis of studies published until

2015. *Neotropical Biodiversity*, 2(1), 181-194. doi:

<https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1248710>

Banco Mundial. (2009). Desarrollo con menos carbono. Respuestas

Latinoamericanas al desafío del cambio climático. Disponible en:

www.bancomundial.org . Consultado el 19/11/2022.

Bárcena, A., Samaniego, J., Peres, W., y Alatorre, J.E. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe. ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción? CEPAL. Obtenido de:

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45677/S1900711_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y .

Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley P., Thuiller, W., y Courchamp F. (2012).

Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4), 365-377. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x> .

Bonilla-Bedoya, S., Herrera, M. Á., Vaca, A., Salazar, L., Zalakeviciute, R.,

Méjia, D., López-Ulloha, M. (2022). Urban soil management in the strategies for adaptation to climate change of cities in the tropical Andes. *Geoderma*, 417, 115840. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115840> .

Brito, J., y Arguero, A. (2012). Nuevos datos sobre la distribución de *Scolomys*

ucayalensis (Rodentia: Cricetidae) y *Phylloderma stenops* (Chiroptera Phyllostomidae) en Ecuador. *Mastozoología Neotropical*, 19(2), 293-298.

Obtenido de:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5434/1/Brito%20y%20Arguero%202012.%20Scolomys%20y%20Phylloderma%20en%20Ecuador.pdf> .

- Brito, J., y García, R. (2018). Compendio de especies de Mamíferos de la Provincia del Oro. Una guía de identificación de especies de mamíferos del Páramo al Mar. Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro. Obtenido de: https://www.researchgate.net/profile/Rubi-Garcia-9/publication/331100298_COMPENDIO_DE_ESPECIES_DE_MAMIFEROS_DE_LA_PROVINCIA_DE_EL_ORO/links/5c65c37545851582c3e9669b/COMPENDIO-DE-ESPECIES-DE-MAMIFEROS-DE-LA-PROVINCIA-DE-EL-ORO.pdf .
- CAF. (2014). Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe. Corporación Andina de Fomento. Obtenido de: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/517> .
- Curay, J. (2019). Caracterización morfométrica y modelamiento distribucional de *Neomicroxus latebricola* (Rodentia: Cricetidae) en Ecuador. [Tesis de grado]. Universidad Central, Quito, Ecuador.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., y Yates, C. J. (2010). A statistical explanation of MaxEnt for ecologist. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43-57. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x> .
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., G. Lohmann, L., A. Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. M. Overton, J., Townsend Peterson, A., J. Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., E. Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., S. Wisz, M. and E. Zimmermann, N. (2006), Novel methods

improve prediction of species' distributions from occurrence data.
Ecography, 29, 129-151. doi: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>

- Fajardo, C. (2019). Monitoreo participativo de pequeños mamíferos terrestres como bioindicadores de conservación de la Parroquia San Lucas del cantón Loja. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- FAO. (2014). Cordillera de los Andes, una oportunidad para la integración y desarrollo de América del Sur. FAO, Santiago de Chile. Obtenido de: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/ANDDES%20TCP%20publication%20corregido%20arg2.pdf .
- Gil, G.E. (2017). Modelos de distribución y su aplicación en la conservación de mamíferos terrestres sudamericanos. [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Graham, R. W., & Grimm, E. C. (1990). Effects of global climate change on the patterns of terrestrial biological communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 5(9), 289-292. doi: [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(90\)90083-P](https://doi.org/10.1016/0169-5347(90)90083-P)
- Gregory, K. (2000). Uplift history of the Central and Northern Andes: a review. *Geological society of America bulletin*, 112(7), 1091-1105. doi: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2000\)112%3C1091:UHOTCA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112%3C1091:UHOTCA%3E2.0.CO;2) .
- Hasan, M., y Wyseure, G. (2018). Impacto of climate change on hydropower generation in Rio Jubones Basin, Ecuador. *Water Science and*

Engineering, 11(2), 157-166. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.wse.2018.07.002> .

Hazzi, N., Moreno, J., Ortiz, C., y Palacio, R. (2018). Biogeographic regions and events of isolation and diversification of the endemic biota of the tropical Andes. *Biological Sciences*, 115(31), 7985-7990. doi:

<https://doi.org/10.1073/pnas.1803908115> .

Hetem, R. S., Fullero, A., Maloney, S. K., & Mitchell, D. (2014). Responses of large mammals to climate change. *Temperature*, 1(2), 115-127. doi:

<https://doi.org/10.4161/temp.29651>

Insel, N., Poulsen, C., y Ehlers, T. (2009). Influence of the Andes Mountains on South American moisture transport, convection, and precipitation. *Climate Dynamics*, 35, 1477-1492. doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0637-1>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2016). Vulnerabilidad al Cambio Climático. Gobierno de México. Obtenido de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-80125#:~:text=Hace%20referencia%20al%20grado%20en,variabilidad%20o%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico.>

Larsen, T. H., Brehm, G., Navarrete, H., Franco, P., Gómez, H., Mena, J. L., ... y Canhos, V. (2012). Desplazamientos de los rangos de distribución y extinciones impulsadas por el cambio climático en los Andes tropicales:

síntesis y orientaciones. *Cambio climático y biodiversidad en los Andes*, 57-82.

Iturralde, P. M. (2010). Evaluación del posible impacto del cambio climático en el área de distribución de especies de mamíferos del Ecuador. Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Lawler, J. J., Shafer, S. L., White, D., Kareiva, P., Maurer, E. P., Blaustein, A. R., & Bartlein, P. J. (2009). Projected climate induced faunal change in the Western Hemisphere. *Ecology*, 90(3), 588-597. doi: <https://doi.org/10.1890/08-0823.1>

Levinsky, I., Skov, F., Svenning J. C., & Rahbek, C. (2007). Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. *Biodiversity and Conservation*, 16, 3803-3816. doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9181-7> .

Lozano, A., Álvarez, C., y Moggiano, N. (2021). El cambio climático en los Andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101-108. Obtenido de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172021000100101&script=sci_arttext#:~:text=http%3A//dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012

Magrin, G. (2015). *Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de: <http://hdl.handle.net/11362/39842> .

- Mateo, R., Felicísimo, Á., y Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240.
URL: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnat/v84n2/art08.pdf> .
- Mestanza, C., Henkanaththegedara S., Vásconez P., Vargas, Y., Sánchez, M., Constante, D., Jiménez, M., Charco, M., y Mestanza, P. (2020). In-Situ and Ex-situ Biodiversity Conservation in Ecuador: A Review of Policies, Actions and Challenges. *Diversity*, 12(8), 315. doi: <https://doi.org/10.3390/d12080315> .
- Molina, M. (2019). Caracterización morfológica y molecular de una población de *Akodon* (Rodentia: Cricetidae) del norte de Perú. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Morán, J., y Novillo, M. (2022). Sección de los modelos de Proyección para el Cambio Climático del CMIP6 con mejor desempeño para el territorio ecuatoriano. [Previo a la obtención de título]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., Fonseca, G., y Kent J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. Obtenido de: <https://www.nature.com/articles/35002501> .
- Myers, P., y Patton, J. L. (1989). A new species of *Akodon* from de cloud forests of eastern Cochabamba Department, Bolivia (Rodentia: Sigmodontinae). Museum of Zoology and Department of Biology. The University of Michigan. Obtenido de:

<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/57156/OP720.pdf?sequence=1>

Naoki, K., Gómez, M. I., López, R. P., Meneses, R. I., y Vargas, J. (2006).

Comparación de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41(1), 65-78. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1605-25282006000700005&script=sci_arttext .

Ojeda, R., y Novillo, A. (2013). Biodiversidad andina y cambio climático.

Divulgación científica. CONICET. Obtenido de: <https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Biodiversidad/53.pdf>

Orosco, I., Ramírez, A. I., y Francés, F. (2018). Modelación de los impactos del cambio climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenca de alta montaña. *Ingeniería del agua*, 22(3), 125-139. doi:

<https://doi.org/10.4995/ia.2018.8931>

Pacifici, M., Visconti, P., & Rondinini, C. (2017). A framework for the

identification of hotspots of climate change risk for mammals. *Global Change Biology*, 24(4), 1626-1636. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.13942>

Pérez, J. (1994). Aspectos ecológicos de una población de roedores en la

cordillera oriental colombiana. *Universitas Scientiarum*, 2(1), 87-101.

Obtenido de:

<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/5079> .

Phillips, S. J., Anderson, P., y Schapire, E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026> .

Phillips, S. J., Dudík, M., Schapire, R. E. [Internet]. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.4). Available from url: https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ . Accessed on 2022-11-13.

Picard, D., Sempere, T., y Plantard, O. (2008). Direction and timing of uplift propagation in the Peruvian Andes deduced from molecular phylogenetics of highland biotaza. *Earth and Planetary Science Letters*, 271(1-4), 326-336.

Pliscoff, P., y Fuentes, 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*, 48, 61-79. Obtenido de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022011000100005#:~:text=http%3A//dx.doi.org/10.4067/S0718%2D34022011000100005%C2%A0 .

Quesada-Quirós, M., Acosta, L. G., Arias, D., y Rodríguez, A. (2016). Modelación de nichos ecológicos basados en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 1-12. doi: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991> .

- Richardson, D., Iponga, D., Roura, N., Krug, R., Milton, S., Hughes, G., y Thuiller, W. (2010). Accommodating scenarios of climate change and management in modelling the distribution of the invasive tree *Schinus molle* in South Africa. *Ecography*, 33(6), 1049-1061. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06350.x>
- Ruiz-García, P., Monterroso, A. I., Sánchez, G., Vargas, R. C., Báez, J., y Conde, A. C. (2020). Breve Guía para la sección, Descarga y Aplicación de escenarios de Cambio Climático para México. De acuerdo con los últimos escenarios del IPPCC. 98 p.
- Sánchez-Martínez, J. P., y Owen, R. D. (2021). Características de la población de *Akodon montensis* (Sigmodontinae) en respuesta a la degradación del hábitat y la disponibilidad de alimentos. *Therya*, 12(1), 5-13. doi: <https://doi.org/10.12933/therya-21-963>
- Tejedor-Gavito, N., Newton, A. C., Golicher, D., & Oldfield, S. (2015). The relative impact of climate change on the extinction risk of tree species in the montane tropical Andes. *Plos One*, 10(7), 131388. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131388>
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus BF. N., Ferreira, M., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Townsend, A., Phillips, O. L., & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427, 145-148. doi: <https://doi.org/10.1038/nature02121>

- Tirira, D.G. (ed.). (2021). Lista roja de los mamíferos del Ecuador (3ª edición). Asociación Ecuatoriana de Mastozoología, Fundación Mamíferos y Conservación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador. Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador 13, Quito.
- Tognelli, M. F., Lasso, C. A., Bota-Sierra, C. A., Jiménez-Segura, L. F., y Cox, N. A. (Eds.). (2016). *Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los Andes tropicales*. UICN, Gland, Suiza, Cambridge, UK y Arlington, USA. doi:
<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.02.es>
- UICN. (2012). El cambio climático en los Andes y la Amazonia: preguntas frecuentes. Lima, Perú. 19 pp. Obtenido de:
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2012-033.pdf> .
- Vallejo, A., y Boada, C. (2015). *Akodon mollis*. En: Brito, J., Camacho, M., Vallejo, A., (eds). MammaliaWebEcuador. Version 2017. Museo de zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de:
<https://multimedia20stg.blob.core.windows.net/documents/MamiferosMontanoOccidentalFinal.pdf> .
- Velásquez, E. (2014). La biodiversidad en el Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. Obtenido de:
<http://190.57.147.202:90/jspui/bitstream/123456789/303/1/La%20Biodiversidad.pdf> .

- Villareal, A. (2019). Caracterización del uso de hábitat de tres especies de roedores en páramos de la Reserva Ecológica Antisana. [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Vuille, M., Bradley R. S., Werner, M., & Keiming, F. (2003). 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. *Climatic change*, 59, 75-99. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-015-1252-7_5
- Warren, D., y Seifert, S. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 21(2), 335-432 doi: <https://doi.org/10.1890/10-1171.1> .
- Wong, L. (2012). Differentiation of *Akodon mollis* species group (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae) in the Andes of Peru. University of Michigan Library. Obtenido de: <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/94030> .
- World Wildlife Fund. (2018). 50% de las especies en peligro debido al cambio climático. Obtenido de: <https://www.worldwildlife.org/blogs/descubre-wwf/posts/50-de-las-especies-en-peligro-debido-al-cambio-climatico> .
- Ziehn, T., Chambelán, M., Lenton, A., Ley, R., Bodman, R., Dix, M., Wang, Y., Dobrohotoff, P., Srbinovsky, J., Stevens, L., Vohralik, P., Mackallah, C., Sullivan, A., O'Farrell, S., y Druken, K. (2019). Salida del modelo CSIRO ACCESS-ESM1.5 preparada para CMIP6 CMIP. Versión

2022/10/20. Federación de Redes del Sistema Terrestre. doi:
<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.2288> .

Zuliani, M. E., y Monjeau, J. A. (2021). Modelos de distribución potencial de mamíferos nativos en la Patagonia. doi:
<http://dx.doi.org/10.25260/EA.22.32.1.0.1706> .