UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA BIOLOGÍA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

MODELAMIENTO AMBIENTAL DE LA DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE *ATELOPUS BOMOLOCHOS, PETERS, 1973*, BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ECUADOR.

AUTOR(ES):

Nancy Fernanda Fajardo Sarmiento

Doris Marisol Sarmiento Castro

DOCENTES - TUTORES:

Msc. Edisson Roberto Suntasig Negrete

Msc. Juan Carlos Caicedo Ballesteros

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA BIOLOGÍA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

MODELAMIENTO AMBIENTAL DE LA DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE *ATELOPUS BOMOLOCHOS, PETERS, 1973*, BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ECUADOR.

AUTOR(ES):

Nancy Fernanda Fajardo Sarmiento

Doris Marisol Sarmiento Castro

DOCENTES - TUTORES:

Msc. Edisson Roberto Suntasig Negrete

Msc. Juan Carlos Caicedo Ballesteros

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN

CURRICULAR

(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5	El título es conciso de la idea principal
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	4	La información presentada da a conocer aspectos relevantes de la investigación incorporando objetivos metodología principales resultados
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	18	Describe la relevancia del tema problemática objetivo de la investigación.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	14	El marco teórico es coherente.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15	Expone con claridad el procesamiento de la información

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	23	Los resultados presentados están organizados en función del objetivo.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10	Las conclusiones son claras y precisas, acorde a los objetivos trazados.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5	Las referencias en el documento cumplen con las normas
VALORACIÓN TOTAL	94	**Noventa y cuatro**

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documentorevisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	94

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO NICOLAS AGUIAR NOVILLO

Santiago Nicolás Aguiar
Novillo.PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 09 días del mes de Marzo de 2023

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN

CURRICULAR

(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	4.5/5	cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	18/20	cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	13.5/15	cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	14/13.5	cumple
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	24/25	cumple
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	9/10	cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	4/5	cumple
VALORACIÓN TOTAL	92	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	92

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:

ANDREA DANIELAMEJIA LOPEZ

Mejía López Andrea Daniela

PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 9 días del mes de marzo de 2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICAFACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDACARRERA DE BIOLOGÍA

Puyo, **03-03-2023**

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a la estudiante: **NANCY FERNANDA FAJARDO SARMIENTO**, con C.I. **0106317571**, con el Tema: **Modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de** *Atelopus bomolochos, Peters, 1973,* **bajo escenarios de cambio climático en Ecuador.**

De la carrera de BIOLOGÍA. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, **EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE**, ha sido revisado mediante elsistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del **7%,** Informe generado con fecha **03-03-2023** por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentesAtentamente,

Firmado electrónicamente por:
EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE

EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE
Docente-tutor del Trabajo de Integración CurricularCI: **0502956261**

Document Information

Analyzed document	Modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de Atelopus bomolochos, bajo escenarios de cambio climático en Ecuador_R2.doc (D160023166)
Submitted	2023-03-03 18:25:00
Submitted by	EDISON SUNTASIG
Submitter email	esuntasig@uea.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	esuntasig.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**ANTONIO SOLTERO MORENO 2018.pdf** Document ANTONIO SOLTERO MORENO 2018.pdf (D75825518)	4
SA	**06-2022CA FINAL_INGLES.docx** Document 06-2022CA FINAL_INGLES.docx (D143783611)	1
SA	**JACHO TESIS (1).docx** Document JACHO TESIS (1).docx (D158394379)	1
SA	**M0.178_20212_PEC0 - Definici&#65533;n de los contenidos del trabajo_16733789.txt** Document M0.178_20212_PEC0 - Definici&#65533;n de los contenidos del trabajo_16733789.txt (D128682277)	1
SA	**ORTEGA_TFM_2.doc** Document ORTEGA_TFM_2.doc (D15199625)	1
SA	**Avance 1 - Formato Tesis - Anthony Mendoza_sin_D.docx** Document Avance 1 - Formato Tesis - Anthony Mendoza_sin_D.docx (D158416598)	2
W	URL: https://www.mdpi.com/732482 Fetched: 2023-02-25 01:51:59	2
SA	**AMBIEN_NAVARRO.pdf** Document AMBIEN_NAVARRO.pdf (D143417198)	1
W	URL: https://gmd.copernicus.org/articles/13/3571/2020/ Fetched: 2020-10-11 03:08:22	1
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Análisis geográfico de la distribución potencial de especies endémicas del Volc&#65533; &#65533;n Sumáco en Ecuador. La importancia de la conservación de zonas con alto endemism o sujetas a los efectos del cambio climático.docx** Document Análisis geográfico de la distribución potencial de especies endémicas del Volc&#65533; &#65533;n Sumáco en Ecuador. La importancia de la conservación de zonas con alto endemism o sujetas a los efectos del cambio climático.docx (D35507059) Submitted by: kdieguez@uea.edu.ec Receiver: kdieguez.uea@analysis.urkund.com	2
W	URL: https://ecos.fws.gov/ServCat/DownloadFile/213244 Fetched: 2022-05-29 01:05:51	1

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICAFACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDACARRERA DE BIOLOGÍA

Puyo, **03-03-2023**

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a la estudiante: **DORIS MARISOL SARMIENTO CASTRO,** con C.I. **0106315153**, con el Tema: **Modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de** *Atelopus bomolochos, Peters, 1973,* **bajo escenarios de cambio climático en Ecuador.**

De la carrera de BIOLOGÍA. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, **EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE**, ha sido revisado mediante elsistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del **7%,** Informe generado con fecha **03-03-2023** por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentesAtentamente,

Firmado electrónicamente por:
EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE

EDISON ROBERTO SUNTASIG NEGRETE

Docente-tutor del Trabajo de Integración CurricularCI: **0502956261**

Document Information

Analyzed document	Modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de Atelopus bomolochos, bajo escenarios de cambio climático en Ecuador_R2.doc (D160023166)
Submitted	2023-03-03 18:25:00
Submitted by	EDISON SUNTASIG
Submitter email	esuntasig@uea.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	esuntasig.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**ANTONIO SOLTERO MORENO 2018.pdf** Document ANTONIO SOLTERO MORENO 2018.pdf (D75825518)	4
SA	**06-2022CA FINAL_INGLES.docx** Document 06-2022CA FINAL_INGLES.docx (D143783611)	1
SA	**JACHO TESIS (1).docx** Document JACHO TESIS (1).docx (D158394379)	1
SA	**M0.178_20212_PEC0 - Definici&#65533;n de los contenidos del trabajo_16733789.txt** Document M0.178_20212_PEC0 - Definici&#65533;n de los contenidos del trabajo_16733789.txt (D128682277)	1
SA	**ORTEGA_TFM_2.doc** Document ORTEGA_TFM_2.doc (D15199625)	1
SA	**Avance 1 - Formato Tesis - Anthony Mendoza_sin_D.docx** Document Avance 1 - Formato Tesis - Anthony Mendoza_sin_D.docx (D158416598)	2
W	URL: https://www.mdpi.com/732482 Fetched: 2023-02-25 01:51:59	2
SA	**AMBIEN_NAVARRO.pdf** Document AMBIEN_NAVARRO.pdf (D143417198)	1
W	URL: https://gmd.copernicus.org/articles/13/3571/2020/ Fetched: 2020-10-11 03:08:22	1
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Análisis geográfico de la distribución potencial de especies endémicas del Volc&#65533; &#65533;n Sumáco en Ecuador. La importancia de la conservación de zonas con alto endemism o sujetas a los efectos del cambio climático.docx** Document Análisis geográfico de la distribución potencial de especies endémicas del Volc&#65533; &#65533;n Sumáco en Ecuador. La importancia de la conservación de zonas con alto endemism o sujetas a los efectos del cambio climático.docx (D35507059) Submitted by: kdieguez@uea.edu.ec Receiver: kdieguez.uea@analysis.urkund.com	2
W	URL: https://ecos.fws.gov/ServCat/DownloadFile/213244 Fetched: 2022-05-29 01:05:51	1

Modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de *Atelopus bomolochos, Peters, 1973,* bajo escenarios de cambio climático en Ecuador.

Nancy Fernanda Fajardo Sarmiento
nf.fajardos@uea.edu.ec

Doris Marisol Sarmiento Castro
dm.sarmientoc@uea.edu.ec

Edisson Roberto Suntasig Negrete, M.Sc1
esuntasig@uea.edu.ec

Juan Carlos Caicedo Ballesteros, M.Sc2
jucacb30@gmail.com

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología (1)
Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Ambiental (2)

Resumen

El cambio climático y las presiones antrópicas representan los principales riesgos para la biodiversidad y el desarrollo humano, Ecuador al ser uno de los países megadiversos no es ajeno a esa realidad, su posición geográfica, corrientes oceánicas y la cordillera de los Andes, crea una gran diversidad de nichos ecológicos que necesitan ser estudiados y evaluados para enfrentar esta problemática, bajo esta premisa en esta investigación se efectuó un Modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de *Atelopus bomolochos*, bajo escenarios del cambio climático en Ecuador, con el fin de contar con información científica que nos permita analizar el grado de adaptabilidad de la especie y determinar sus nuevas áreas de idoneidad para su desarrollo. *Atelopus bomolochos*, al ser una especie catalogada en peligro crítico y endémica de nuestro país, es de gran interés e importancia su estudio y conservación. En el presente trabajo se utilizaron 58 puntos de ocurrencia georreferenciados de la especie y 6 variables bioclimáticas actuales y proyectadas a escenarios futuros para el año 2070, según los nuevos criterios de las rutas socioeconómicas compartidas SSP 245 y SSP 585. En el modelamiento ambiental se utilizo el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt), obteniendo un buen desempeño del modelo con un valor de AUC de 0.94, determinando así, las áreas de idoneidad y el rango altitudinal actuales y futuras de la especie. En las áreas de idoneidad alta en el año 2070 se observa una reducción en los escenarios futuros, así para el SSP 245 hay una reducción del 57.48% y para el SSP 585 es de 45.47%, en cuanto a su distribución altitudinal, la especie está migrando a elevaciones mayores, producto de las condiciones climáticas proyectadas al futuro, así en el presente las encontramos a 3189 msnm, para el año 2070 en el escenario SSP 245 a 3414 msnm y para el escenario SSP 485 a 3468 msnm.

Palabras Clave*:* Cambio climático, modelamiento, MaxEnt, *Atelopus bomolochos*.

Abstract

Climate change and anthropic pressures represent the main risks for biodiversity and human development. Ecuador, being one of the megadiverse countries, is no stranger to this reality, its geographical position, ocean currents and the Andean mountain range, creates a great diversity of ecological niches that need to be studied and evaluated to address this problem, Under this premise, an environmental modeling of the current and potential distribution of *Atelopus bomolochos* under climate change scenarios in Ecuador was carried out in order to have scientific information that allows us to analyze the degree of adaptability of the species and determine its new areas of suitability for its development. *Atelopus bomolochos,* being a species catalogued as critically endangered and endemic to our country, its study and conservation is of great interest and importance. In the present work, 58 georeferenced points of occurrence of the species and 6 current bioclimatic variables and projected to future scenarios for the year 2070 were used, according to the new criteria of the shared socioeconomic routes SSP 245 and SSP 585. In the environmental modeling, the maximum entropy algorithm (MaxEnt) was used, obtaining a good performance of the model with an AUC value of 0.94, thus determining the areas of suitability and the current and future altitudinal range of the species. In the areas of high suitability in the year 2070 there is a reduction in the future scenarios, thus for SSP 245 there is a reduction of 57.48% and for SSP 585 it is 45.47%, as for its altitudinal distribution, the species is migrating to higher elevations, product of the climatic conditions projected to the future, thus in the present we find them at 3189 masl, for the year 2070 in the SSP 245 scenario at 3414 masl and for the SSP 485 scenario at 3468 masl.

Keywords: Climate change, modeling, MaxEnt, *Atelopus bomolochos*.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el medio ambiente experimenta uno de los cambios más extremos en cuanto al clima, el cambio climático acelerado de los últimos tiempos amenaza la biodiversidad y la extinción de miles de especies a nivel global. Este fenómeno está ocasionando la reducción y expansión de las distribuciones de diversas especies, alterando su composición y ecología de sus comunidades (Parmesan 2006; Moritz *et al.*, 2008).

El clima es uno de los factores más importantes y determinantes en la distribución espacial de las especies, con lo cual el cambio climático global obliga a las especies a producir cambios en sus áreas naturales de distribución (Olano y Peralta, 2001). La distribución de las especies a nivel espacial no es aleatoria, sino que obedece a la interacción y a la capacidad de tolerancia de las especies a factores ambientales como la altitud, topografía, temperatura, precipitación y humedad (Gutiérrez y Trejo, 2014; López, 2014).

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha pronosticado que, debido a los cambios abruptos en los regímenes de precipitación y temperatura global, sumado a esto el cambio de uso de suelo y sobreexplotación de recursos naturales, en el transcurso de este siglo, la resiliencia de muchos ecosistemas, biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados se verá fuertemente reducida (IPCC, 2007; Santín y Vidal, 2012).

El Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2022), hace hincapié en la necesidad urgente de adoptar medidas para enfrentar los riesgos del cambio climático, entre los que se evidencian el aumento de olas de calor, sequías e inundaciones, pérdida de vidas, de biodiversidad y de infraestructura, afectación a la salud humana, propagación de plagas y enfermedades en cultivos lo que amenaza directamente a la seguridad alimentaria y medios de vida de millones de personas, tales efectos están vinculados al consumo no sostenible de los recursos naturales, la creciente urbanización, las desigualdades sociales, las pérdidas y daños provocados por los fenómenos extremos y la pandemia del COVID-19 (IPCC, 2022).

En las últimas décadas se ha evidenciado en todo el mundo, cambios en la distribución natural de las especies, cambio en sus hábitats y sistema ecológico, resultado del cambio climático (Naoki *et al*., 2006).

Ecuador a causa de su posición geográfica, condiciones climáticas, de relieve, económicas y sociales es un país con alta vulnerabilidad al cambio climático, lo cual condiciona en gran medida el grado de adaptación a esta problemática (Barrera y Morejón, 2011). El incremento de la población humana, la deforestación, la explotación excesiva y el creciente impacto climático, representan una creciente amenaza para la biodiversidad (Peterson *et al*., 2011).

Los anfibios son las especies más sensibles en los cambios del clima, sus poblaciones han sufrido un declive alarmante a causa del cambio climático, en total la evaluación realizada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), estiman que el 41% de todos los anfibios están en un alto riesgo de extinción, proporción muy relevante en

comparación con otras especies como las aves (14%) y los mamíferos (26%), actualmente se han convertido en el emblema de la actual crisis de extinción masiva (Valencia, 2021).

Ecuador es uno de los 17 países más megadiversos en el planeta, y a nivel de anfibios, ocupa el cuarto lugar en el mundo (650 especies, 312 endémicas), después de Brasil, Colombia y Perú. Sin embargo, entre estos países megadiversos, Ecuador es el más diverso si se considera su número de especies por unidad de superficie (0.002 especies por kilómetro cuadrado). Es decir, Ecuador alberga en su territorio 3 veces más especies por kilómetro cuadrado que Colombia y 21 veces más que Brasil (Centro Jambatu, 2020).

Atelopus es uno de los géneros de anfibios más representativos en el Neotrópico, presentan 99 especies descritas y un aproximado de 29 especies por describir, paradójicamente, así como numerosas especies de este género siguen sin ser nombradas y descritas para la ciencia, todo el género puede estar cerca de la extinción. las ranas arlequín están distribuidas en 11 países de Centro y Sur América (Valencia, 2021), a pesar de su importancia biológica, ecológica y cultural y de su valor intrínseco un número alarmante de especies de *Atelopus* está en peligro. En la actualidad, el 83% de las 94 especies evaluadas por la UICN (UICN, 2021) están globalmente amenazadas de extinción, el 73% están en declive y las estimaciones sugieren que hasta el 90% podrían estar en riesgo elevado de extinción.

La mayoría de las especies de *Atelopus* son microendémicas y sus poblaciones, bastante reducidas, se encuentran en zonas extremadamente restringidas, a menudo en ecosistemas montañosos. Esto junto a sus etapas de vida acuática, las hace especialmente susceptibles a una multitud de amenazas, como las enfermedades infecciosas, la pérdida y degradación del hábitat, las especies invasoras, la colección ilegal, la contaminación y el cambio climático (UICN, 2021).

Analizar estos efectos sobre la distribución de anfibios es de gran importancia para los biólogos, ya que estos son elementos claves y tienen una función trascendente en el sistema ecológico, además actúan como bioindicadores de posibles perturbaciones del ambiente al

ser extremadamente sensibles a cambios y contaminación del medio. En diversos países existe gran información de trabajos que documentan el efecto del cambio climático sobre los anfibios y que además han encontrado una reducción considerable de sus áreas de distribución natural. (Pounds, 2001; Carey *et al.*, 2003; Araujo *et al.*, 2006).

Una de las herramientas más utilizadas en estudios para la estimación de distribución potencial de biodiversidad son los modelos de nicho (Lobo et al. 2010). Estos modelos utilizan algoritmos matemáticos que predicen la distribución correlacionando información de registros de ocurrencia de la especie con información de variables ambientales como topografía, precipitación, temperatura, entre otros (Lobo *et al.*, 2010).

En la actualidad existe un gran abanico de algoritmos matemáticos que pueden ser utilizados para la generación de cartografía de distribución actual y potencial de especies, existen algoritmos que utilizan información de presencia-ausencia, como GAM, GLM y Grap o algoritmos que solo utilizan información de presencia como Bioclim, Domain, MaxEnt (Rodríguez, 2011), entre otros, sin embargo varias publicaciones determinan que MaxEnt es uno de los métodos con mejores prestaciones para el modelado de nicho (Toranza, 2011; Elith et al., 2006; Hernández *et al.*, 2006).

Dentro de sus aplicaciones más importantes pueden mencionarse: detección de nuevas áreas de distribución (Pearson *et al.*, 2007), predicción de invasiones (Ward 2007), aportes al diseño de planes de conservación (Ferrier 2002) o estudios sobre impactos potenciales del cambio climático (Levinsky *et al.*, 2007).

Aunque varias especies de *Atelopus* son coloridas y carismáticas, pocas especies han sido estudiadas en detalle, y la ecología, el comportamiento y el estado actual de las poblaciones de la mayoría de las especies siguen siendo poco conocido. Numerosas especies no han sido vistas en muchos años, muchas localidades no han sido visitadas recientemente y algunas especies sólo se conocen por colecciones de hace varias décadas. La especie *Atelopus bomolochos* en Ecuador se encuentra en peligro crítico debido a sus diferentes amenazas, una de ellas es la contaminación en las áreas donde se distribuyen, por lo cual sus poblaciones

han disminuido constantemente. En ese contexto, con los antecedentes antes descritos el objetivo de esta investigación es realizar un modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de *Atelopus bomolochos*, Peters, 1973, bajo escenarios de cambio climático en Ecuador, para contar con información científica actualizada y que la misma tribute a futuros trabajos de conservación de esta especie fundamental para el mantenimiento y preservación de la biodiversidad de nuestro país.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

La presente investigación se realizó en la parte continental del Ecuador (figura 1), que limita al norte con Colombia y al sur y este con Perú, y al oeste con el océano Pacifico, con excepción de las islas Galápagos, que, por su naturaleza, no cuenta con anfibios distribuidos de forma natural en su geografía.

Ecuador presenta un área de 283.791 km², una topografía con altitudes de 0 a 6300m.s.n.m, con un gradiente de temperatura que va de 0 a 26°C en la cual encontramos 4 regiones que presentan características geográficas y climáticas diversas, esta es, región Costa, Sierra, Oriente e Insular, estas presentan un abanico de condiciones climáticas a lo largo del territorio, entre los que se destacan los climas tropicales, subtropicales, temperados, subtemperados y de páramo.

Además, tiene dos cuencas hidrográficas como lo son la Pacífica y la Amazónica, con 91 ecosistemas terrestres distribuidos, 45 en la Sierra, 24 en la Costa y 22 en la Amazonia (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013) y a pesar de su relativamente pequeño tamaño en comparación con países como Brasil o China, es catalogado como uno de los países más megadiversos del planeta, albergando aproximadamente el 10% de plantas y animales a nivel mundial (Ulloa & Neill, 2005).

La cordillera de los andes que la atraviesa de norte a sur influye en sus características climáticas (Varela y Ron, 2018), posee dos estaciones definidas, una lluviosa donde encontramos regímenes de precipitación elevada en la parte norte de la región, con valores anuales de hasta 4000mm, mientras que los valores inferiores de precipitación son de 250mm al año en la península de Santa Elena, la seca donde el régimen térmico se caracteriza

por variaciones de 2 a 3 grados centígrados entre el mes más cálido y el cuarto mes más frio, y una temperatura promedio de 23 a 24 grados centígrados (CNC Ecuador, 2001)(Romero, 2001).

Figura 1. Área de estudio Ecuador continental.



Fuente: Google maps, ajustada por los autores (2022)

2.2 Especie objeto de estudio *Atelopus bomolochos*, Peters, 1973

Las ranas arlequín se encuentran entre los 0 y 4.800 metros sobre el nivel del mar (msnm) en una gran variedad de hábitats, desde los bosques húmedos tropicales de la costa Pacífica y la cuenca del Amazonas hasta las regiones montañosas y los páramos de los Andes. La mayoría de las especies de *Atelopus* viven en elevaciones medias y altas por encima de los 1.500 msnm, con un pequeño número de especies restringidas a elevaciones por encima de los 3.000 msnm, un entorno comúnmente asociado con la disminución de anfibios (Stuar *et al.,* 2004, Young *et al.,* 2001). De acuerdo a la información obtenida de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, la especie *Atelopus bomolochos,* se encuentra dentro de la categoría de "peligro crítico" la cual le hace muy vulnerable a los efectos del cambio climático, lo que podría minimizar la viabilidad de la especie en el futuro.

2.3. Modelamiento Ambiental

El modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de la especie "*Atelopus bomolochos"* desarrollado para dar respuesta al tema de la investigación, se realizó en base a la siguiente metodología:

2.2.1. Primera etapa: recopilación y análisis de las variables biológicas y ambientales.

La variable biológica se seleccionó en base a su importancia de conservación y su categoría de peligro de extinción de acuerdo a la información que presenta la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), los registros de ocurrencia (presencia) se obtuvieron de la recopilación de datos de ocurrencia de la especie *Atelopus bomolochos* de las plataformas digitales de GBIF con 78 datos, VertNet con 61 datos, iNaturalist con 3 datos y la Bioweb Ecuador de la Pontifica Universidad Católica del Ecuador con 154 datos, los cuales sumaron 296 datos de ocurrencia de la especie desde el año 1981 hasta 1991 georreferenciados al sur del callejón interandino nacional como lo muestra la figura 2.

Figura 2. Puntos de presencia de *Atelopus bomolochos.*



Fuente: Bioweb Ecuador, (2022)

Las variables ambientales se obtuvieron de la plataforma digital WorldClim, datos climáticos versión 2.1, la cual proporciono 19 variables bioclimáticas y de altitud (tabla 1) de condiciones actuales y futuras, con una resolución de 1km2 (30 arcsec), los datos

corresponden a información de la combinaciones de las variables de temperatura y precipitación en diferentes épocas del año y a proyecciones de mediano y largo plazo (1970-2000) de estaciones meteorológicas de todo el planeta (Hijmans *et al.*, 2017).

Tabla 1. Variables bioclimáticas de la plataforma WorldClim 2.1.

ID	Variable
Bio 1	Temperatura Media Anual
Bio 2	Intervalo medio diurno (media mensual (tmáxima - tmínima))
Bio 3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100)
Bio 4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar ×100)
Bio 5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)
Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio 9	Temperatura Media del Cuarto Más Seco
Bio 10	Temperatura media del trimestre más cálido
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio 12	Precipitación Anual
Bio 13	Precipitación del mes más lluvioso
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 15	Estacionalidad de la Precipitación (Coeficiente de Variación)
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 17	Precipitación del Trimestre Más Seco
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío
Alt	Altitud

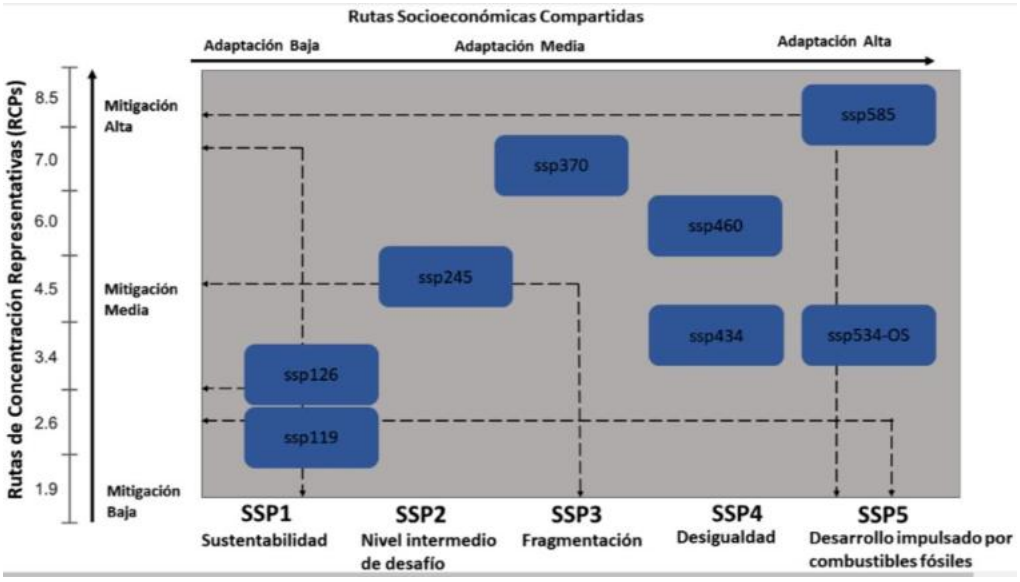
Fuente: WorldClim. (2022)

Para las variables de escenarios futuros se utilizaron las proyecciones climáticas realizadas por el CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project 6), los mismos que fueron utilizados para el sexto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2022), estos modelos simulan escenarios que proyectan nuestras emisiones de gases de efecto invernadero en el futuro (Eyring *et al.*, 2016), e incorpora Rutas Socioeconómicas Compartidas (SSP) (Grose *et al.*, 2020). La reducción de escala y la calibración (corrección de sesgo) se realizaron con WorldClim v2.1 como clima de referencia para la obtención de las variables bioclimáticas a futuro.

Los SSP como se muestra en a figura 3, son complementarios de las vías para las

concentraciones de gases de efecto invernadero (RCP's) y tienen en cuenta cómo pueden cambiar los factores socioeconómicos durante el próximo siglo, así tenemos el SSP1 - 2.6 "Sostenibilidad", tomando el camino verde, un mundo centrado en el crecimiento sostenible y la igualdad (escenario de bajas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con un aumento de temperatura estimado a largo plazo de alrededor de 1,7-1,8 °C; el SSP2 - 4.5 "Mitad del camino", progreso lento hacia el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, escenario de emisión promedio de GEI, con un aumento de temperatura a largo plazo estimado alrededor de 2.5-2.7 °C, el SSP3 - 7.0 "Rivalidad regional" un camino difícil, un mundo con una desigualdad cada vez mayor escenario de altas emisiones de GEI, con un aumento de la temperatura a largo plazo estimado en torno a 3,8-4,2 °C y el SSP5 - 8,5 "Desarrollo alimentado por combustibles fósiles" tomando la autopista, el escenario catastrófico, donde un mundo de se percibe un rápido crecimiento en la producción económica y el uso de energía, escenario de alta emisión de GEI, con un aumento de la temperatura a largo plazo estimado en alrededor de 5,1 °C. (O'neill *et al.,* 2017; Riahi *et al.,* 2017).

Figura 3. Escenarios (SSP), que resultan de la combinación de una Ruta Socioeconómica Compartida (SSP), y una Ruta de Concentración Representativa (RCP) que indica el forzamiento radiactivo esperado (W/m^2).



Fuente: Reyes *et al.,* (2021)

Para esta investigación se utilizó el modelo global de circulación (GCM) actual

HadGEM3-GC31-LL desarrollado por Met Office Hadley Center (Reino Unido) y por el Instituto Nacional de Investigación de Espacios (Brasil), que muestra como tendencia general para la región ecuatorial de Suramérica un aumento en las precipitaciones y una disminución en los periodos de verano, en áreas con regímenes estacionales delimitados

Recientemente Schivo y colaboradores utilizaron el MCG HadGEM2-ES, para modelar distribución y riqueza de anfibios bajo diferentes escenarios de cambio climático en Brasil (Schivo *et al.*, 2019), por lo que se consideró el GCM actual idóneo para representar las condiciones de escenarios futuros del modelo ambiental en las rutas socioeconómicas SSP 245 y SSP 585 para el año 2070.

2.2.2. Segunda etapa: Limpieza, depuración y optimización de las variables biológicas y ambientales.

Las variables biológicas fueron sintetizados y organizados en el software Excel donde se conservó solo las columnas de especie, longitud y latitud necesarios para correr el modelo, además se realizó una limpieza de los datos de presencia, eliminando los registros de presencia que presentaban las mismas coordenadas geográficas y ausencia de las mismas. Con ayuda del software QGIS se identificó los puntos de presencia que se encontraban en una misma celda de pixel, seleccionando un registro por celda, es decir un dato de presencia por cada kilómetro cuadrado, para reducir los efectos de la correlación espacial (Kamilar & Tecot, 2016).

Las variables ambientales se procesaron en el QGIS para extraer los valores de las 19 variables bioclimáticas de acuerdo a los puntos de presencia y mediante el software estadístico Past4 se realizó un análisis de correlación de Pearson para eliminar las variables altamente correlacionadas con un coeficiente mayor a 0.80 (Jane *et al.*, 2010; Qin et al., 2016; Wan *et al.*, 2017), se seleccionaron las variables poco correlacionadas y de alto valor biológico en la ecología de la especie para ser utilizadas en el modelamiento de distribución actual y futuro. Finalmente, las variables ambientales resultantes se recortaron al límite del área de estudio (Ecuador), con la misma proyección, resolución y numero de celdas en “x” y en “y” en sus propiedades.

2.2.3. Tercera etapa: Construcción del modelo ambiental actual y potencial, bajo escenarios de cambio climático.

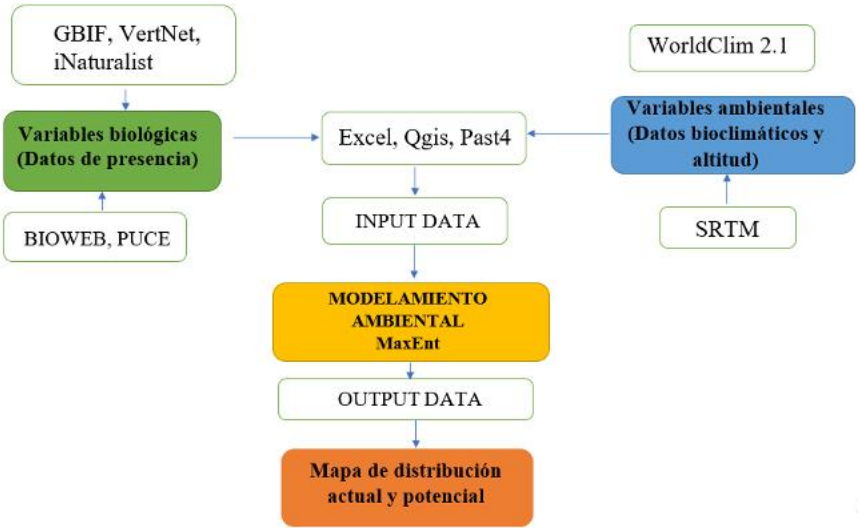
El modelo ambiental se realizó en base al algoritmo de máxima entropía del software MaxEnt, el cual fue desarrollado por el Centro para la Biodiversidad y Conservación del Museo Americano de Historia Natural (AMNH) por Philips y colaboradores, como data de entrada (INPUT), se utilizó las variables biológicas, datos de ocurrencia de la especie en formato de archivo separado por comas (extensión .csv) y las variables ambientales, datos bioclimáticos en formato ASCII (extensión .asc) (Phillips, Aneja, Kang, & Arya, 2006).

El modelo se ejecutó en base a la configuración predeterminada del software MaxEnt, con excepción de la activación de las opciones de "Create response curves" y "Do jackknife", necesarias para analizar la importancia de las variables ambientales utilizadas en el modelo, además se verifico el rendimiento del modelado observando los resultados del área bajo la curva (AUC), que es la relación entre la sensibilidad y especificidad del modelo que varía de 0 a 1, donde los valores próximos a 1, indican un alto desempeño y los valores menores a 0.5, muestran un bajo desempeño del modelo, categorizándolos de la siguiente manera, "excelente" 0.90-1.00; "bueno" 0.80-0.90; "medio" 0.70-0.80; "pobre" 0.60-0.70. (Allouche *et al.,* 2006; Araújo *et al.,* 2005; Swets, 1988).

Se determino las áreas de idoneidad mediante los resultados (OUTPUT) para el presente y los escenarios obtenidos de MaxEnt, el cual proporciono un ráster con valores de pixeles de 0 a 1, clasificándolos en cuatro categorías, (a) ausencia (< 0.25), que incluyó áreas de idoneidad nula que codificamos en color celeste; (b) 0.25 – 0.50, áreas de idoneidad baja de hábitat que codificamos con el color amarillo; (c) 0.50 -0.75, áreas de idoneidad media de hábitat que codificamos con el color naranja; (d) > 0.75, áreas de alta idoneidad de hábitat que codificamos con el color rojo (Merow *et al.,* 2013; Yan *et al.,* 2017).

El ráster de idoneidad fue procesado en el software QGIS, transformando la idoneidad en curvas de nivel, tomando en cuenta solo los valores de idoneidad media y alta para determinar los cambios en las áreas de distribución de *Atelopus bomolochos* en el modelado ambiental del presente y del futuro.

Figura 4. Flujograma del modelamiento ambiental para la especie *Atelopus bomolochos*



Realizado por los autores, (2023)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Modelamiento ambiental

De la depuración y limpieza de las variables biológicas, se utilizaron 58 datos bióticos (ocurrencias) georreferenciados de la especie objeto de estudio y las variables ambientales seleccionadas luego del proceso de correlación y análisis biológico fueron las la Bio 1 Temperatura media anual, Bio 2 Rango de temperatura promedio diurno, Bio 3 Isotermalidad, Bio 4 Estacionalidad de la temperatura, Bio 12 Precipitación anual, Bio 15 Estacionalidad de la precipitación, las mismas que se utilizaron para el proceso de modelado actual y potencial, los cuales ingresaron como data input al modelamiento de distribución con el algoritmo de Maxent. Los resultados del proceso de modelamiento dieron como output un AUC de 0.94, lo que demuestra un ajuste de modelado significativamente alta.

Las variables bioclimáticas que más aportación dieron al modelo fueron la Bio 1, Bio 2, Bio 3, Bio 4, Bio 12, Bio 15 como se observa en la tabla 2.

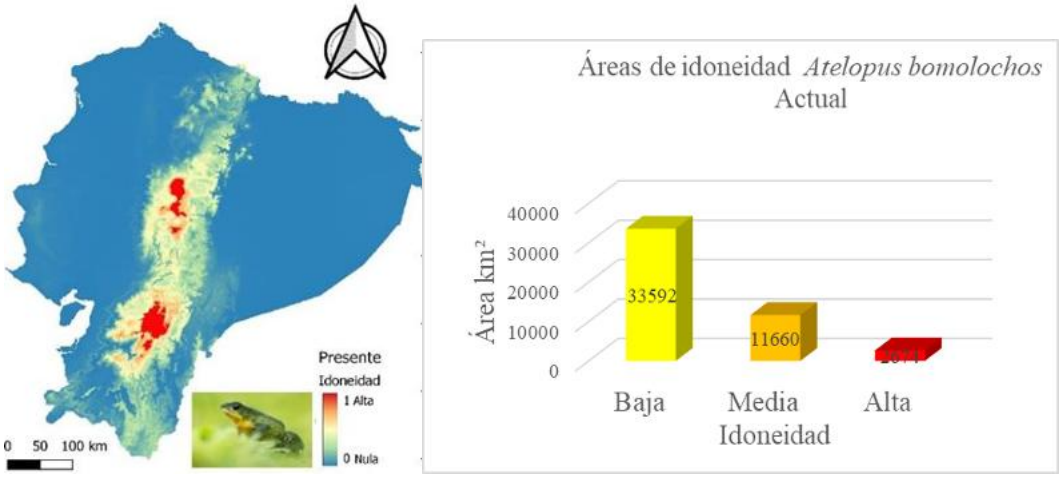
Tabla 2. Variables ambientales utilizadas en el modelo.

Variable Bioclimática	Porcentaje de contribución
Bio 1	67.2
Bio 2	11.2
Bio 3	12.3
Bio 4	3.3
Bio 12	1.4
Bio 15	0.8

Fuente: MaxEnt, 2022.

Para el escenario actual (presente), la distribución probable de *Atelopus bomolochos*, está determinada por la salida logista del modelo en la cual se puede observar las áreas de idoneidad de la especie alta, media y baja (Figura 5).

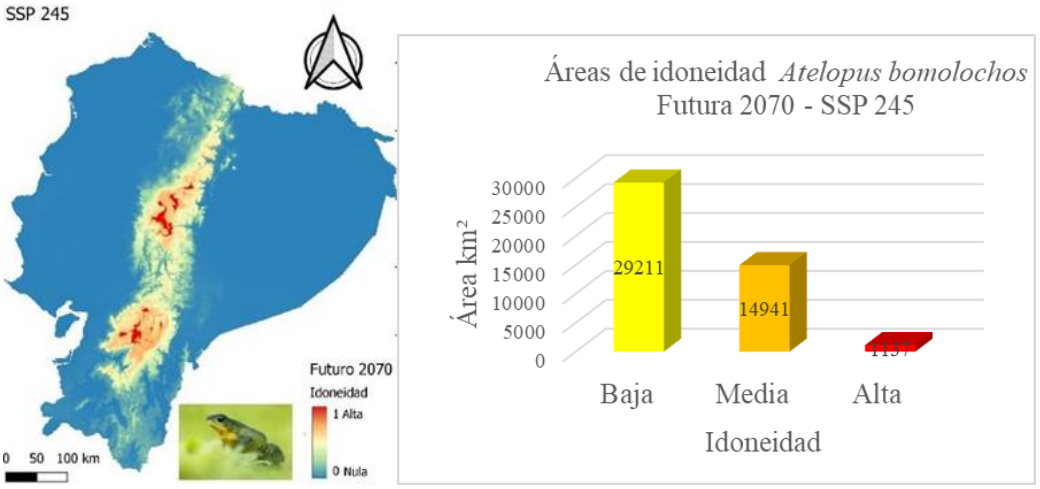
Figura 5. Áreas de idoneidad para el presente de *Atelopus bomolochos*



Realizado por los autores, (2023)

En el proceso de modelamiento para escenarios futuros se tomaron en consideración el modelo de circulación global (GCM) HadGEM3-GC31-LL proyectado al año 2070, que para la ruta socioeconómica compartida (SSP) 245, que establece un progreso lento hacia el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, dio como resultado las áreas de idoneidad de la especie alta, media y baja (Figura 6).

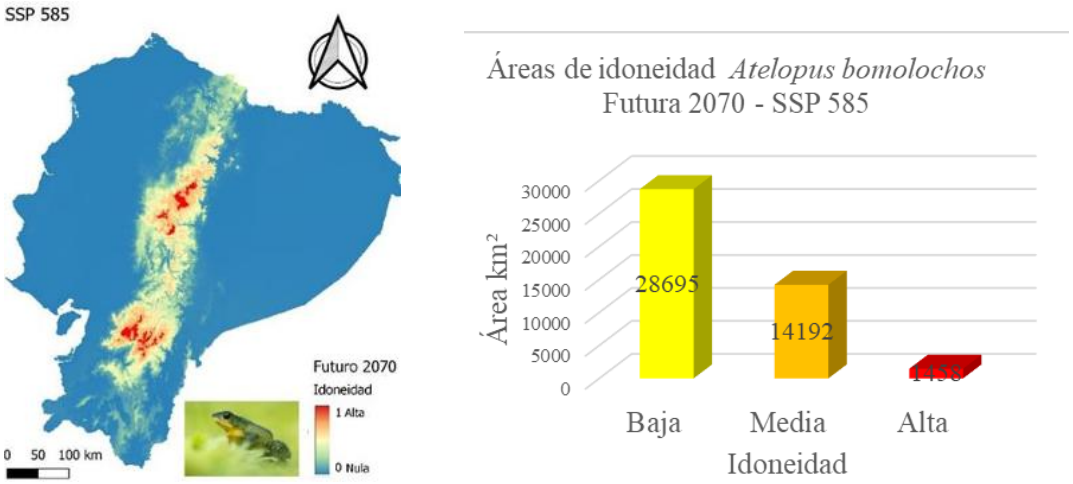
Figura 6. Áreas de idoneidad para el futuro SSP245 año 2070 de *Atelopus bomolochos*



Realizado por los autores, (2023)

Para la ruta socioeconómica compartida (SSP) 585, que establece un escenario catastrófico gobernado por el desarrollo económico e incremento del uso de combustibles fósiles, dio como resultado las áreas de idoneidad de la especie alta, media y baja (Figura 7).

Figura 7. Áreas de idoneidad para el futuro SSP 585 año 2070 de *Atelopus bomolochos*.



Realizado por los autores, (2023)

3.2 DISCUSIÓN

Los resultados demuestran que para el escenario futuro SSP 245, considerado como el escenario “sostenible”, el modelo predice una reducción de las áreas de idoneidad baja de 4381 Km2 y alta de 1537 km2, a diferencia del área de idoneidad media en la cual se puede apreciar un aumento de 3281 km2 para el año 2070, esto lo podemos apreciar en la tabla 3.

Tabla 3. Perdida y aumento de áreas de idoneidad para *Atelopus bomolochos* en el escenario SSP 245.

Idoneidad	Actual	Futuro SSP 245			
	Área (km^2)	Área (km^2)	%	Área de cambio (km^2)	%
Baja	33592	29211	86.96	4381	13.04
Media	11660	14941	128.14	-3281	-28.14
Alta	2674	1137	42.52	1537	57.48

Realizado por los autores, (2023)

En el escenario proyectado al futuro, SSP 585 catalogado como "catastrófico", el modelo pronostica una disminución de las áreas de idoneidad baja y alta, en contraste con el área de idoneidad media donde se evidencia un aumento para el año 2070 (tabla 4).

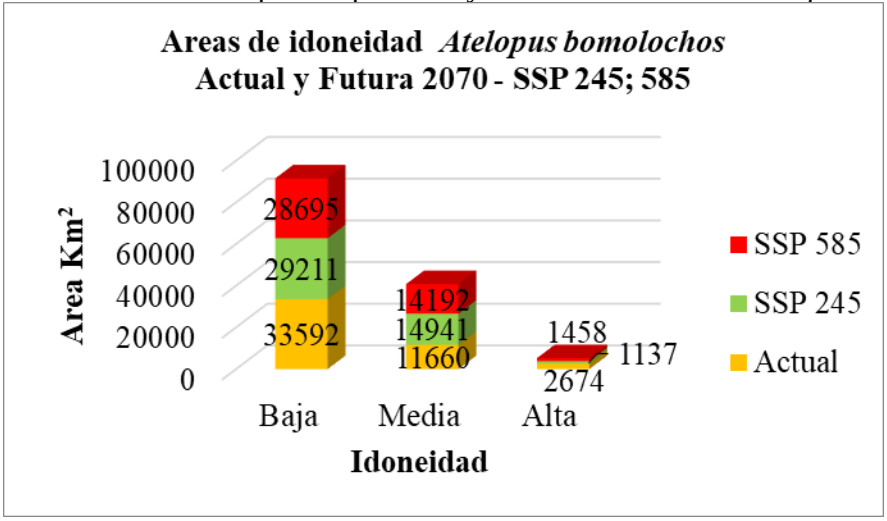
Tabla 4. Perdida y aumento de áreas de idoneidad para *Atelopus bomolochos* en el escenario SSP 585.

Idoneidad	Actual	Futuro SSP 585			
	Área (km^2)	Área (km^2)	%	Área de cambio (km^2)	%
Baja	33592	28695	85.42	4897	14.58
Media	11660	14192	121.72	-2532	-21.72
Alta	2674	1458	54.53	1216	45.47

Realizado por los autores, (2023)

La figura 8 muestra el contraste entre las áreas de idoneidad alta, media y baja para el modelamiento actual y futuro de los escenarios SSP 245 y SSP 585.

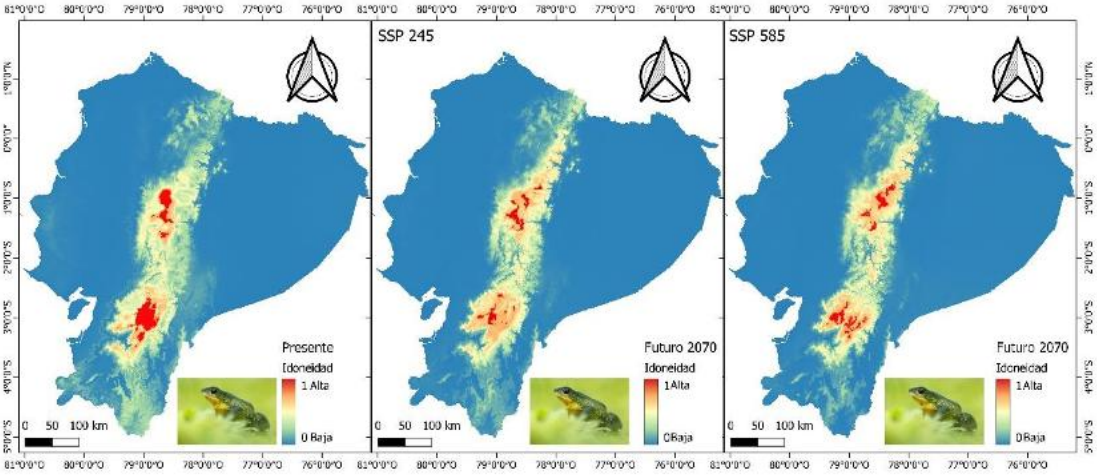
Figura 8. Áreas de idoneidad para el presente y futuro año 2070 de *Atelopus bomolochos*



Realizado por los autores, (2023)

De acuerdo con los resultados del modelamiento se puede evidenciar una reducción de las áreas de idoneidad baja (color amarillo en el mapa) proyectadas al año 2070 del 13.04% en el escenario SSP 245 y una disminución del 14.58% en el escenario SSP 585, con un aumento del 1.54% entre escenarios. En las áreas de idoneidad media (color naranja en el mapa) para el SSP 245 hay aumento del 28.14% y para el SSP 585 es de 21.72%, con una disminución del área del 6.42% entre escenarios, para las áreas de idoneidad alta (color rojo en el mapa) existe una reducción en los escenarios futuros, así para el SSP 245 hay una reducción del 57.48% y para el SSP 585 es de 45.47%, con un aumento del área de 12% entre escenarios, como se observa en la figura 9.

Figura 9. Distribución actual y potencial de *Atelopus bomolochos.*



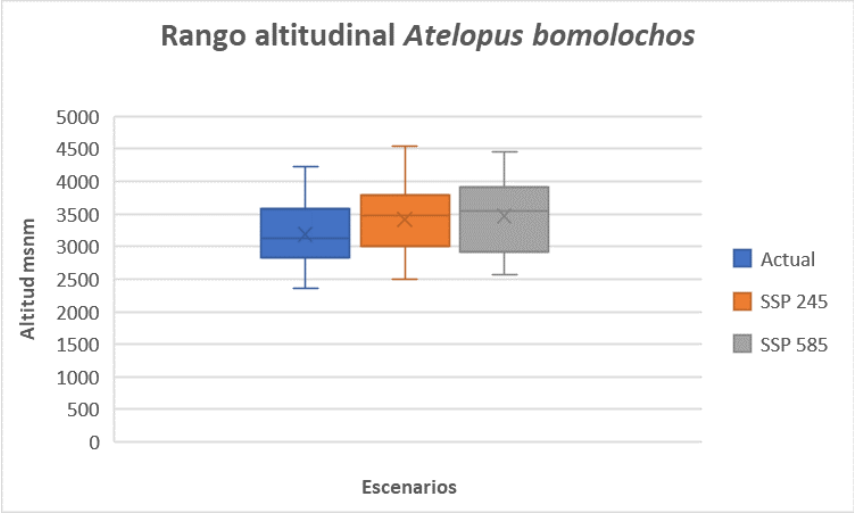
Realizado por los autores, (2023)

La especie *Atelopus bomolochos* presenta diferentes comportamientos en relación a los dos escenarios con condiciones climáticas diferentes, se puede observar que se reducen áreas de idoneidad baja, pero que mantienen su posición de distribución geográfica natural, es evidente que en la zona Sur y Sur Este de las estribaciones de la cordillera de los Andes, existe una mayor disminución, lo cual podría perjudicar la viabilidad y adaptabilidad de la especie en el futuro. Las áreas de idoneidad media aumentan en correspondencia del escenario futuro proyectado, así para el escenario sostenible hay un mayor crecimiento de área a diferencia del escenario catastrófico, esto es positivo ya que de acuerdo a las condiciones climáticas favorables la especie presenta mayor espacio geográfico para su distribución y supervivencia, algo talvez inconsistente pero interesante es el resultado que

refleja el modelo en cuanto a las áreas de idoneidad alta, que reflejan una mayor perdida en el escenario sostenible, en relación con el catastrófico, lo cual podría sugerir que la especie presenta mejores condiciones de adaptabilidad, ante condiciones adversas producto del cambio climático.

En la figura 10 se observa que la especie de *Atelopus bomolochos* están migrando a elevaciones más altas producto de las condiciones climáticas proyectadas hacia el futuro, así en el presente las encontramos a aproximadamente a una altura promedio de 3189 msnm, para el año 2070 en el escenario SSP 245 a 3414 msnm y para el escenario SSP 485 a 3468 msnm.

Figura 10. Rango altitudinal para el presente y futuro de *Atelopus bomolochos*



Realizado por los autores, (2023)

Guzmán en 2015, realizó un estudio similar con el modelamiento a varios anfibios, uno de ellos es la especie *Pristimaantis myersi*, que para el año 2050 mantendrá el 85.9 % de su área de idoneidad intacta. Por tanto, se infiere que la especie únicamente perderá área limitándose así su rango de distribución. Estos cambios en su distribución se dan debido a que las áreas que prestan las condiciones climáticas requeridas por la especie cada vez son menos, esto se traduce en un incremento de la temperatura y precipitación en un futuro, concluyendo que la distribución potencial de todas las especies analizadas evidencia efectos negativos en un futuro, ya que según los resultados todas presentan una disminución en su área de idoneidad, en cualquiera de los escenarios proyectados en futuro.

En otro estudio realizado por el mismo autor a *Pristimantis percultus* puede observarse que para el año 2050 mantendrá el 78.6 % de su área intacta, el 19.4 % de su área se perderá, y colonizará un 2 %. Por tanto, se deduce que las áreas que prestan las condiciones idóneas para el desarrollo de la especie se reducirán en un futuro, sin embargo, existirá una pequeña área con condiciones ambientales favorables para ser colonizada.

En otro estudio realizado por Bonilla en 2017, menciona que las condiciones climáticas extremas (RCP 8.5 para 2050 y 2070) no favorecen la colonización a los anfibios e incluso se puede observar una disminución del área con condiciones favorables para su desarrollo. En los análisis para la estimación generada en el modelo acumulativo se observa una disminución evidente de las áreas con adaptabilidad ambiental fuerte para la especie, concluyendo una afectación debido a los parámetros climáticos evidente al comparar los resultados de RCP 2.6 y RCP 8.5. Con este patrón se prevé que las condiciones climáticas actuarán de manera limitante sobre el potencial de invasión de la especie, aunque no serán lo suficientemente nocivas para la misma, favoreciendo su permanencia en las áreas actualmente ocupadas (Antioquia, Cauca, Huila, Cundinamarca) y con potencial alto de presencia.

Los resultados reportados en las diferentes investigaciones sobre modelamiento de distribución potencial son de lo más variado, y dependen mucho de las condiciones bajo las cuales se han llevado los estudios (Wisz *et al.*, 2008), los datos de presencia deben de estar distribuidos lo más homogénea y extensamente posible dentro del espectro de condiciones ambientales del rango geográfico de la especie (Kadmon *et al.*, 2004).

En varios estudios se ha constatado que los diferentes softwares presentan distinta precisión a la hora de estimar la distribución del hábitat idóneo para una especie. En general los resultados no son concluyentes, funcionando de modo diferente los algoritmos según la especie, la cantidad de registros de presencia, o el número de variables predictoras (Benito y Peñas, 2007).

4. CONCLUSIONES

El anfibio *Atelopus bomolochos* es una especie en peligro de extinción de acuerdo con la lista roja de especies amenazas publicada por la UICN (Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza) que la categoriza como una especie en peligro crítico, a causa

de presiones antrópicas como las enfermedades infecciosas, la pérdida y degradación del hábitat, las especies invasoras, la colección ilegal, la contaminación y como se determinó en esta investigación el cambio climático. Además, resulta ser un buen bioindicador ecológico de acuerdo con las respuestas que se obtuvieron del modelamiento, ya que su comportamiento a condiciones favorables y adversas condiciona su adaptabilidad y viabilidad para el futuro.

El modelamiento ambiental realizado para *Atelopus bomolochos* predice que las áreas potenciales de la especie están desplazándose a elevaciones más altas con reducción de sus áreas de idoneidad alta en relación con los escenarios futuros para el año 2070. Así de un área de idoneidad alta en el presente de 2674 km2, existe una disminución en el área para el escenario futuro SSP 245 de 1537 km2 aproximadamente un 57%, para el escenario futuro SSP 585 existe una reducción del área de 1216 km2 que equivale a un 45% aproximadamente.

En cuanto al rango altitudinal el modelamiento ambiental predice un desplazamiento que va de los 3189 msnm en el presente, a los 3414 msnm en el escenario futuro SSP 245 y 3468 msnm en el escenario futuro SSP 585, lo cual es preocupante ya que a mayor elevación las condiciones de áreas óptimas para el desarrollo de la especie disminuyen considerablemente, mermando de este modo su viabilidad y supervivencia en el futuro.

Los anfibios son indicadores ecológicos, transfieren nutrientes de medios acuáticos a terrestres y controlan plagas de insectos. Si llegaran a extinguirse, aumentarían las poblaciones de insectos transmisores de enfermedades como la malaria. Es nuestro deber cuidar su habitad y garantizar su supervivencia.

El procesamiento de información biológica y ambiental a través de diferentes herramientas y algoritmos de análisis espacio temporal, tiene un alto potencial en la contribución científica de información confiable, precisa y detallada, útil para el estudio en el ámbito ambiental, necesario para la formulación de estrategias de conservación de la biodiversidad y demás casos prácticos aplicados a la academia.

5. REFERENCIAS

Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). Journal of Applied Ecology, 43(6), 1223–1232. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x

Araújo, M. B., Pearson, R. G., Thuillers, W., & Erhard, M. (2005). Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Global Change Biology, 11, 1–10. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001000.x

Araujo, M.B., Thuiller, W. y Pearson, R.G. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. Journal Of Biogeography, 33 (10) 1712 – 1728

Baldo, D., Borteiro, C., Brusquetti, F., García, J. E. & Prigioni, C. (2008). Reptilia, Gekkonidae, Hemidactylus mabouia, Tarentola mauritanica: Distribution extension and anthropogenic dispersal. Check List, 4(4), 434-438.

Barrera, A., y Morejón, R. (2011). Cambio Climático. Quito, Ecuador. https://acortar.link/bhSbV0

Benito B. y J. Peñas. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península ibérica. Geofocus pp. 100-119. (En línea) URL: http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo6_2007.pdf (Consultado Mayo 14, 2014).

Bioweb. (2022). Bioweb Ecuador. Obtenido de Repositorio de información de la biodiversidad Ecuatoriana: https://bioweb.bio/

Bonilla Forero, J. A. (2017). Distribución potencial de la especie Lithobates catesbeianus en la región continental de Colombia bajo iteraciones de cambio climático.

Bravo Velásquez, E. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Abya-Yala/UPS. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6788

Carey C., Bradford D. F., Brunner J. F., Collins J. P., Davidson E. W., Longcore J. E., Ouellet M., Pessier A. P. y Schock D. M. 2003. Biotic factors in amphibian declines. In Multiple stressors and declining amphibian populations: evaluating cause and effect (Linder G., Sparling D. W., Krest S. K., editors), pp. 153–208 Boca Raton, FL: Society of Environmental Toxicology and Chemistry

Centro Jambatu. 2011–2020. Anfibios de Ecuador. Base de datos electróncia disponible en http://www.anfibioswebecuador.ec/index.php?aw,2. Fundación Jambatu. Quito, Ecuador.

Coloma, L. A., Frenkel, C., Félix-Novoa, C., Quiguango-Ubillus, A. y Varela-Jaramillo, A. 2022. Atelopus bomolochos En: Ron, S. R., Merino-Viteri, A. Ortiz, D. A. (Eds). Anfibios del Ecuador. Version 2022.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/FichaEspecie/Atelopus%20bomolochos, acceso domingo, 29 de Enero de 2023

Comunicación Nacional. República del, Ecuador. CNC (Comité Nacional sobre el Clima) [Internet]. Convención Marco de las Naciones Unidas. Cambio Climático. 2001 [cited 2018 May 4]. p. 128. Available from: https://www.google.com.ec/search?q=CNC+(Comité+Nacional+sobre+el+Clima)+(2001

)+Comunicación+Nacional.+Republica+del+Ecuador.+Convención+Marco+de+las+Naciones+Unidas.+Cambio+Climático.&rlz=1C1CHBD_esEC750EC750&oq=CNC+(Comité+ Nacional+sobre+el+Clima)

Cordero, G. D. (2012). El cambio climático. Ciencia y sociedad, 37(2), 227-240. http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1392

Daly, J.W., Gusovsky, F., Myers, C.W., Yotsu-Yamashita, M., Yasumoto, T. 1994. First occurrence of tetrodotoxin in a dendrobatid frog (Colostethus inguinalis), with further reports for the bufonid genus Atelopus. Toxicon 32: 279–285.

Edison Geovanny Guzmán Sarango. (Junio de 2015). Estudio de la distribución de anfibios en el páramo del parque nacional podocarpus, frente a posibles escenarios de cambio climático". Obtenido de carrera de ingeniería en manejo y conservación del medio ambiente: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11320/1/Tesis_Guzm%C3%A1n.pdf

Elith J., C. Graham, R. Anderson, M. Dudick, S. Ferrier, A. Guisan, et al. 2006. Novel method improve prediction of species distributions from occurrence data. Ecography 29: 129-151.

Escoto Castillo, Ana, Sánchez Peña, Landy, & Gachuz Delgado, Sheila. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios demográficos y urbanos*, *32*(3), 669-693. https://doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684

ESRI. (Mayo de 2016). Geoprocesamiento. Obtenido de Informatica con datos geográficos: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=XOIsDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=Arcgis&ots=0c6TVHSJkJ&sig=LFKgYw2EKpZlYBXcbRq8VzoMpEU#v=onepage&q=Arcgis&f=false

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development, 9(5), 1937–1958.

Fick, SE y RJ Hijmans, 2017. WorldClim 2: nuevas superficies climáticas de resolución espacial de 1 km para áreas terrestres globales. Revista Internacional de Climatología 37 (12): 4302-4315 .

GBIF.org (14 December 2022) GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.fgquq9

Graham CH, Ferrier S, Huettman F, Moritz C, Peterson AT. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. Trends in Ecology and Evolution 19(9): 497- 503.

Grose, M. R., Narsey, S., Delage, F. P., Dowdy, A. J., Bador, M., Boschat, G., Chung, C., Kajtar, J. B., Rauniyar, S., Freund, M. B., Lyu, K., Rashid, H., Zhang, X., Wales, S., Trenham, C., Holbrook, N. J., Cowan, T., Alexander, L., Arblaster, J. M., & Power, S. (2020). Insights From CMIP6 for Australia's Future Climate. Earth's Future, 8(5).

Gutiérrez E. y I. Trejo. 2014. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas del bosque templado en México. Revista Mexicana de biodiversidad. Vol 85 (1): 179-188.

Hernández P., C. Graham, L. Master, D. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristic on performance of different species distribution modeling methods. Ecography 29: 773-785.

International Journal of Primatology, 37(1), 47–68. https://doi.org/10.1007/s10764-015-9875-8

IPCC. 2007. Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf (Consultado Abril 27, 2014).

IUCN 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-1. https://www.iucnredlist.org. Downloaded on 9 August 2021.

J.M. Olano Mendoza, ., & J. Peralta Andrés, . (2001). Modelos predictivos de distribución de especies comunes en matorrales basófilos de Navarra: Aplicación en distintos escenarios climáticos. Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales, (12). https://doi.org/10.31167/csef.v0i12.9261

Jane, E., Kearney, M., & Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. Methods in Ecology and Evolution, 1(4), 330–342. https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x

Kamilar, J. M., & Tecot, S. R. (2016). Anthropogenic and Climatic Effects on the Distribution of Eulemur Species: An Ecological Niche Modeling Approach.

Kriegler, E., B. O'Neill, S. Hallegatte, T. Kram, R. Lempert, R. Moss y T. Wilbanks (2010), "Socio-economic scenario development for climate change analysis", *CIRED Working Paper*, núm. DT/WP2010-23, Lieja International Conference on Electricity Distribution. Disponible en: http://www.centre-cired.fr/IMG/pdf/CIREDWP-201023.pdf

Le Maítre, D. C.; Thuiller, W. & Schonegevel, L. Developing an approach to defining the potential distributions of invasive plant species: a case study of Hakea species in South Africa. Global Ecology and Biogeography, 2008, vol. 17, p. 569-584.

Levinsky I., Skov F., Svenning J-C. y Rahbek C. "Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals" Biodiversity and

Conservation 16 (2007): 3803-3816.

Liras, E. (30 de mayo de 2008). Funcionamiento, Interfaz y formato de los datos de MaxEnt. Obtenido de centro andaluz para la evaluación y seguimiento del cambio global: https://www.gbif.es/wp-content/uploads/2020/06/13_Funcionamiento_MAXENT.pdf

Liras, E. (30 de mayo de 2008). Funcionamiento, Interfaz y formato de los datos de MaxEnt. Obtenido de centro andaluz para la evaluación y seguimiento del cambio global: https://www.gbif.es/wp-content/uploads/2020/06/13_Funcionamiento_MAXENT.pdf

Lobo J. M., Jiménez-Valverde A. y Hortal J. “The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modeling” Ecography 33 (2010): 103-114.

Lötters, S. 1996. The Neotropical toad genus Atelopus. Checklist - Biology - Distribution. M. Vences & F. Glaw, Köln, Germany, 143 pp.

Maslin, M. (2014). Climate Change A Very Short Introduction (3.a ed.) [Libro electrónico]. Oxford University Press. Obtenido de: Libro_Mark Maslin - Climate Change_ A Very Short Introduction-Oxford University Press (2014).pdf

May 4]. Available from: https://www.google.com.ec/search?q=Romero%2C+M.+(2001)+Informe+de+Ecuador.+Recursos+forestales+y+cambio+en+el+uso+de+la+tierra.+Proyecto%3A+Información+y+análisis+para+el+manejo+forestal+sostenible%3A+integrando+esfuerzos+nacionales+e+internacio

Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species’ distributions: What it does, and why inputs and settings matter. Ecography, 36(10), 1058–1069. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x

Moritz, C., J. L. Patton, C. J. Conroy, J. L. Parra, G. C. White, and S. R. Beissinger. 2008. Impact of a Century of Climate Change on Small-Mammal Communities in Yosemite National Park, USA. Science 322:261-264.

Naoki, Kazuya, Gómez, M. Isabel, López, Ramiro P., Meneses, Rosa I., & Vargas, Julieta. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. Ecología en Bolivia, 41(1), 65-78. Recuperado en 13 de diciembre de 2022, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282006000700005&lng=es&tlng=es.

O'neill, B. C., Oppenheimer, M., Warren, R., Hallegatte, S., Kopp, R. E., Pörtner, H. O., Scholes, R., Birkmann, J., Foden, W., Licker, R., Mach, K. J., Marbaix, P., Mastrandea, M. D., Price, J., Takahashi, K., Ypersele, JP., Yohe, G. 2017. IPCC reasons for concern regarding climate change risks. Nature Climate Change, 7(1): 28-37.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC]. (2022). Cambio Climático: Una amenaza para el bienestar de la humanidad y la salud del planeta: Comunicado de prensa del sexto informe del IPCC. https://n9.cl/4ocgd

Parmesan, C. 2006. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 37:637-669.

Pearson R. G., Raxworthy C. J., Nakamura M. y Peterson A. T. "Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar" Journal of Biogeography 34 (2007): 102-117.

Phillips, S., Dudík, M., Schapire, R. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Accessed on 2019-5-28.

Phillips, Steven J., Robert P. Anderson, and Robert E. Schapire. 2006. "Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions." Ecological Modelling 190:231–59.

Pounds, J. A. 2001. Climate and amphibian declines, Nature 410.

Pucha-Cofrep, F., Fries, A., Cánovas-García, F., Oñate-Valdivieso, F., González-Jaramillo, V., & Pucha-Cofrep, D. (2017). *Fundamentos de SIG: aplicaciones con ArcGIS* . Franz Pucha Cofrep.

Qin, Z., Zhang, J. E., DiTommaso, A., Wang, R. L., & Liang, K. M. (2016). Predicting the potential distribution of Lantana camara L. under RCP scenarios using ISI-MIP models. Climatic Change, 134(1–2), 193–208. https://doi.org/10.1007/s10584-015-1500-5

República del Ecuador y Ministerio del Ambiente. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025. https://bit.ly/3BtqiAy

Reyes Bonilla, H., Morzaria Luna, H.N., Petatán Ramírez, D., Vázquez Vera, L., Cruz Piñón, G., Dorantes, J.M., Torres Origel. J.F., Rojas Montiel, B., Torres Rodríguez, L.M., Cisneros Mata, M.A., Pérez Muñoz, A., Lara Mendoza, R.E., López Téllez, N.A., Díaz Uribe, J.G., Ingle de la Mora, G., Jiménez Quiroz, M.C., Martínez Moreno. R., Castro Garibay, H. y Calderón Alvarado, J.M. (2021). Evaluaciones de vulnerabilidad de las comunidades costeras y de cambio en la disponibilidad de los recursos pesqueros y acuícolas de la costa de México. EDF de México y UABCS. La Paz Baja California Sur, México.

Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'neill, B. C., Fujimori, S., … & Tavoni, M. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. Global environmental change, 42: 153-168.

Rodríguez A. 2011. Aplicación de modelos de distribución geográfica para la conservación

y reintroducción en el hábitat natural de lychnophora ericoides: especie amenazada de extinción en los cerrados (Sabanas brasileñas). Tesis de Maestría del IX Máster Universitario en Conservación y Gestión del Medio Natural. Universidad Internacional de Andalucia. España. 94 p.

Romero M. Informe de Ecuador. Recursos forestales y cambio en el uso de la tierra. [Internet]. Proyecto: Información y análisis para el manejo forestal sostenible: integrando esfuerzos nacionales e internacionales en 13 países tropicales en América Latina (GCP/RLA/133/EC)-FAO. p.1-25. 2001 [cited 2018]

Ron, S. R. 2019. Base de datos de la colección de anfibios del Museo de Zoología QCAZ. Versión 1.0. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Disponible en <https://bioweb.bio/portal/> Consulta: ().

Santín A. y E. Vidal. 2012. Generación de una línea base de los reservorios de carbono de los páramos del PNP y evaluación de su aplicación como mecanismo de mitigación al cambio climático. Tesis Ing. Ambiental. Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 147 p.

Stuart, S.N., Chanson, J.S., Cox, N.A., Young, B.E., Rodrigues, A.S., Fischman, D.L., Waller, R.W. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. Science 306: 1783–1786.

Swets, J. A. (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. Science, 240, 1285–1293.

Thibeault, J. M., Seth, A., & Garcia, M. (2010). Changing climate in the Bolivian Altiplano : CMIP3 projections for temperature and precipitation extremes. GEOPHYSICAL RESEARCH, 115, 1–18. https://doi.org/10.1029/2009JD012718

Toranza C. 2011. Riqueza de anfibios de Uruguay: determinantes ambientales y posibles efectos del cambio climático. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas Subárea Ecología. Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Uruguay. 67 p.

Ulloa U., C. & D.A. Neill. 2005. Cinco Años de Adiciones a la Flora del Ecuador 1999-2004. Funbotanica, Loja, Ecuador.

Valencia, L.M. y Fonte, L.F.M. 2021. Plan de Acción para la Conservación de la Rana Arlequín (Atelopus) (2021-2041). Iniciativa de Supervivencia Atelopus, 52 pp.

Varela, L. A., Ron, S. R. 2018. Geografía y clima del Ecuador. BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. https://bioweb.bio/geografiaClima.html/

Wan, J. Z., Wang, C. J., & Yu, F. H. (2017). Spatial conservation prioritization for dominant tree species of Chinese forest communities under climate change. Climatic Change, 144(2), 303–316. https://doi.org/10.1007/s10584-017-2044-7

Ward D. F. “Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand” Biological Invasions 9 (2007): 723-735. Ferrier S. “Mapping Spatial Pattern in Biodiversity for Regional Conservation Planning: Where to from Here?” Systematic Biology 51 (2002): 331-363.

Wilbanks (2012), “The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: A new approach based on shared socio-economic pathways”, *Global Environmental Change* , vol. 22, núm. 4, pp. 807-822. Disponible en: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378012000593

Yan, D., Chen, W., Liu, L., Li, J., Liu, L., & Wang, Y. (2017). Change in current and future geographic distributions of Ulmus lamellosa in China. Journal of Forestry Research, 1, 1–10. https://doi.org/10.1007/s11676-017-0503-7

Young, B.E., Lips, K.R., Reaser, J.K., Ibáñez, R., Salas, A.W., Cedeño, J.R., Coloma, L.A., Ron, S., La Marca, E., Meyer, J.R., Muñoz, A., Bolaños, F., Chaves, G., Romo, D. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. Conservation Biology 15: 1213–1223.

Zunino, M. & Palestrini, C. (1991). El concepto de especie y la biogeografía. Anales de Biología, 17(Biología Animal,6), 85-88.

6. ANEXOS

Fundamentación teórica

Capítulo 1

1. Cambio climático

El cambio climático es una de las pocas teorías científicas que nos hace examinar la toda la base de la sociedad moderna. Es un desafío que tiene a los políticos discutiendo, enfrenta a las naciones entre sí, cuestiona las opciones de estilo de vida individuales y finalmente hace preguntas sobre la relación de la humanidad con el resto del planeta (Maslin, 2014). La degradación del medio ambiente con el consecuente cambio climático es una bomba de tiempo que debe desactivarse si no queremos desaparecer como especie del planeta tierra (Cordero, 2012)

2. Sexto informa IPPC (Escenarios socioeconómicos compartidos SSP)

El Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (2022), hace hincapié en la necesidad urgente de adoptar medidas para enfrentar los riesgos del cambio climático, entre los que se evidencian el aumento de olas de calor, sequías e inundaciones, pérdida de vidas, de biodiversidad y de infraestructura, afectación a la salud humana, propagación de plagas y enfermedades en cultivos lo que amenaza directamente a la seguridad alimentaria y medios de vida de millones de personas tales efectos están vinculados al consumo no sostenible de los recursos naturales, la creciente urbanización, las desigualdades sociales, las pérdidas y daños provocados por los fenómenos extremos y la pandemia del COVID-19 (IPCC, 2022).

Las SSP asumen la ausencia de efectos del cambio climático ya que no incluyen variables ambientales ni políticas climáticas sobre mitigación y adaptación (Kriegler *et al.*, 2012), analizando estos elementos como “externos”; es decir, su objetivo es producir escenarios integrados que incluyan tanto los supuestos socioeconómicos como los ambientales que serían afectados por el cambio climático y las políticas climáticas, a través de su diseño (Kriegler *et al.,* 2010).

3. Biodiversidad en Ecuador

El Ecuador es considerado como uno de los países con mayor biodiversidad del planeta. Esta biodiversidad no se limita al número de especies por unidad de área, también incluyen los distintos tipos de ambientes naturales o ecosistemas que ahí existen, es parte de los llamados países megadiversos, por el número de especies distintas que alberga. Es difícil decir con exactitud cuántas especies hay en el Ecuador, pues continuamente se están reportando nuevas especies; en otros casos, la destrucción de los ecosistemas naturales hace que algunas especies desaparezcan (Bravo, 2014).

4. *Atelopus bomolochos* Peters, 1973

Es una especie endémica del Ecuador, que pertenece a la orden anura y la familia Bufonidae. Es una rana mediana de color amarillo, amarillo con café o verde amarillento, generalmente con puntos negros en el dorso y vientre amarillo o naranja. Presenta verrugas en los flancos, patas cortas y el primer dedo de la mano no tiene membrana. Esta especie habita bosque montano húmedo, subpáramo y páramo. Se distribuye en las estribaciones surorientales de la cordillera de los Andes de Ecuador. Se lo ha registrado únicamente en las provincias de Cañar, Azuay y Loja. Se encuentra en peligro crítico según la lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN, las principales amenazas son: agricultura, deforestación, especies invasivas, productividad, eventos estocásticos, transporte. (Coloma *et al.*, 20022)

Capítulo 2

5. Área de distribución

El área de distribución de las especies es “aquella fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa en forma no efímera con el ecosistema” (Zunino & Palestrini, 1991). Ocasionalmente se obtienen registros únicos y aislados a varios kilómetros del área de distribución conocida para una especie, lo cual no significa que deban ser considerados como parte de la distribución, sobre todo cuando la explicación a estos hallazgos sea de tipo antropogénico (Baldo, Borteiro, Brusquetti, García & Prigioni, 2008).

6. Anfibios del Ecuador

Ecuador es privilegiado puesto que alberga a la tercera anfibiofauna más numerosa a nivel

mundial con un total de 669 especies. Los anfibios son recursos valiosos de los países donde habitan. Por ello solo Brasil y Colombia tienen más especies de anfibios que Ecuador. De entre los 10 países con mayor diversidad de anfibios en el mundo, el Ecuador cuenta con la abundancia más alta por unidad de área lo cual lo convierte en la región del planeta con la concentración más variada de ranas y sapos.

En páramos, bosques, ríos y pantanos cumplen roles importantes para el funcionamiento de los ecosistemas pues, como consumidores y presas, son un eslabón intermedio en la cadena de flujo de energía y nutrientes. Los anfibios también tienen un enorme potencial para contribuir al bienestar humano como fuente de medicinas porque producen substancias con propiedades analgésicas y antibióticas cuyo desarrollo es sujeto de intensa investigación. Culturalmente, las ranas y los sapos tienen diversos significados simbólicos usualmente relacionados con la fertilidad y la regeneración de la vida (Bioweb, 2022).

7. Georreferenciación

Es una técnica de posicionamiento espacial por medio de la cual a una imagen digital se le asigna un sistema de referencia basado en coordenadas conocidas. Cierta información ráster no está asociado a un sistema de referencia, tales como mapas, cartas topográficas escaneadas imágenes aéreas, etc. (Pucha, 2017).

Plataforma de geoprocesamiento espacial

8. QGIS

Es un sistema de información geográfica de código abierto, considerada como una herramienta educativa. Ágil y fácil de usar, tiene como objetivo proporcionar funciones y características comunes para la captura de datos, análisis avanzado de GIS y para presentaciones en forma de mapas, atlas e informes sofisticados. QGIS admite una gran cantidad de formatos de datos vectoriales y ráster, con un nuevo soporte de formato que se agrega fácilmente mediante la arquitectura del complemento.

9. Modelamiento de nicho ecológico

El modelado de nicho ecológico es un instrumento de gran importancia utilizado para realizar evaluaciones de la distribución espacial de especies y desarrollar relaciones entre los valores ambientales y los datos de presencia, presencia-ausencia y/o abundancia conocidos

de las especies (Graham et al., 2004). Se han desarrollado varios modelos que ayudan a comprender algunas de las dimensiones ambientales y ecológicas en las que se encuentra un taxón, principalmente aquellas relacionadas con factores abióticos (precipitación, temperatura, entre otras) y bióticos (tipos de vegetación en las cuales se puede encontrar). Sin embargo, no se puede utilizar un modelo de nicho ecológico como áreas de distribución, sino solo como aproximaciones a lo que pueden ser las áreas de distribución.

Algoritmos de modelamiento de distribución de especies

10. MAXENT

MaxEnt, es un programa basado en una distribución de Máxima Entropía para la modelización de la distribución geográfica de las especies. MaxEnt empieza ajustando los datos a partir de una distribución uniforme, que va modificando hasta una distribución de Máxima Entropía. El modelo se basa en ajustar los parámetros de la distribución final (Liras, 2008)

11. BIOMOD

Éste es un ejemplo de ensamble de técnicas, que permite aplicar a la vez nueve técnicas de modelación. Es un *software* programado en el lenguaje estadístico *R* que ha sido utilizado principalmente para analizar proyecciones de la distribución actual bajo escenarios de cambio climático, análisis del nivel de protección actual y futuro de especies con problemas de conservación (Le Maítre *et al.*, 2008; Barbet-Massin *et al.*, 2009; Parviainen *et al.*, 2009; Marini *et al.*, 2010).