

**Universidad Andina Simón Bolívar**

**Sede Ecuador**

**Área de Ambiente y Sustentabilidad**

Maestría de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo

**Modelación de cambios de distribución geográfica de los peces**

***Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor* en aguas continentales de Ecuador, por efectos del cambio climático**

Daysi Carina Gualavisi Cajas

Tutor: Jonathan Santiago Valdiviezo Rivera

Quito, 2024

Trabajo almacenado en el Repositorio Institucional UASB-DIGITAL con licencia Creative Commons 4.0 Internacional

	Reconocimiento de créditos de la obra No comercial Sin obras derivadas	
---	--	---

Para usar esta obra, deben respetarse los términos de esta licencia



## Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, Daysi Carina Gualavisi Cajas, autora del trabajo intitulado “Modelación de cambios de distribución geográfica de los peces: *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor* en aguas continentales de Ecuador, por efectos del cambio climático”, mediante el presente documento de constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

10 de junio de 2024

Firma: \_\_\_\_\_



## Resumen

En la actualidad el cambio climático es considerado uno de los factores principales que afectará al suministro y calidad de agua en ríos y lagos, así como también a la diversidad de especies en todo el mundo. Las especies de agua dulce presentan una mayor amenaza ante el cambio climático, por ello el enfoque de este estudio se basó en examinar y analizar los posibles cambios de distribución de los peces *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor* bajo dos escenarios de cambio climático. Los datos para realizar la modelación de distribución de especies permitieron analizar las variables bioclimáticas más importantes para conocer la preferencia de hábitat en distintas áreas geográficas en la actualidad y a futuro bajo los RCP 4.5 y 8.5 para cada especie. Se realizó el análisis de Jackknife el cual mostró las variables con mayor aporte de contribución, en base a ello, se discutió el cambio de distribución, áreas idóneas y las variables preferibles para cada especie, concluyendo que en un periodo de tiempo 2021-2040 la distribución de especies presentará ganancia y pérdida de área registrando un descenso de presencia de *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor* principalmente en las cuencas del noroccidente ecuatoriano, desplazando probablemente la distribución poblacional futura a las cuencas del sur de Ecuador.

Palabras clave: Cambio climático, MaxEnt, MDE, Peces de agua dulce, Ecuador, *Rhoadsia altipinna*, *Rhoadsia minor*



## **Agradecimientos**

A la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador por admitirme al posgrado en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo.

A mi director de tesis, Msg. Jonathan Valdiviezo Rivera por su apoyo y consejos en todo aspecto académicos como en lo personal.

Al Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), Museo de Zoología Universidad de Azuay (MZUA) y Colección de peces de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Esmeraldas (CEMZ), por proporcionar sus bases de datos de las especies en estudio.

A mi familia, gracias por su apoyo y confianza de cada día.





## Tabla de contenidos

Figuras y Tablas .....	11
Abreviaturas.....	13
Introducción.....	15
Marco teórico.....	19
1. Efecto del cambio climático sobre la distribución de especies dulceacuícolas .....	19
2. Conceptos teóricos de la Modelación de distribución de especies (MDE) como herramientas para la conservación.....	20
3. Factores relacionados con la distribución de Peces.....	21
4. Funcionalidad ecológica de las especies de estudio <i>Rhoadsia altipinna</i> y <i>Rhoadsia minor</i> .....	22
5. Estudios de modelamiento de distribución en peces dulceacuícolas.....	23
Capítulo segundo: Materiales y Métodos .....	27
1. Área de estudio .....	27
2. Hidrografía.....	27
3. Materiales .....	28
4. Metodología.....	28
Capítulo tercero: Resultados.....	35
1. Registro de presencia.....	35
2. Selección de variables según Jackknife.....	36
3. Correlación de variables bioclimáticas importantes .....	38
4. Validación del modelo.....	39
5. Evaluación del cambio en la distribución geográfica potencial de las especies.....	42
6. Identificación de Zonas potenciales y zonas de riesgo de acuerdo a la distribución de <i>Rhoadsia altipinna</i> y <i>Rhoadsia minor</i> .....	47
Capítulo cuarto: Discusión .....	51
Conclusiones.....	55
Lista de referencias .....	57
Anexos .....	65
Anexo 1: Listado de colecciones científicas.....	65
Anexo 2: Depuración de datos en Excel.....	66

Anexo 3: Variables Bioclimáticas de WorldClim, Actual – Futuro.....	67
Anexo 4: Base de datos usada para Modelos .....	68
Anexo 5: Validación de registros en ArcMap .....	69
Anexo 6: Ejecución de MaxEnt (versión 3.4.4) .....	70
Anexo 7: Prueba de Multicolinealidad de variables bioclimáticas mediante la Ejecución de correlación de Person (r), en Past y Excel .....	71

## Figuras y Tablas

Figura 1. Esquema de flujo para elaboración de MED.....	28
Figura 2. Presencia actual del grupo Rhoadsia A) Rhoadsia altipinna y B) Rhoadsia minor .....	36
Figura 3. Análisis AUC de los modelos de distribución .....	40
Figura 4. Análisis Jackknife de modelo de distribución.....	40
Figura 5. Análisis AUC de los modelos de distribución .....	41
Figura 6. Análisis Jackknife de modelo de distribución.....	42
Figura 7. Cambios potenciales de la distribución geográfica de Rhoadsia altipinna para el periodo 2021-2040 considerando los escenarios (A) RCP 4.5 y (B) RCP 8.5.....	44
Figura 8. Cambios potenciales de la distribución geográfica de Rhoadsia minor para el periodo 2021-2041 considerando los escenarios (A) RCP 4.5 y (B) RCP 8.5.....	46
Figura 9. Cuencas hidrográficas potenciales y Zonas de riesgo, bajo escenarios de cambio climático para Rhoadsia altipinna.....	48
Figura 10. Cuencas hidrográficas potenciales y Zonas de riesgo, bajo escenarios de cambio climático para Rhoadsia minor .....	49
Tabla 1. Valores ROC/AUC.....	32
Tabla 2. Número de registros de presencia (N) para las dos especies de Characidos ....	35
Tabla 3. Área de distribución actual de Rhoadsia altipinna y Rhoadsia minor.....	35
Tabla 4. Selección de variables importantes según Jackknife para: A) Rhoadsia altipinna y B) Rhoadsia minor.....	37
Tabla 5. Estimación de contribución e importancia de las variables bioclimáticas utilizada en MaxEnt para el modelado de R. altipinna.....	38
Tabla 6. Estimación de contribución e importancia de las variables bioclimáticas utilizada en MaxEnt para el modelado de R. minor .....	39
Tabla 7. Resultados MaxEnt- R. altipinna.....	39
Tabla 8. Resultados MaxEnt- R. minor .....	41
Tabla 9. Área de distribución de Rhoadsia altipinna bajo el escenario RCP 4.5 .....	43
Tabla 10. Área de distribución de Rhoadsia altipinna bajo el escenario RCP 8.5 .....	43
Tabla 11. Área de distribución de Rhoadsia minor bajo el escenario RCP 4.5.....	45

Tabla 12. Área de distribución de <i>Rhoadsia minor</i> bajo el escenario RCP 8.5.....	45
Tabla 13. Identificación de cuencas hidrográficas de mayor potencialidad para la presencia de <i>Rhoadsia altipinna</i> , bajo escenarios de cambio climático.....	48
Tabla 14. Identificación de cuencas hidrográficas de mayor potencialidad para la presencia de <i>Rhoadsia minor</i> , bajo escenarios de cambio climático.....	49

## Abreviaturas

MDE	Modelo de distribución de especies
RCP	Modelo Climático Regional de alta resolución
AUC	Area Under the Curve/Área bajo la curva
ROC	Receiver Operating Characteristic
FAO	Food and Agriculture Organization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
SS	Sensibilidad y Especificidad
ADP	Área de Distribución Potencial



## Introducción

El cambio climático, es una de las principales amenazas para el futuro de la biodiversidad, especialmente en los ecosistemas de agua dulce, pues perturba a los ambientes generando efectos como la migración de especies, sobreexplotación de los recursos, disminución de servicios ecosistémicos, pérdida de hábitat, degradación, desplazamiento de especies invasoras, incremento de temperatura, cambios estacionales regionales, daños en la composición y función de fuentes hídricas (Bravo, Sánchez, y Gelviz 2011, 13; Arribas et al. 2012, 82; Ramírez-Villegas et al. 2014, 10; Lara y Nieto 2017, 64; Sánchez 2018, 16).

Varios estudios científicos evalúan las respuestas y los cambios potenciales de distribución en diversos grupos de organismos ante el notable cambio climático, pues la vulnerabilidad a la que se somete una especie hace énfasis a la capacidad de respuesta y adaptabilidad ante las nuevas condiciones ambientales o climáticas (Arribas et al. 2012, 79). De hecho, Rojas (2017, 1), manifiesta que las especies de agua dulce presentan una mayor amenaza ante el cambio climático, lo cual podría enfrentarse a un riesgo de extinción, pues se estima que los hábitats de agua dulce proporcionan hábitat para más del 10% de especies animales.

De aquí radica la importancia de conocer e investigar la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos, es por ello que Di Marzio, Tortorelli, y Freyre (2003, 71), mencionan que la calidad de los ecosistemas acuáticos puede ser estimada con ayuda de la presencia de comunidades de peces, ya que son considerados indicadores ambientales, porque presentan estrés fácilmente debido a alteraciones inducidas por el ser humano.

Sin embargo, la falta de información sobre los ecosistemas acuáticos especialmente de agua dulce ha dificultado los análisis de biología, biogeografía, ecología y conservación de especies acuáticas como los peces (Domisch, Amatulli, y Jetz 2015; Rodríguez-Rey et al. 2019, 2), considerados como especies sensibilizadoras de calidad del medio acuático, porque son capaces de indicar la degradación de un ecosistema dulceacuícola (Aguilar 2005, 6).

Es imperioso realizar estudios relacionados en cuanto a distribución de peces de agua dulce bajo las condiciones de calidad de agua y cambio climático. Para ello se puede utilizar como herramienta la modelación de distribución de especies con la finalidad de

abordar programas de conservación y estimar los efectos negativos de actividades antrópicas, además, es una necesidad de nivel local y global porque permite registrar alteraciones ecosistémicas que influyen en la disminución e inclusive extinción de algunas especies (Di Marzio, Tortorelli, y Freyre 2003, 72; Castillo-Torres et al. 2017, 416; Domínguez 2017, 2).

En un medio acuático el grupo de los Characiformes son de los más predominantes en los ecosistemas dulceacuícolas ya que son el grupo de peces con la más amplia distribución geográfica e imponente diversidad en todos los ambientes posibles de agua dulce, además, son catalogadas como especies resistentes a cambios térmicos y bioacumulación de metales pesados, por ende son considerados ideales para modelos de distribución geográfica (Winemiller, Agostinho, y Pellegrini 2008, 136; Bonilla y López 2013, 70).

Además, los peces juegan un papel importante en la estructura trófica, ciclos de nutrientes e inclusive en la distribución de semillas, así mismos modifican los patrones que cumple las comunidades ya que sirven como alimento de otros organismos ya sea mamíferos, aves o reptiles lo cual al registrarse cualquier alteración en la cadena trófica o flujo de materia provocaría daños y deterioros en los ecosistemas acuáticos (Carrillo 2013, 10).

Por ello que grupos de ictiólogos o biólogos consideran la importancia de conocer una predecible distribución de hábitat de especies que cumpla con las condiciones presentes y futuras en áreas disponibles en base a: variables ambientales, demográficas (abundancia y crecimiento) o fenología ), dando prioridad a la modelación de distribución de especies (Bonilla y López 2013, 71; Comte et al. 2013, 627; Myers et al. 2017, 5), que tiene como precedencia pronosticar los posibles escenarios que serán ocupados a futuro por las especies desplazadas con respecto a los impactos del cambio climático (Savino et al. 2014, 30; Sánchez 2018, 8).

Domisch, Amatulli, y Jetz (2015), detallan que para un modelo exitoso se requiere de registro de ocurrencias y una gama de datos ambientales mismos que fueron desarrollados en los últimos años para ayudar a la modelación espacial. Este método determina la distribución potencial en el espacio y tiempo, bajo factores fisicoquímicos y variables bioclimáticas especialmente aquellas que influyen en la capacidad de dispersión de los peces a nivel regional como a escala paisajística ya que se evalúa la relación entre especie y medio ambiente (Castillo-Torres et al. 2017, 420), además permite mapear la idoneidad espacial mediante asociaciones estadísticas entre ocurrencia o ausencia usando



el modelo de máxima entropía (MaxEnt) que funciona bien aun cuando hay pocos datos o solo presencia de cualquier especie (Holder et al. 2020, 2).

Visto de esta forma, este trabajo se enfoca en predecir la distribución potencial de dos especies de peces del Orden Characiformes con base en dos escenarios de cambio climático y contestar las siguientes preguntas: ¿Cuáles serán las variables bioclimáticas más importante que determinan la distribución geográfica del *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor*, en los ecosistemas dulceacuícolas del noroeste y suroeste de los ríos de Ecuador Continental? y ¿Cuáles serán las cuencas hidrográficas idóneas a futuro que dichas especies podrían habitar?.

Para ello se enfoca en los siguientes objetivos:

#### ***Objetivo general***

- Caracterizar la distribución potencial de *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor* mediante la aplicación de modelos de distribución bajo dos escenarios de cambio climático en el presente y futuro en el occidente ecuatoriano.

#### ***Objetivos específicos***

- Modelar la distribución geográfica potencial actual y futuro en base a los escenarios de cambio climático y la preferencia de hábitat de *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor*.
- Identificar las variables bioclimáticas preferenciales que determinan la distribución de ambas especies (*Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor*).
- Ubicar y definir zonas potenciales de distribución usando el registro de ocurrencia de *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor* colectadas en los cuerpos de agua del Ecuador continental.

Existe una escasa información sobre la relación de distribución, diversidad o evolución bajo las condiciones de calidad de agua y cambio climático en peces (Dorji, Linke, y Sheldon 2020, 7), es aquí donde los Modelos de Distribución de Especies (MDE) son usados para predecir o estimar la distribución potencial de una especie. Uno de los principales grupos de peces que podrían dar respuesta a los MDE, es el género *Rhoadsia*, de la familia Characidae; linaje que mantienen una alta relación en cadenas tróficas del ecosistema de agua dulce neotropical, además dentro de un contexto socio-ambiental son considerados como sensibilizadores en la toma de decisiones en materia ambiental y

calidad del medio acuático, ya que son capaces de indicar la degradación de un sistema y/o estimar pérdidas de refugios/hábitats (Aguirre et al. 2016, 555; Cala-Cala 2019, 256).

De hecho, la distribución de *Rhoadsia* es en el occidente de Ecuador, mismo que a lo largo de los años ha registrado un gran impacto de actividades antrópicas provocando pérdida de hábitat y desplazamiento de especies en una región donde se estima que la tasa de endemismo es elevada gracias la presencia de las barreras geográficas como la Cordillera de los Andes y el Océano Pacífico (Saravia 2004, 15; Malato 2015, 1)

## Marco teórico

### 1. Efecto del cambio climático sobre la distribución de especies dulceacuícolas

El cambio climático, perturba a los ecosistemas generando efectos como la migración de especies, extinciones masivas, disminución de la dinámica de servicios ecosistémicos, pérdida de hábitat o pérdida de biodiversidad, alterando la composición y función de los ecosistemas especialmente fuentes hídricas de ecosistemas de agua dulce (Bravo, Sánchez, y Gelviz 2011, 13; Lara y Nieto 2017, 15; Sánchez 2018,17).

Se estima que los sistemas acuáticos son los más afectados pues entre los efectos que se registran, se cita como de mayor importancia al aumento de temperatura lo que está provocando disminución de oxígeno disuelto, disponibilidad de agua, eutrofización, alteración de los flujos de arroyo y cambios en la composición de comunidades de especies dulceacuícolas, precipitación y evapotranspiración (Rahel y Olden 2008, 528; Myers et al. 2017, 8; FAO 2018, 16).

De igual manera, la disponibilidad de recursos hídricos presenta impactos importantes debido al cambio climático pues las variaciones de temperatura y en precipitaciones en zonas tropicales implica alteración de los ecosistemas, en particular en la biodiversidad (Elvira et al. 2003, 117; Bravo, Sánchez, y Gelviz 2011, 14). Se considera que la elevación, productividad, disponibilidad de hábitat son algunos de los factores que afectan directamente a los organismos ya que se generan nuevas condiciones abióticas y bióticas en los ríos provocando impactos biológicos a distintas comunidades (Malato 2015, 11).

Según Espinosa (2017, 3), las poblaciones, debido al cambio climático global, están modificando su ecología y genética al tener que realizar una distribución biogeográfica que les permita continuar con su desarrollo y reproducción. De igual manera, Malato (2015, 14), menciona que la forma del cuerpo suele ser una selección importante ante la correlación de la variación de divergencia ecológica que existe entre distintas elevaciones y su distribución. Se cree que la relación biota-clima juega un papel importante en la distribución de las especies siendo muchas de estas generalistas, otras se verán obligadas a modificar su distribución en respuesta a los cambios por efectos del cambio climático

(Ehrlén y Morris 2015, 304; Bravo, Sánchez, y Gelviz 2011, 14; Myers et al. 2017, 5; Sánchez 2018, 1)

## **2. Conceptos teóricos de la Modelación de distribución de especies (MDE) como herramientas para la conservación**

Los Modelos de distribución de especies (MDE), son método que abarca representaciones cartográficas y variables que pueden ser; climáticas, geológicas o topográficas y estima distribuciones actuales y futuras con la finalidad de generar posibles planes de conservación o manejo adecuado de recursos (Lara y Nieto 2017,17). De hecho, las representaciones cartográficas que brindan los MDE, resultan idóneas entre la distribución real y futura de las especies, porque mantiene como variable dependiente a la presencia/ausencia de una especie y como variable independiente aquellas que pueden estar relacionadas al cambio climático es decir variables cuantitativas (temperatura, elevación, precipitación) (Felicísimo et al. 2012, 22; Mateo, Felicísimo, y Muñoz 2011, 218).

Los modelos de distribución también pueden ser usados para predecir los cambios de distribución bajo escenario de cambio climático en regiones susceptibles (Martínez et al. 2016, 5), pues se atribuye el cambio climático como una causa de la redistribución de poblaciones a gran escala a nivel mundial resultando en un 30-70% en latitudes altas donde las especies que habitan estas zonas son menos tolerantes a cambios ambientales por lo cual se cree que existe una disminución del 40% de distribución de especies en las zonas tropicales (Ramírez 2017, 9).

De esta manera, Felicísimo et al. (2012, 65), mencionan que realizar modelos informáticos con la finalidad de conocer los cambios del clima o escenarios plausibles en el futuro y sus efectos en la redistribución de especies, toman mayor interés en los últimos años debido a la pérdida de biodiversidad y a la importancia de implementar planes de conservación que establezca como resultado áreas prioritarias o de riesgo para el futuro de las especies., pues en la actualidad, los MDE, permiten obtener una base predictiva sobre biodiversidad, espacio y tiempo mediante la relación entre condiciones ambientales (clima, suelo, topografía, etc.) y la biología (Itla 2012, 10).

La capacidad de predecir un área de distribución de una especie resulta atrayente porque permite reflejar resultados en base a datos de registros existentes, los cuales predicen la presencia potencial de una especie en zonas (aguas) anteriormente no

muestreadas, que pueden considerarse como áreas de conservación, además, los cambios de distribución de una especie resultan preocupantes debido a las posibles variaciones climáticas a futuro, mediante la representación de mapas que representan lo adecuado o inadecuado de un área para registrar la presencia de una especie (Ramírez 2017, 11).

Los resultados que aborda una modelación de distribución en escala continua va de 0 a 1 (0: incompatible, 1: idóneo) interpretando que el área idónea (valor 1) a futuro mantiene similitud con las variables descriptivas del área de presencia actual que permiten aceptar la zona como compatible para la existencia de una especie (Felicísimo 2011, 272; Martínez et al. 2016, 30).

### **3. Factores relacionados con la distribución de Peces**

La diversidad y distribución de la ictiofauna dulceacuícola está limitada por factores geológicos, ecológicos, climáticos, la geomorfología de la cuenca, el clima, tipo de hábitat y la química del agua que son elementos que permiten condicionar la ecología de especies (Domínguez 2017, 22). De igual manera, Felicísimo et al. (2012, 34), mencionan que la reducción en la distribución actual de una especie se debe a la reducción de factores abióticos (topografía, geología y climáticos) como bióticos.

Principalmente para peces e invertebrados acuáticos las variables con mayor relación para conocer y modelar su distribución son: temperatura, nutrientes, salinidad y clorofila, se considera que una variación en estas variables podría generar modificaciones esenciales o drásticas en cuanto a la abundancia y distribución de estos grupos ya que se verá afectada su reproducción, alimentación, supervivencia y desarrollo (Ramírez 2017, 6).

De hecho, la historia evolutiva de los peces también muestran que los patrones biogeográficos condicionan el desplazamiento libre de especies dulceacuícolas (Winemiller, Agostinho, y Pellegrini 2008, 116). Pues se estima que la ecológica y la relación con la forma y función ecosistémica, provoca que los peces modifiquen el tamaño de su cuerpo para mantener la capacidad de nadar y soportar un aumento de velocidad o temperatura en distintos cuerpos de agua (Ringuelet 1975, 6; Winemiller, Agostinho, y Pellegrini 2008, 116; Malato 2015, 36).

Por ello, se ha considerado que el cambio climático (aumento de temperatura) es un factor importante en la distribución de peces pues se estima que con la alteración de los niveles de agua debido al retroceso de glaciares que suministran a los ríos, varias

especies dulceacuícolas no podrán desplazarse en búsqueda de mejores hábitats limitando su distribución ocasionando una evidente pérdida de diversidad e inclusive posibles extinciones de especies alterando la dinámica ecosistema (Tognelli et al. 2016, 37).

En base a esto se sabe que *Rhoadsia minor* y *Rhoadsia altipinna* mantienen una distribución separada en drenajes debido al volumen corporal que ambas especies presentan pues se relaciona que su tamaño varía en base a la ubicación, flujo de agua, precipitación, temperatura, pendiente del río y elevación de los cuerpos de agua en el que se presentan, también la diferencia puede darse debido al cambio en la composición de sus hábitats al observarse alteraciones o impactos en la composición de las comunidades ocasionando posibles efectos de hibridación genética (Aguirre et al. 2016, 565).

#### **4. Funcionalidad ecológica de las especies de estudio *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor***

Se sabe que el rol que cumplen los peces está relacionado con la función de transformación y transferencia de la energía, así como también son clave para el reciclaje de materia orgánica, pues se alimentan de material alóctono (hormigas, artrópodos, polen, semillas y hojas) que caen de las copas de los árboles. Adicionalmente, son controladores de poblaciones de insectos y dispersores de semillas debido a que son organismos que logran un mayor desplazamiento en los cuerpos de agua (COCASINCLAIR 2013, 46).

Desde la perspectiva más general, juegan un papel importante en la estructura trófica y ciclos de nutrientes, modificando los patrones que cumplen las comunidades ya que sirven como alimento de otros organismos ya sean mamíferos, aves, reptiles e inclusive peces de mayor tamaño (Carrillo 2013, 25). Sin duda, los peces son considerados de gran valor para los humanos pues proveen el 6% de la ingesta proteica, también son considerados como sensibilizadores en la toma de decisiones en materia ambiental y calidad del medio acuático, pues son capaces de indicar la degradación de ecosistemas dulceacuícolas (Aguilar 2005, 7).

Según Jiménez-Prado y Aguirre (2020, 46), la forma corporal de los peces puede reflejar funcionalidades ecológicas pues, los cambios en la forma del cuerpo se dan principalmente por la adaptación al hábitat en el que se encuentran, incluso se cree que la diferencia corporal es resultado de presenciar estrés ambiental y cambios entre poblaciones; adaptación que caracteriza al grupo *Rhoadsia*.

Este grupo tiene como diferencia principal el tamaño y forma corporal, pues en estudios existentes realizados acerca de la comparación morfométrica, se conoció que esta condición puede deberse al rango altitudinal, distribución geográfica o adaptación relacionada a las condiciones ambientales y gradientes de elevación en las que habitan pues se sabe que la profundidad del cuerpo disminuye a medida que aumenta la altitud como es el caso de *R. minor* que habita en altitudes superiores a 1000 msnm mantenido un cuerpo menos robusto a diferencia de *R. altipinna* que tiene preferencias de distribución en altitudes menores a 1000 msnm presentado un tamaño corporal más profundo (Aguirre et al. 2016, 555; Jiménez-Prado y Aguirre 2020, 155).

Además *Rhoadsia* mantiene hábitos alimenticios omnívoros por lo cual, se estima que al registrarse altos niveles de eutrofización o disminución de individuos provocaría que los macroinvertebrados y plantas acuáticas existentes en ríos fluctúen espacio-temporal, alterando la dinámica ecológica como la cadena trófica que siguen las especies dulceacuícolas (Rivera 2011, 7).

## **5. Estudios de modelamiento de distribución en peces dulceacuícolas**

En la actualidad obtener cualquier tipo de información disponible de varias colecciones de historia natural, herbarios o museos y presentar un proyecto de modelación de distribución de especies es más fácil debido al acceso libre que se tiene vía internet y los datos que se proporcionan; De hecho, los mapas y los registros de libre acceso hacen posible estimar el área de distribución actual de cualquier especie, identificar nuevas zonas de conservación y conocer los posibles impactos del cambio climático que alteran la distribución (Mateo, Felicísimo, y Muñoz 2011, 219).

Bonilla y López (2013, 79), mencionan que los peces dulceacuícolas son esenciales para ensayar modelos biogeográficos debido a la restricción de desplazamiento, por lo cual en su estudio exploraron la importancia de los procesos vicariantes o de dispersión de los patrones de establecimiento actuales en los que se registra a especies perteneciente al Orden Characiformes en Venezuela. La información que brinda este estudio resulta importante pues desde un punto de vista más conservador aporta soluciones a problemas de conservación de especies y recursos, ya que brinda la identificación de áreas prioritarias de diversidad biológica, además enfoca el interés en el origen y diversificación de la biota de su país.

La modelación realizada para conocer la distribución de *Psellogrammus kennedyi* (Eigenmann, 1903) en Brasil, se llevó a cabo bajo registros georreferenciados de datos en línea y colecciones zoológicas, se contó con variables bioclimáticas como temperatura y precipitación que estuvieron relacionadas con la tolerancia y biología de la especie; Se usó el modelo MaxEnt el cual fue considerado como el de mayor capacidad de precisión predictiva entre la relación de especie y medio ambiente para lo cual se obtuvo como resultado un AUC de 0.74, es decir que la especie mantiene un buen potencial de distribución en la alta cuenca de río Paraná (Ribeiro et al. 2021, 1279).

En Ecuador son escasos los estudios de distribución en especies acuáticas, sin embargo Obando y Ayala (2018, 43), realizaron un modelado de distribución para *Hoplias malabaricus* con el fin de contribuir su conservación, en base a su investigación las autoras discrepan que la distribución de la especie solo se registre en su mayoría en las cuencas del río Pastaza y Bombonaza, pues a pesar de no contar con registros en los ríos Coca, Napo y San miguel en su modelamiento si observaron que la especie también habitaría dichos ríos.

De igual manera Alexiades y Encalada (2017, 2), realizaron una investigación en conocer la distribución e idoneidad del hábitat de *Astroblepus* spp. en la cuenca del río Napo-Ecuador, ya que, se cree que su rango de distribución está disminuyendo debido a factores como: agricultura, minería ilegal, extracción de petróleo e introducción de especies exótica, la evaluación se llevó acabo teniendo variables fisicoquímicas (conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, pH) e el índice de Hábitat fluvial que proporcionaron modelos binomiales (0 a 1) que permitieron estimar la abundancia de la especie en una población normalmente distribuida, se obtuvo como resultado que *A. ubidai* reporta mayor amenaza en áreas ribereñas sin sombra, mientras que *A. vaillanti* opta por área con vegetación ribereña reducida e inclusive ausente dando como conclusión que dentro del género *Astroblepus* los hábitats para cada especie son distintos dependiendo sus necesidades y características biológicas.

Finalmente, Comte et al. (2013, 627), en su revisión literaria y algunos metanálisis que abordan los estudios realizados a nivel global en los últimos años señalan la importancia de conocer los cambios inducidos por el clima en la distribución de los peces de agua dulce, ya que se considera que existe una mayor amenaza de pérdida de biodiversidad en estos ecosistemas, entre las técnicas de modelación que estudian los escenarios de cambio climático es evidente la importancia que tiene en las últimas dos décadas pues el reporte y las alteraciones climáticas que informó el IPCC (IPCC 2021, 2)



son alarmante. De igual manera los autores detallan que la falta de estudios sobre los efectos que se presentan en especies amenazadas o de diferentes familias representa graves implicaciones pues el desconocimiento en este tema disminuye los esfuerzos por mantener áreas de conservación, así como también posibles extinciones de varias especies de agua dulce.



## Capítulo segundo

### Materiales y Métodos

#### 1. Área de estudio

La investigación tiene como referencia a la región neotropical occidental del Ecuador, pues es uno de los ecosistemas con altas tasas de endemismo (Malato 2015, 6), se encuentra en los pisos zoogeográficos Tropical Occidental, Tropical Noroccidental, y Subtropical Occidental (Albuja y Arcos 2011). Esta región registra una altitud por debajo de los 1300 m.s.n.m, mantiene un clima tropical megatérmico semi-árido, seco a semi-húmedo y húmedo, cuenta con una temperatura media de 23 °C y precipitaciones entre 500 y 1000 mm (Cartaya, Anchundia, y Mantuano 2016, 137).

El área de estudio fue delimitada en base a la distribución natural que mantiene el género *Rhoadsia*, dentro del rango altitudinal 0 a 1300 msnm; ecosistemas occidentales que mantienen una alta heterogeneidad acuática. Sin embargo, estas cuencas al momento son afectadas por la pérdida y fragmentación de hábitats pues se observa una reducción consecuente de la cobertura vegetal y recursos hídricos, además se evidencia la pérdida de conexión entre ecosistemas debido a la presencia de actividades antrópicas (Cultivos, represas, minería etc.) (Garzón-Santomaro, C., et al. 2019, 143).

#### 2. Hidrografía

De acuerdo a Barriga (2012, 88), las zonas ictiohidrográficas para la región occidental son: Intermareal (I), Santiago-Cayapas (SC), Esmeraldas (E), Guayas (G) y Catamayo (C). Además, las zonas hidrográficas costeras mantienen una compleja historia geológica ya que se encuentra dividida por grandes unidades físicas (barreras geográficas) como son: La Cordillera de los Andes que ha permitido el aislamiento de los ríos transandinos y el Océano Pacífico que ha provocado una dispersión en varios grupos de peces marinos, es por ello, se considera zona de gran biodiversidad.

### 3. Materiales

La elaboración del proyecto se llevó a cabo siguiendo el esquema de trabajo propuesto por: Mateo, Felicísimo, y Muñoz (2011, 219), donde se valida; Datos (presencia de especies, coordenadas), Variables (climáticas, físico-químicas) y Modelos (actuales y futuros) (ver figura 1).

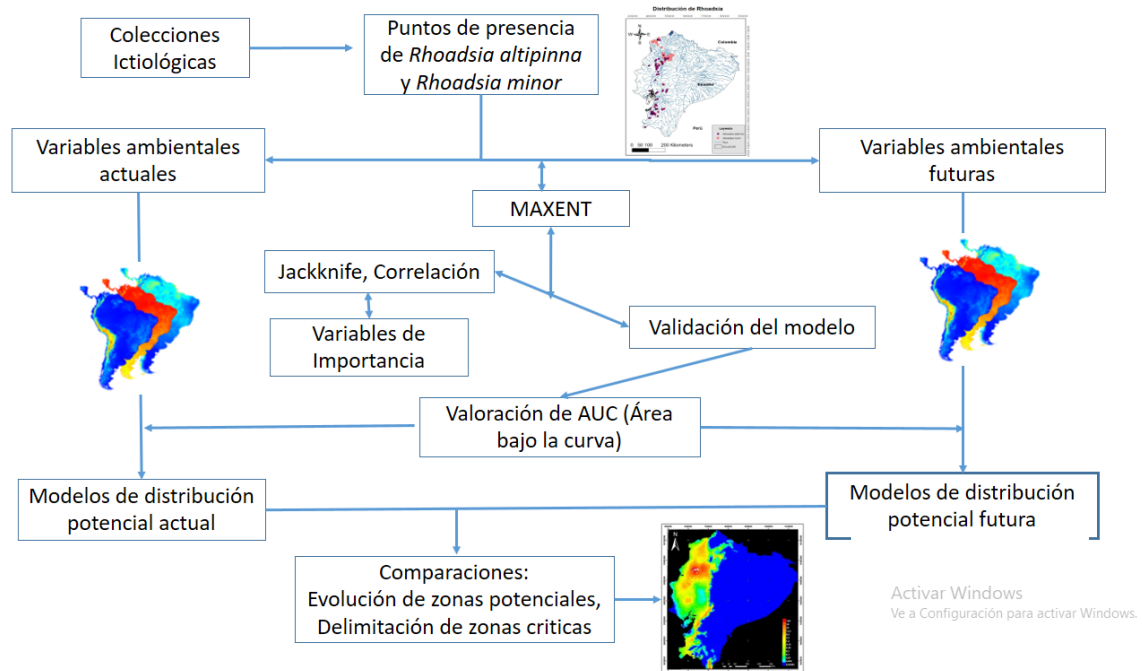


Figura 1. Esquema de flujo para elaboración de MED.

Fuente: Elaboración propia

Para la investigación se usó los siguientes materiales:

- Datos de ocurrencia de las especies
- Base de Datos de las especies
- Variables Bioclimáticas (*WorldClim 2.1*)
- Sistemas de Información Geográfica (SIG)
- Software de máxima entropía MaxEnt
- Programas estadísticos (Past, Excel)

### 4. Metodología.

#### *Recopilación y Depuración de datos de las especies*

Para el presente estudio se revisó información disponible de las siguientes fuentes de acceso: Fishnet2 y Global Biodiversity Information Facility (GBIF) que dispone con información de colecciones científicas (ver anexo 1) y de las bases de datos de la colección de ictiología del; Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), Museo de Zoología de la Universidad del Azuay (MZUA), Colección de peces de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (CEMZ) y Field Museum of Natural History (FMHN), finalmente se realizó una búsqueda de literatura relacionada con registro de la especie en los trabajos publicado por; Malato et al. 2017 y Aguirre et al. 2019.

Los datos de ocurrencia se encontraban en coordenadas geográficas expresadas en el Sistema de Referencia de Coordenadas (WGS84). Los registros georreferenciados de presencia se validaron tomando en cuenta tres elementos principales: 1) La distancia de las coordenadas con respecto al flujo de agua; 2) La localidad indicada; y 3) La distribución natural de la especie respecto a la identidad taxonómica.

Para la depuración de la información se consideró sólo aquellos datos útiles que permiten mapear la ocurrencia de la especie de interés, para ello se editó en Microsoft EXCEL, filtrando la información dejando solo tres campos fijos correspondientes a: Nombre de la especie, Longitud y Latitud (ver anexo 4), alcanzando una amplia variedad de datos sumado un total de: 88 registro para *R. altipinna* y 50 para *R. minor*, el documento fue previamente guardado en formato “Delimitado por comas (csv)” (ver anexo 2).

### ***Sistemas de Información Geográfica (SIG)***

Una vez depurados los registros de presencia de cada especie se proyectaron en un mapa, en el cual para el análisis de datos georreferenciados se usó el software libre ArcMap (10.5) que realiza mapas mediante el manejo de datos geográficos, usando además, complementos que permiten realizar modelos de nichos ecológicos y distribución de especies a través del algoritmo MaxEnt («QSDM | Conservation Ecology» 2014; Navarrete 2019, 43).

Los datos depurados fueron ingresados en el sistema de información geográfico ArcMap 10.5 para corroborar y detectar posibles errores en cuanto a localidades de observación utilizando capas de Aguas continentales de DIVA-GIS y Sistema Nacional de Información (ver anexo 5).

Una vez ingresados los datos se verificó que estén dentro del área de estudio y altitudes correspondientes es decir se realizó el ajuste geográfico y corroboración de localidades, pues se sabe que la distribución actual de las especies se encuentra entre 0 a 1300 m.s.n.m y es donde de donde se tiene registros de ocurrencias de las especies.

### ***Clasificación de Variables***

La información disponible de variables físico-químicas, topográficas, o biológicas en cuanto a recursos hídricos a nivel nacional es escasa, o de difícil acceso lo que impide generar capas climáticas para desarrollar MDE. Sin embargo, existen plataformas que manejan variables netamente medioambientales (e.g. temperatura y precipitación) como WorldClim, con las cuales se podría realizar modelos de distribución en sistemas dulceacuícolas. En este mismo contexto, Rojas (2017, 23), menciona que las variables medioambientales o climáticas disponibles en esta plataforma son consideradas idóneas para la realización de MDE en peces.

De hecho, la temperatura y precipitación son variables esenciales para el desarrollo de aspectos ecológicos como: migraciones, desove, crecimiento y desplazamientos; de igual manera resultan ser contraproducentes ya que son los responsables de alterar el metabolismo en organismos acuáticos y la variedad estacional (sequías e inundaciones) (Rojas 2017, 23; Gallien et al. 2010, 337; Rodríguez-Rey et al. 2019, 8).

### ***Variables Bioclimáticas actuales***

Para la elaboración de MDE se usaron variables bioclimáticas disponibles en la versión más actualizada de (WorldClim 2021) que es un sitio web de libre acceso que contienen datos meteorológicos y climáticos a nivel regional y global en alta resolución espacial a varias escalas en las que incluye ríos, drenajes, acumulación de flujo y límites de cuencas hidrográficas, generando 19 variables bioclimáticas (WorldClim 2021) con una resolución de 30 segundos (1 km<sup>2</sup>) en formato ráster para *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor*, de la cuales se generó capas ambientales para elaborar el modelo ecológico de distribución de las especies (anexo 3).

### ***Variables Bioclimáticas a futuro***

La selección de datos climáticos futuros se obtuvo de WorldClim 2- Datos climáticos futuros, a una resolución de 30 segundos (1 km<sup>2</sup>); Los valores mensuales disponibles son promediados a periodos de tiempo de 20 años (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100) (WorldClim 2021).

Para la selección de escenario de cambio climático el RCP 2.6 no fue incluido ya que dicho escenario muestra un descenso en cuanto a niveles de concentración para los próximos 100 años, mientras que los RCP 4.5 y 8.5 mantiene una tendencia en aumento lo cual mantiene una situación más real, ya que RCP 4.5 para el 2021, presenta elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> de 500-600 ppm y un aumento de la temperatura que es 2.4 °C, mientras que RCP 8.5 representa las más altas concentraciones de gases de efecto invernadero debido a la actividades antrópicas y crecimiento poblacional, proyectando concentraciones de CO<sub>2</sub> de ~900 ppm y con un aumento de temperatura media de 4.2° a 5.0 °C para los futuros años (Charre-Medellín, Mas, y Chang-Martínez 2019, 28).

### ***Ejecución del modelo en MaxEnt***

Se desarrolló los MDE usando el software de máxima entropía MaxEnt (versión 3.4.4). La selección de usar el programa MaxEnt se llevó a cabo debido a las ventajas que sobresalen sobre otros programas (BIOCLIM, GAP, GLMs o GARP), ya que requiere los siguientes datos 1) presencia u ocurrencia de una especie, 2) superficie de interés del estudio y 3) variables bioclimáticas del área de interés además demuestra un buen desempeño incluso cuando el número de muestra es pequeño (<30), y conserva una fuerte estadística para discriminar cualquier vacío en el análisis, además reduce la sobreestimación de áreas geográficas (Itla 2012, 11; Mejía, Tonón, y Abad 2018, 26; Navarrete 2019, 12) (ver anexo 6). El software fue cargado con variables bioclimáticas, y con registros de presencia (coordenadas en formato Excel, CSV) de las dos especies en estudio, pero cada una por separado (ver anexo 4).

MaxEnt proyecta tres tipos de salida: Raw, Acumulativa y Logística cada una tiene diferentes escalas. Para el presente trabajo se usó el formato de salida logístico el cual permite asignar un valor de predicción sobre la probabilidad de presencia a las

especies bajo la curva (AUC) que van entre 0 a 1; Donde se considera que la probabilidad de presencia es cuando el valor es más cercano a 1 (presencia), mientras que el valor mínimo 0 (ausencia) se registra como la ausencia de una especie (Chetan, Praveen, y Vasudeva 2014, 95; Sánchez 2018, 24).

### ***Análisis estadísticos***

Se usó la prueba de Jackknife la cual permitió corregir el sesgo de estimación y valorar la importancia de contribución de las 19 variables bioclimáticas para modelar la distribución predictiva de *R. altipinna* y *R. minor*. También se realizó la correlación de Person para examinar la correlación cruzada, teniendo en cuenta a aquellas variables que presentaron valores entre -0.85 y 0.85, excluyendo a aquellas con menor importancia de permutación para la elaboración del modelo (Yang et al. 2013, 86; Holder et al. 2020, 4).

### ***Validación del modelo***

La validación del modelo tomó en cuenta métricas como: Área bajo la curva ROC/AUC con valores mayores a 0.7 ya que consideran como modelos potencialmente útiles (ver tabla 1), error de omisión y comisión con valores de cero (0) y se tomó en cuenta al umbral de corte “Igual sensibilidad y especificidad” (Equal training sensitivity and specificity (SS)), ya que maximiza los aciertos y minimiza el valor absoluto, además disminuye los errores de omisión y comisión, pues produce resultados más ajustados al modelo y es el método más usado para especies con una distribución restringida, y con datos que puedan estar sesgados o ser erróneos (Liu et al. 2005, 386; Mercado, Wallace, y López-Strauss 2010, 125; Varela et al. 2014, 51).

Tabla 1.  
**Valores ROC/AUC**

<b>VALOR</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>
> 0.9	Alta precisión
0.8 a 0.7	Buena precisión
< 0.5	Mala precisión

Fuente: (Itla 2012,15; Ramírez 2017, 35; Navarrete 2019, 16; Mejía, Tonón, y Abad 2018, 26)  
Fuente y Elaboración: Propias



### ***Evaluación del cambio en la distribución geográfica potencial de las especies***

La evaluación de escenarios climáticos para *R. altipinna* y *R. minor* y su proyección del área geográfica, se realizó mediante el uso del sistema de información geográfico ArcMap versión 10.3, en el cual se elaboró los MDE actual y futura en base a las salidas binarias es decir los valores de 0 (ausencia) y 1 (presencia). Este análisis permitió comparar ganancia y pérdida de área de distribución entre los resultados de los MDE ya que se identifica: 1) el área de distribución potencial actual de la especie, 2) el área donde existe pérdida de presencia, y 3) las zonas donde se gana el área de distribución potencial a futuro de las especies. Cada mapa fue elaborado en ArcMap (10.3).



## Capítulo tercero

### Resultados

#### 1. Registro de presencia

Se obtuvo un total de 138 registros de presencia para las especies de characidos. Los registros no se distribuyeron de manera equitativa entre las especies. El 64% correspondió a *Rhoadsia altipinna*, mientras que para *Rhoadsia minor* se obtuvo el 36% (ver tabla 2).

Tabla 2.  
Número de registros de presencia (N) para las dos especies de Characidos

Especie	Nombre común	Registros de presencia (N)
<i>Rhoadsia altipinna</i>	Sardina	88
<i>Rhoadsia minor</i>	Sardina	50

Fuente y Elaboración: Propias

La distribución actual se obtuvo en base a las ocurrencias del grupo *Rhoadsia* que fueron registradas durante años anteriores en el occidente ecuatoriano, en base a ello se obtuvo que *Rhoadsia altipinna* fue la especie con mayor número de datos (n=88) cubriendo una superficie de 12045 ha, a diferencia de *Rhoadsia minor* que cuenta con menos registros (n=50) y se encuentra distribuida en 4653 ha (ver tabla 3 y figura 2).

Tabla 3.  
Área de distribución actual de *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor*

Especie	Área
<i>Rhoadsia altipinna</i>	12045
<i>Rhoadsia minor</i>	4653

Fuente y Elaboración: Propias

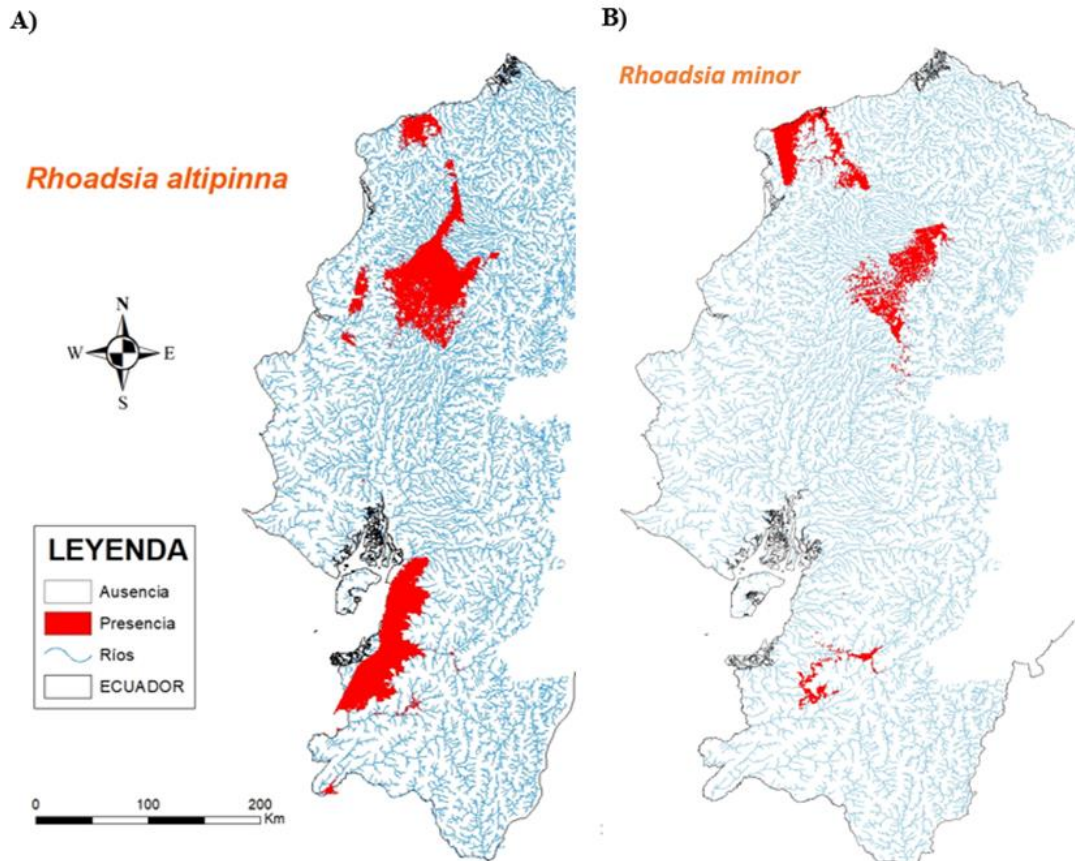


Figura 2. Presencia actual del grupo *Rhoadsia* A) *Rhoadsia altipinna* y B) *Rhoadsia minor*  
Fuente y Elaboración: Propias

## 2. Selección de variables según Jackknife

En base a la prueba de predicción del modelo y el análisis estadístico Jackknife, se seleccionaron las variables porcentuales para estimar la influencia de cada variable ambiental en la ocurrencia de *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor*.

Mediante la ejecución del programa MaxEnt se analizó la importancia de permutación y contribución porcentual en relación a la distribución de *Rhoadsia altipinna*, se obtuvo que las variables con mayor contribución son: Precipitación del mes más seco (BIO14), Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16), Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6) (BIO07), Intervalo medio diurno (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima)) (BIO02) y Precipitación del trimestre más cálido (BIO18), por otra parte Temperatura Media del Cuarto Más Seco (BIO9) obtuvo una medida de cero por lo cual se eliminó en el modelo (ver tabla 4A).

Para *Rhoadsia minor* las variables de mayor contribución fueron: Temperatura mínima del mes más frío (BIO6), Precipitación del trimestre más frío (BIO19) y Precipitación del Trimestre Más Seco (BIO17), mientras que Temperatura máxima del

mes más cálido (BIO05), Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10) y Temperatura media del trimestre más frío (BIO11) con predicción de cero fueron eliminadas (ver tabla 4B).

Este proceso se realizó para evitar descartar variables que pudieran ser no importantes en la distribución de la especie y aplicación del modelo.

Tabla 4.  
Selección de variables importantes según Jackknife para: A) *Rhoadsia altipinna* y B) *Rhoadsia minor*

A)			B)		
Variable	Contribución porcentual	Importancia de la permutación	Variable	Contribución porcentual	Importancia de la permutación
bio_14	32	2.6	bio_06	35.8	0.9
bio_16	13.9	12.5	bio_19	30.4	13.9
bio_07	12.7	2.1	bio_17	22.5	15.2
bio_02	10.3	6	bio_04	3.1	5.4
bio_18	10.3	10.4	bio_03	1.6	11.5
bio_13	5.1	6.2	bio_08	1.2	26.5
bio_06	4.8	3.5	bio_18	1.2	0.1
bio_04	4.3	5	bio_12	0.8	1.8
bio_03	1.9	2.8	bio_01	0.7	0.1
bio_05	0.9	13.2	bio_13	0.7	9.2
bio_19	0.8	8	bio_07	0.7	0.2
bio_12	0.8	1	bio_14	0.5	12.7
bio_17	0.7	4.8	bio_02	0.3	0
bio_10	0.7	0.4	bio_09	0.2	0.1
bio_15	0.5	20.3	bio_16	0.1	0.2
bio_08	0.2	0	bio_15	0.1	1.1
bio_01	0.1	0	bio_05	0	1
bio_11	0.1	1.1	bio_10	0	0
bio_09	0	0	bio_11	0	0

Fuente: MaxEnt

Elaboración: Daysi Gualavisi-Cajas

### 3. Correlación de variables bioclimáticas importantes

Con los programas Past y Excel y tomando en cuenta el estadístico  $r \leq$  (coeficiente de correlación de Pearson), se analizó la multicolinealidad de las 19 variables bioclimáticas descartando a aquellas que tienen valores entre -0.85 y 0.85 por mantener una alta correlación permitiendo eliminar la redundancia entre ellas (ver anexo 7).

Para *R. altipinna* se encontró que las variables con mayor contribución porcentual y no correlacionadas son: Rango medio diario (Media de la (maxtemp - min temp) mensual) (bio\_02), Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100) (bio\_04), Temperatura mínima del mes más frío (bio\_06), Rango anual de temperaturas (BIO5-BIO6) (bio\_07), Precipitación del mes más seco (bio\_14), Estacionalidad de la precipitación (como coeficiente de variación) (bio\_15), Precipitación del trimestre más húmedo (bio\_16) y Precipitación del trimestre más frío (bio\_19) (ver tabla 5).

Tabla 5.  
Estimación de contribución e importancia de las variables bioclimáticas utilizada en MaxEnt para el modelado de *R. altipinna*

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Precipitación del trimestre más húmedo (bio_16)	32.7	14.6
Precipitación del mes más seco (bio_14)	29.7	34.5
Temperatura mínima del mes más frío (bio_06),	21.2	14.2
Rango medio diario (Media de la (maxtemp - min temp) mensual) (bio_02)	9.6	19.4
Precipitación del trimestre más frío (bio_19)	3	11.5
Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100) (bio_04)	1.7	1.9
Rango anual de temperaturas (BIO5-BIO6) (bio_07),	1.2	2.1
Estacionalidad de la precipitación (como coeficiente de variación) (bio_15)	1	1.8

Fuente: MaxEnt

Elaboración: Daysi Gualavisi-Cajas

Para *R. minor* las variables no correlacionadas y con mayor contribución porcentual fueron: Temperatura mínima del mes más frío (bio\_06), Rango anual de temperaturas (BIO5-BIO6) (bio\_07), Precipitación del mes más húmedo (bio\_13), Estacionalidad de

la precipitación (como coeficiente de variación) (bio\_15), Precipitación del trimestre más seco (bio\_17) y Precipitación del trimestre más frío (bio\_19) (ver tabla 6).

Tabla 6.

**Estimación de contribución e importancia de las variables bioclimáticas utilizada en MaxEnt para el modelado de *R. minor***

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Temperatura mínima del mes más frío (bio_06)	32.4	7.5
Rango anual de temperaturas (BIO5-BIO6) (bio_07)	25.1	2.1
Precipitación del trimestre más seco (bio_17)	22.6	55.6
Precipitación del trimestre más frío (bio_19)	17.9	24.5
Precipitación del mes más húmedo (bio_13)	1.1	6.8
Estacionalidad de la precipitación (como coeficiente de variación) (bio_15)	0.9	3.6

Fuente: MaxEnt

Elaboración: Daysi Gualavisi-Cajas

#### 4. Validación del modelo

Mediante la ejecución de MaxEnt, el mejor modelo esperado para *R. altipinna* es la réplica 3 ya que el análisis ROC tiene un valor de AUC de 0.86, además se tomó en cuenta la tasa de omisión de entrenamiento y tasa de omisión de prueba que presenta valores de cero (0), lo cual especifica que ningún registro ha sido omitido (ver tabla 7).

Tabla 7.

**Resultados MaxEnt- *R. altipinna***

Especies	Training AUC	Minimum training presence training omission	Minimum training presence test omission
Rhoalti_0	0.8748	0	0.2353
Rhoalti_1	0.8393	0	0
Rhoalti_2	0.8217	0	0.0588
Rhoalti_3	0.8612	0	0
Rhoalti_4	0.8153	0	0
Rhoalti (average)	0.8425	0	0.0588

Fuente: MaxEnt

Elaboración: Daysi Gualavisi-Cajas

La validación del modelo en base a los estadísticos Área Bajo la Curva (AUC) arrojaron un valor probabilístico de 0.86 (línea azul), indicando la alta precisión y

confidencialidad que posee el modelo en base a la distribución potencial de *Rhoadsia altipinna*, pues este resultado es muy cercano al valor máximo posible que es 1. De igual manera el valor de prueba que obtuvo el modelo fue un AUC de 0.83 (ver figura 3).

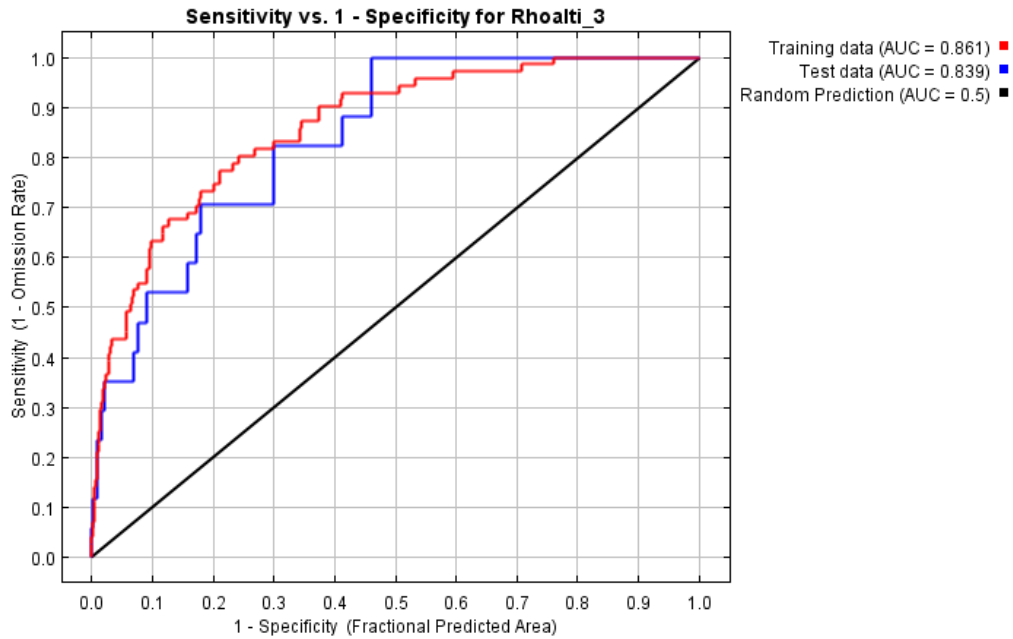


Figura 3. Análisis AUC de los modelos de distribución  
Fuente y Elaboración: MaxEnt

Además, se observó que la variable más importante para la presencia de la especie es: Precipitación del trimestre más húmedo (bio\_16) con una contribución al modelo final de 32.7 % (ver figura 4).

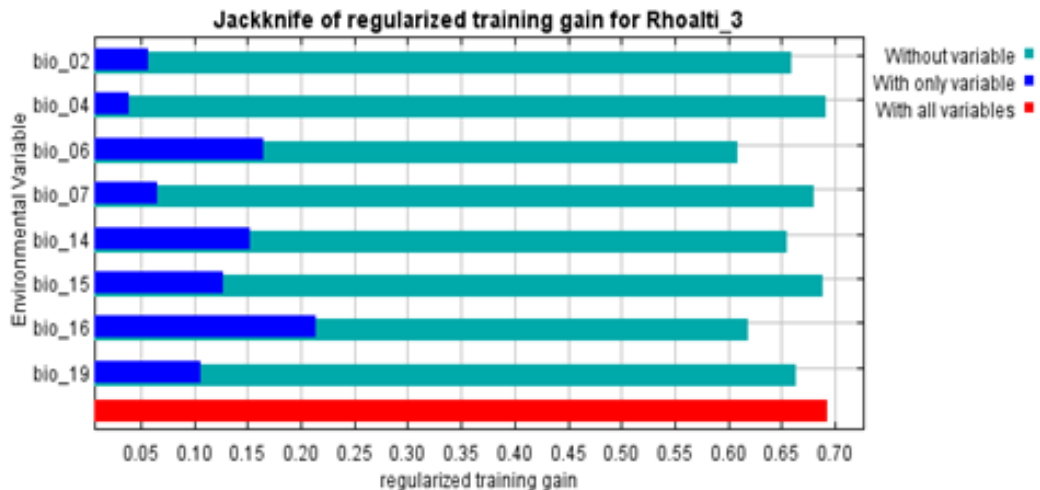


Figura 4. Análisis Jackknife de modelo de distribución  
Fuente y Elaboración: MaxEnt



De igual manera para *R. minor* el mejor modelo esperado fue la réplica 1 ya que el análisis ROC muestra valores de AUC de 0.94 y tasa de omisión de entrenamiento y tasa de omisión de prueba con valores de cero (0,) lo cual especifica que ningún registro ha sido omitido (ver tabla 8).

Tabla 8.  
Resultados MaxEnt- *R. minor*

Species	Training AUC	Minimum training presence training omission	Minimum training presence test omission
Rhomin_0	0.934	0	0
Rhomin_1	0.940	0	0
Rhomin_2	0.918	0	0
Rhomin_3	0.909	0	0
Rhomin_4	0.927	0	0
Rhomin (average)	0.926	0	0

Fuente: MaxEnt

Elaboración: Daysi Gualavisi-Cajas

La validación del modelo en base a los estadísticos Área Bajo la Curva (AUC) arrojaron un valor probabilístico de 0.94 (línea azul), indicando la alta precisión y confiabilidad que posee el modelo en base a la distribución potencial de *Rhoadsia altipinna*, pues este resultado es muy cercano al valor máximo posible que es 1. De igual manera el valor de prueba que obtuvo el modelo fue un AUC de 0.89 (ver figura 5).

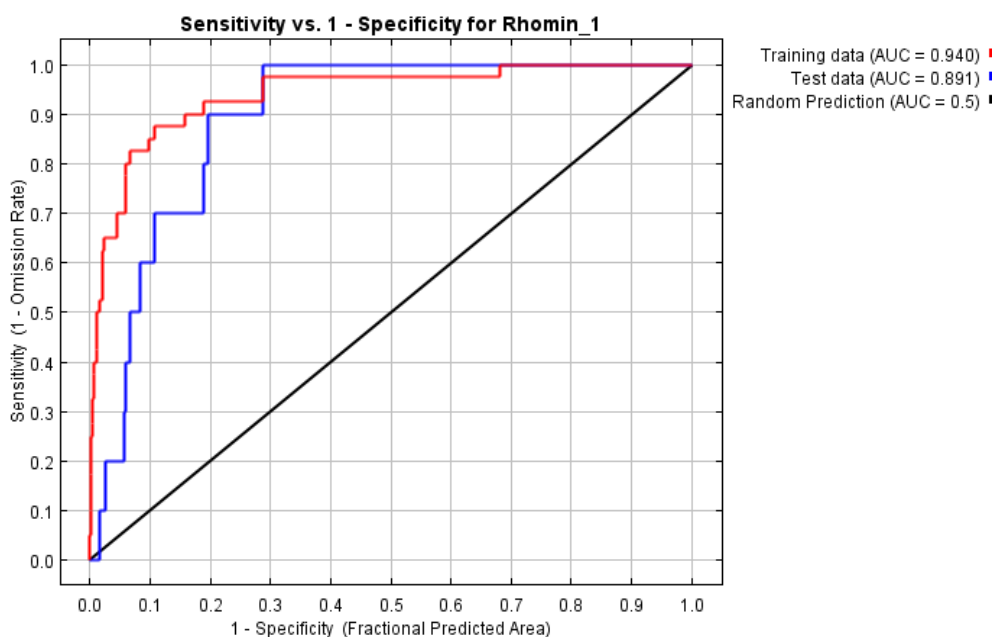


Figura 5. Análisis AUC de los modelos de distribución

Fuente: MaxEnt

Además, se observó que la variable más importante para la presencia de la especie es: Temperatura mínima del mes más frío (bio\_06) con una contribución al modelo final de 32.4 % (ver figura 6).

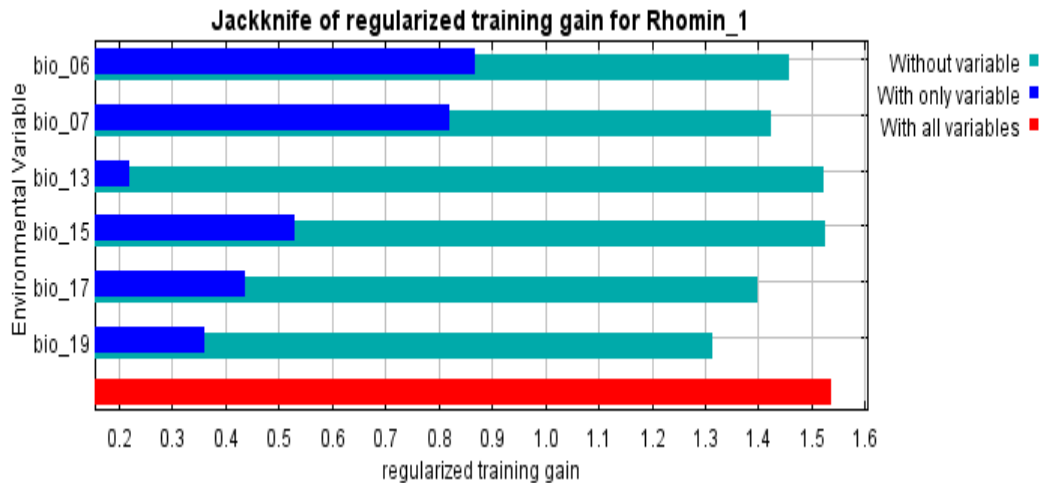


Figura 6. Análisis Jackknife de modelo de distribución  
Fuente y Elaboración: MaxEnt

## 5. Evaluación del cambio en la distribución geográfica potencial de las especies

En base a las evaluaciones y ejecución de los modelos generados, los MDE para cada especie muestran diferentes cambios en la distribución potencial actual y a futuro mediante los dos escenarios de cambio climático. Se observa que para las dos especies de *Rhoadsia* el área de distribución potencial disminuye en el periodo 2021 – 2040.

En el caso de *Rhoadsia altipinna* se registra pérdida de áreas de distribución potenciales para los dos escenarios climáticos A) 4.5 y B) 8.5 RCP (ver figura 7). Los resultados de modelación bajo los escenarios climáticos fueron categorizados en tres áreas: Área Potencial Pérdida (presencia de la especie en el pasado, pero no en el futuro), Área Potencial Ganada (áreas idóneas en el futuro, posibilidad de registrar la especie) y Área Potencial Estable (registra la especie en el presente y en el futuro).

Bajo el escenario RCP 4.5, se observa una pérdida de área de distribución, pues el área potencial pérdida en el futuro es de 7288 ha, el área potencial ganada en el futuro ocupa 6280 ha, y finalmente el área potencial estable predicha para el futuro reduce significativamente cubriendo un área de 4757 hectáreas (ver tabla 9).

Tabla 9.  
**Área de distribución de *Rhoadsia altipinna* bajo el escenario RCP 4.5**

<b>Escenario</b>	<b>Área</b>
Área Potencial Pérdida	7288
Área Potencial Ganada	6280
Área Potencial Estable	4757

Fuente y Elaboración: Propias

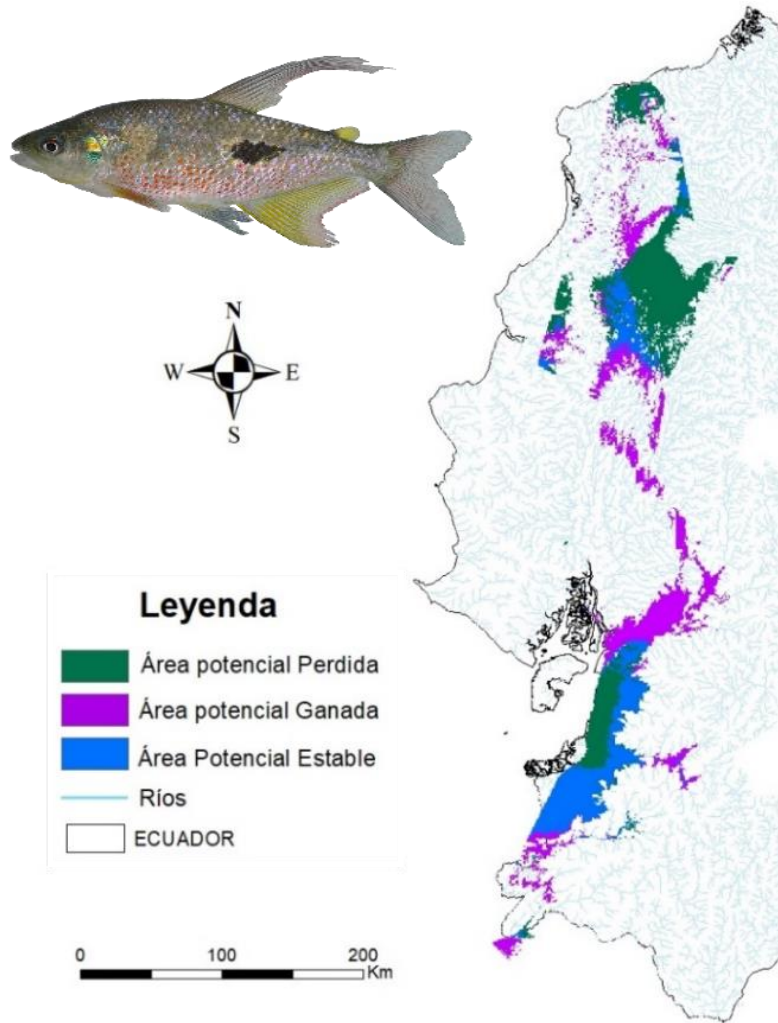
Para el escenario RCP 8.5, se observa una pérdida de área de distribución, el área potencial pérdida en el futuro será de 10312 ha, el área potencial ganada en el futuro ocupa 3336 ha, y finalmente el área potencial estable predicha para el futuro reduce significativamente cubriendo un área de 1733 hectáreas (ver tabla 10).

Tabla 10.  
**Área de distribución de *Rhoadsia altipinna* bajo el escenario RCP 8.5**

<b>Escenario</b>	<b>Área</b>
Área Potencial Pérdida	10312
Área Potencial Ganada	3336
Área Potencial Estable	1733

Fuente y Elaboración: Propias

A)



B)

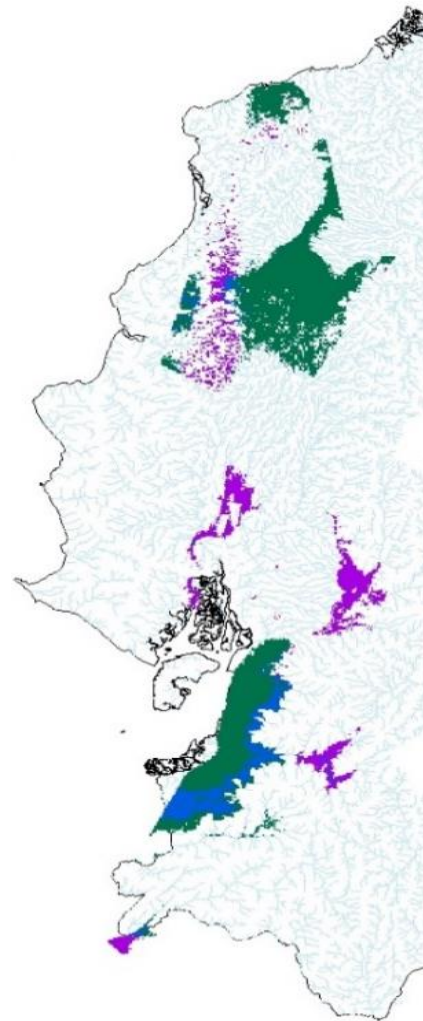


Figura 7. Cambios potenciales de la distribución geográfica de *Rhoadsia altipinna* para el periodo 2021-2040 considerando los escenarios (A) RCP 4.5 y (B) RCP 8.5.

Fuente y Elaboración: Propias

En el caso de *Rhoadsia minor* se registra pérdida de áreas de distribución potenciales para los dos escenarios climáticos A) 4.5 y B) 8.5 RCP (ver figura 8A, B). Bajo el escenario RCP 4.5, la modelación de distribución potencial presenta una pérdida de área de distribución, pues el área potencial pérdida en el futuro será de 1956 ha, el área potencial ganada en el futuro ocupa 4114 ha, y finalmente el área potencial estable predicha para el futuro reduce significativamente cubriendo un área de 2697 hectáreas (ver tabla 11).

Tabla 11.  
**Área de distribución de *Rhoadsia minor* bajo el escenario RCP 4.5**

<b>Escenario</b>	<b>Área en hectáreas</b>
Área Potencial Pérdida	1956
Área Potencial Ganada	4114
Área Potencial Estable	2697

Fuente y Elaboración: Propias

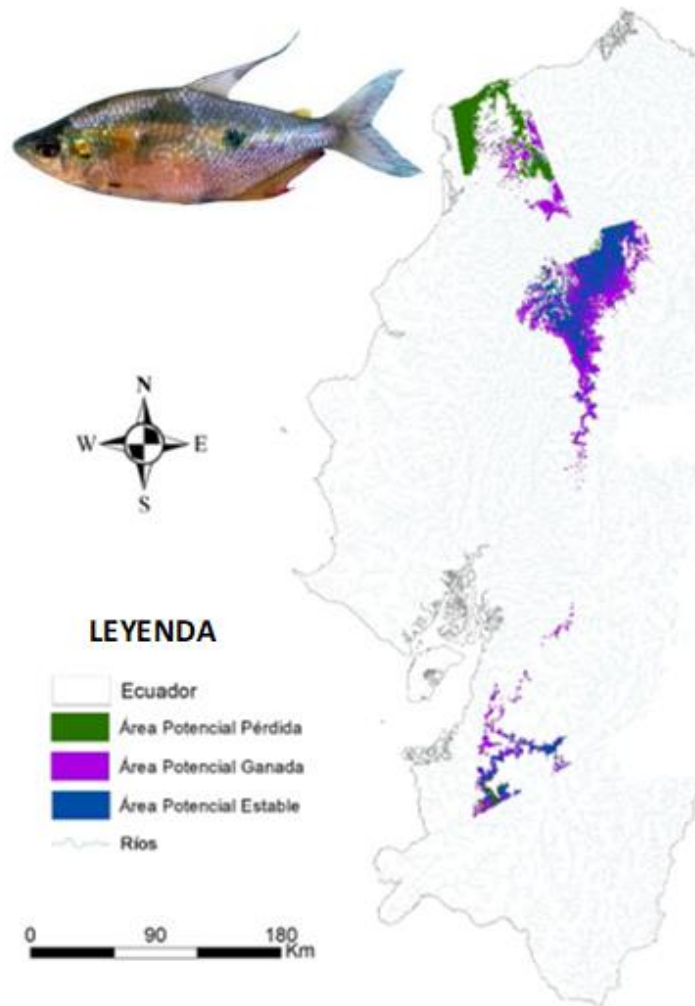
Para el escenario RCP 8.5, se observa una pérdida de área de distribución, el área potencial pérdida en el futuro será de 3365 ha, el área potencial ganada en el futuro ocupa 2098 ha, y finalmente el área potencial estable predicha para el futuro reduce significativamente cubriendo un área de 1288 hectáreas (ver tabla 12).

Tabla 12.  
**Área de distribución de *Rhoadsia minor* bajo el escenario RCP 8.5**

<b>Escenario</b>	<b>Área</b>
Área Potencial Pérdida	3365
Área Potencial Ganada	2098
Área Potencial Estable	1288

Fuente y Elaboración: Propias

A)



B)

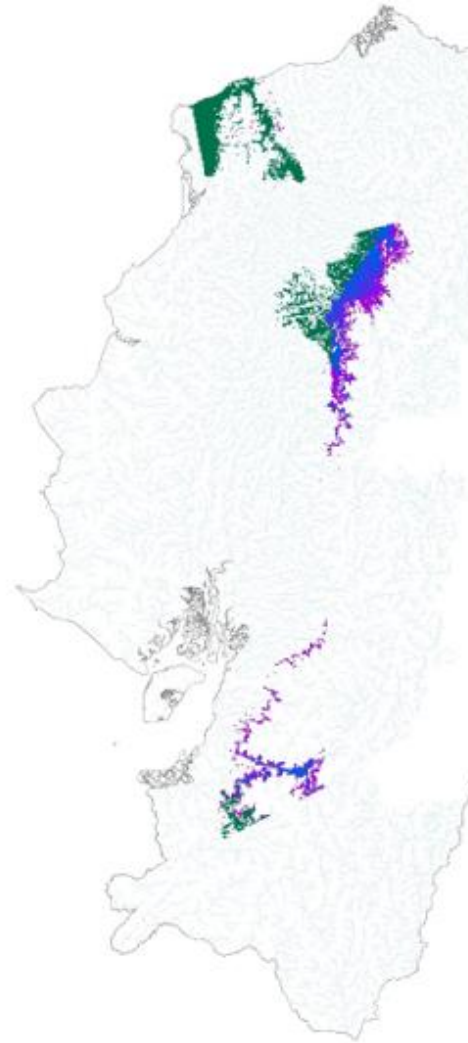


Figura 8. Cambios potenciales de la distribución geográfica de *Rhoadsia minor* para el periodo 2021-2041 considerando los escenarios (A) RCP 4.5 y (B) RCP 8.5.

Fuente y Elaboración: Propias

## **6. Identificación de Zonas potenciales y zonas de riesgo de acuerdo a la distribución de *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor***

La distribución de las especies no fue homogénea a nivel de cuencas hidrográficas. Se evidencio que las especies tendrán desplazamientos hacia áreas potencialmente estables, pues se registró que para el futuro la riqueza de *R. altipinna* se encontrará en mayor proporción en 14 cuencas (ver tabla 13) del sur de Ecuador, mientras que las cuencas noroccidentales bajo los escenarios de cambios climáticos no cumplirán las condiciones ambientales adecuadas para la presencia de la especie (figura 9).

Por otra parte, *R. minor* demostró que las áreas potenciales estables se ubican en cinco cuencas (ver tabla 14), distribuidas en dos de las cuencas más grandes y tres en las cuencas del sur de Ecuador, mientras que bajo los escenarios de cambio climático las cuencas noroccidentales no cumplirán las condiciones ambientales adecuadas por lo cual se consideran como área potencial pérdida (figura 10).

Tabla 13.  
**Identificación de cuencas hidrográficas de mayor potencialidad para la presencia de *Rhoadsia altipinna*, bajo escenarios de cambio climático.**

Código	Sistema Hidrográfico	Cuenca
52	Guayas	Río Guayas
56	Naranjal-Pagua	Río Naranjal
57		Río San Pablo
58		Río Jagua
59		Río Balao
60		Río Gala
61		Río Tenguel
62		Río Siete
63		Río Pagua
64	Jubones	Río Jubones
65	Santa Rosa	Estero Motuche
66	Santa Rosa	Río Santa Rosa
67	Arenillas	Río Arenillas
68	Zarumilla	Río Zarumilla

Fuente y Elaboración: Propias

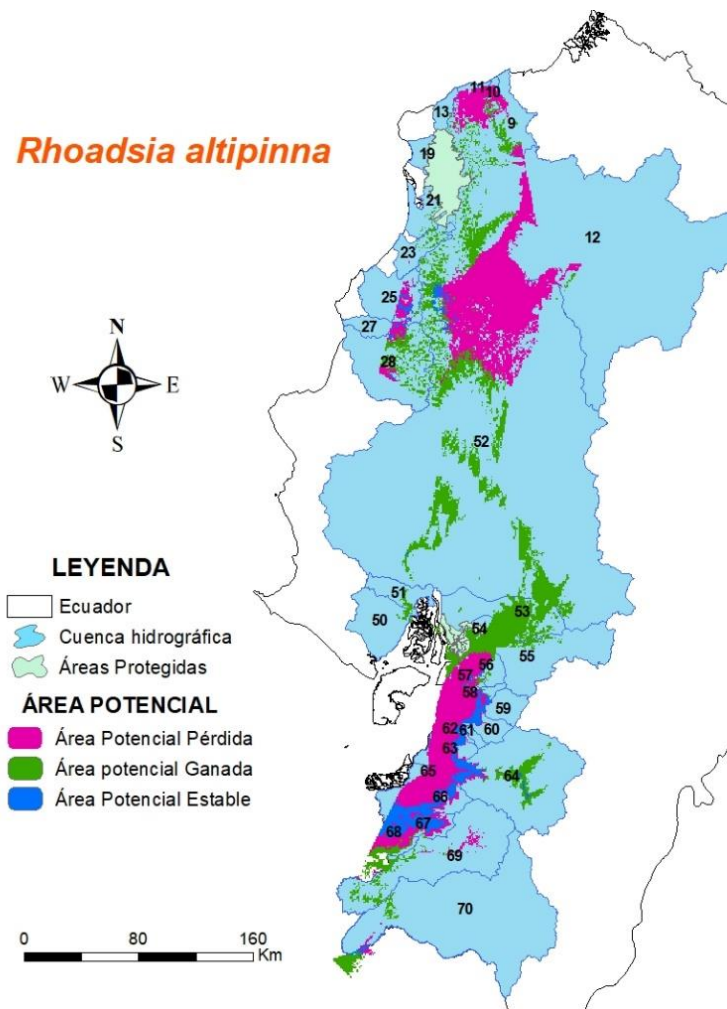


Figura 9. Cuencas hidrográficas potenciales y Zonas de riesgo, bajo escenarios de cambio climático para *Rhoadsia altipinna*  
Fuente y Elaboración: Propias



Tabla 14.  
**Identificación de cuencas hidrográficas de mayor potencialidad para la presencia de *Rhoadsia minor*, bajo escenarios de cambio climático.**

Código	Sistema Hidrográfico	Cuenca
3	Río Esmeraldas	Esmeraldas
13	Río Guayas	Guayas
23	Río Jubones	Jubones
25	Río Santa Rosa	Santa Rosa
27	Río Puyango	Puyango

Fuente y Elaboración: Propias

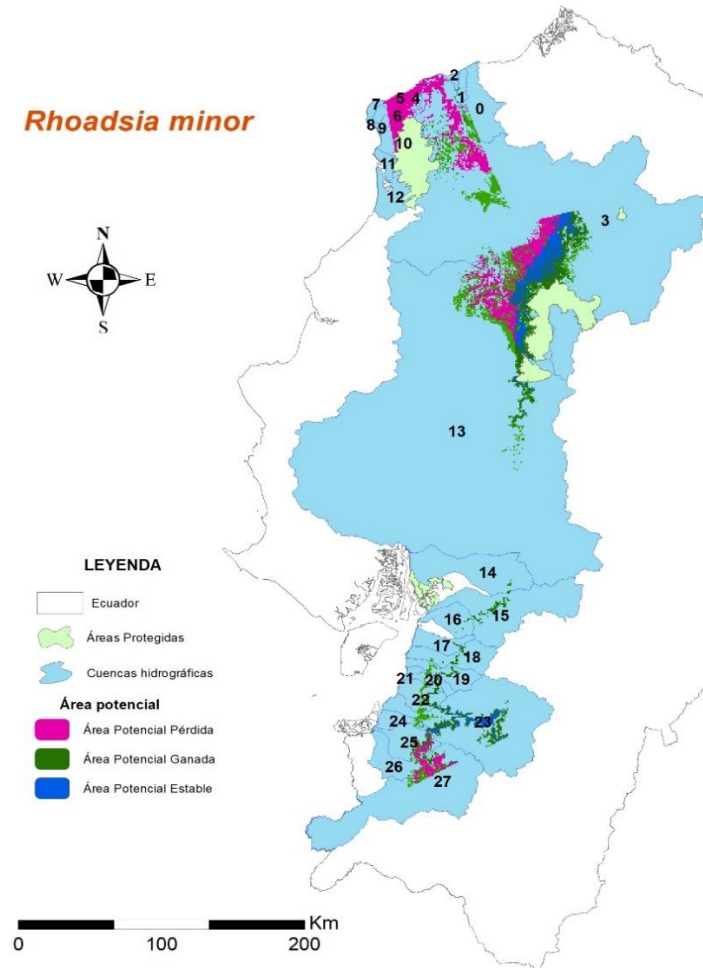


Figura 10. Cuencas hidrográficas potenciales y Zonas de riesgo, bajo escenarios de cambio climático para *Rhoadsia minor*  
Fuente y Elaboración: Propias



## Capítulo cuarto

### Discusión

A pesar de haber obtenido un número relativamente bajo de registros de ocurrencias (n=138), se generó modelos precisos de distribución para los peces de agua dulce. En el trabajo realizado por Castillo-Torres et al. (2017, 418), obtuvieron modelos significativamente fiables y óptimos con (n=46) datos de ocurrencia. Adicionalmente Phillips y Dudík (2008, 173), con (n=21) enuncian que aun contando con pocos registros de presencia es viable obtener predicciones explicativas. Esto demuestra que aun contando con una cantidad limitada de puntos de ocurrencia se puede obtener modelos altamente confiables.

Las variables bioclimáticas usadas para modelar a *R. altipinna* y *R. minor* con mayor influencia fueron: Precipitación y temperatura; resultados que concuerdan con Ribeiro et al. (2021, 1281) y (McNyset 2005, 248) quienes mencionan que la Temperatura y precipitación son las variables con mayor contribución para estimar áreas idóneas con mayor predicción y precisión para peces de agua dulce. Por otra parte, Chu, Mandrak, y Minns (2005, 301), difieren con estas afirmaciones, pues exponen que la humedad, velocidad, profundidad, elevación o evaporación son variables más influyentes en la distribución de peces e invertebrados. Cabe mencionar que trabajos realizados a nivel mundial respecto a distribución potencial para peces dulceacuícola usan variables bioclimáticas, sin embargo, también se podría modelar con variables como: conductividad, flujo de agua, tamaño de caudales entre otros que resultan prioritarias para ecosistemas dulceacuícolas (Ramirez-Villegas et al. 2014, 35).

En el análisis de correlación de Person una vez más se obtuvo que las variables de mayor contribución para el área potencial idónea son; Precipitación del trimestre más húmedo y Temperatura mínima del mes más frío, esto concuerda con Manjarrés (2021, 33) quien pronosticó que las variables de mayor importancia son precipitación para regiones cálidas y temperatura mínima para regiones de clima templado frío. Además, los hallazgos de Manjarrés (2021), apoyan lo mencionado sobre la distribución de las especies pues , manifiestan que *R. altipinna* tiene preferencias de distribución en altitudes

menores a 1000 msnm donde la precipitación así como la temperatura tienden a ser cálido-húmedo, mientras que *R. minor* mantiene preferencia por hábitats de altitudes superiores a 1000 msnm donde el clima es húmedo y la temperatura oscila entre 16°C hasta máximo 23 °C.

MaxEnt, presenta una fuerte base estadística en sus resultados entre la distribución real y futura, aun contando únicamente con datos de presencia (Mateo, Felicísimo, y Muñoz 2011, 218; Felicísimo et al. 2012, 3:23; Ramírez 2017, 34), es por ello que, los análisis estadísticos ROC/AUC, error de omisión y comisión revelaron que el rendimiento de los modelos finales alcanzados fue de alta precisión a buena precisión (0.70-0.99), estos resultados coinciden con lo encontrado por McNyset (2005, 250) y Ramírez (2017, 40), quienes obtuvieron en sus estudios un AUC de alta precisión considerando a los modelos como significativos.

El cambio de distribución geográfica potencial de ambas especies mediante el umbral de corte SS muestra la pérdida y ganancia de áreas geográficas potenciales estimadas durante los años 2021-2040 bajo los escenarios de cambio climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5. Dentro de este orden de ideas, Rahel (2002, 529), manifiesta que los impactos ocasionados por el cambio climático resultaran negativos a la fauna terrestre y acuática. De hecho, los peces que habitan en aguas con temperaturas cálidas (< 18°) son más susceptibles y están en riesgo a diferencia de los peces que habitan en temperaturas frías (< 25°), pues tienen menos probabilidades de adaptarse a cambios climáticos lo cual limitaría su distribución y población (Manjarrés 2021, 32).

Por su parte, *Rhoadsia minor* presenta ganancia y pérdida de área potencial, a diferencia de *R. altipinna* pues según la modelación de distribución bajo el RCP 4.5 se mantiene un área estable, mientras para el RCP 8.5 se registró pérdida de área potencial. Esto coincide con Mejía, Tonón, y Abad (2018, 29), donde reportan reducción de área con respecto al cambio climático expresando que existirán modificaciones en los biomas, ecosistemas y nichos ecológicos de las especies. Del mismo modo Somero (2012, 43), menciona que debido al cambio climático los organismos modifican sus adaptaciones fisiológicas y conductuales a medida que las condiciones ambientales cambien.

El aumento o reducción de la temperatura y precipitación por efectos del cambio climático ocasionan disminución de la concentración de nutrientes y el nitrógeno inorgánico disuelto, provocando una mayor productividad del fitoplancton, deteriorando la calidad del agua principalmente por el transporte de poluyentes disueltos (plaguicidas) que reducen la concentración de oxígeno y liberan fósforo de los sedimentos. La

eutrofización de igual forma es un problema importante en la calidad del agua, pues fomenta floraciones de algas tóxicas con mayor frecuencia y duración, mismas que son impulsadas por efecto del cambio climático, dichas floraciones amenazan no solo la salud humana, sino también la predisposición o disponibilidad del agua a usos recreativos y también serían letal para los peces (Bates et al. 2008, 44).

Los efectos del calentamiento en sistemas ribereños son más acelerados en las regiones húmedas, pues los caudales presentan menos variables y las interacciones biológicas son más intervinientes en la abundancia de organismos (Bates et al. 2008, 58). Debe señalarse que la ictiofauna, arriba de los 1000 msnm. presenta adaptaciones más resistentes ante las bajas temperaturas, velocidad del agua y baja productividad, sin embargo los ecosistemas de montaña son más susceptibles al cambio climáticos pues esto provocaría una reducción del volumen de agua generando alteraciones en la biología de los peces ya que el desove, incubación de embriones, migración y mantener las condiciones adecuadas para el desarrollo de larvas, juveniles y adultos se verá afectado convirtiendo a los peces en vulnerables ante los nuevos cambios (Tognelli et al. 2016, 37).

Todo esto apunta a un riesgo excesivo de extinción en los ecosistemas acuáticos influyendo en la productividad y distribución de especies dulceacuícolas, especialmente en peces, pues se observan cambios en el conjunto y disminución de las especies que tiene preferencia por aguas más frías en particular, en especies endémicas como es el caso de estudio (Bates et al. 2008, 140).

Con respecto a las áreas idóneas y de riesgo que se obtuvieron en este estudio, se evidenció que las cuencas con mayor idoneidad para ambas especies se encuentran en el sur del país, mientras que las cuencas ubicadas al norte son las que perderán la presencia del grupo *Rhoadsia*, esto evidentemente debido a lo expuesto por Jiménez Prado et al. (2015, 34), quienes manifiestan que en las cuencas altas (noroccidente) especialmente las que se ubican en Esmeraldas soportan mayores alteraciones debido a las actividades antrópicas, donde se registra degradación de hábitats acuáticos y afecciones en peces. De igual manera, Vázquez, Freire, y Suárez (2005, 209), encuentran que el noroccidente del país es donde se presenta la mayor pérdida de hábitat y de especies pues atribuye dicha consecuencia a las actividades antrópicas y a la disminución de la calidad de servicios ambientales a los que han sido sometidos los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos.

De igual manera, se espera que como resultado del cambio climático la pérdida de recursos biológicos aumente en aquellos ecosistemas alterados por efectos de actividades

antrópicas, acelerando la pérdida de especies, disminución en la oferta de servicios ecosistémicos y la dinámica de especies. Así también se espera que el cambio climático altere la estacionalidad de flujos fluviales aumentando la carga de sedimentos, nutrientes y contaminantes producto de las fuertes lluvias (Botero 2015, 15; ONU 2019, 11).

Sin duda alguna, cada resultado presentado en este estudio no ha sido alentador, pues es evidente la pérdida de distribución a la que se enfrentaran las especies en los próximos años, por ello, resulta aún un desafío para los modelista y especialistas acuáticos, pues no se cuenta con la información suficiente o son pocos los estudios de modelización bioclimática en especies de agua dulce.

Como se comprobó los MDE resultan útiles e informativos pues sirven como inicio precautorio ante las amenazas o peligros a los que se enfrentara la fauna y flora. Además autores como Ramírez (2017, 38), propone que este tipo de investigaciones evalúan las zonas de mayor riesgo ante los efectos del cambio climático considerando variables bioclimáticas relevantes que relacionan la capacidad de dispersión que mantienen las especies.

A pesar de ello, estimar áreas de conservación con ayuda de las especies de agua dulce resultaría efectivo debido a la capacidad de rastrear áreas y condiciones climáticas adecuadas. No obstante, los resultados servirán como base en conocer las interacciones entre condiciones ambientales y distribución aproximando los primeros enfoques correlativos entre hábitat-especies y los posibles cambios considerando escenarios de cambio climático permitiendo discutir futuros planes de conservación.

## Conclusiones

En definitiva, los análisis de modelos de distribución con variables bioclimáticas y bajo escenarios de cambio climático, mostraron un primer acercamiento para conocer los cambios que pudiera sufrir el grupo *Rhoadsia* en su distribución geográfica potencial en los próximos años, permitiendo conocer las características de áreas idóneas para las especies, dar soluciones a problemas de conservación de recursos y delimitar áreas para futuros planes de conservación de biodiversidad.

Con respecto a la de distribución potencial se espera que la riqueza y diversidad del grupo *Rhoadsia* disminuyan, no solo por las variaciones climáticas sino también por las actividades antrópicas que destruyen los hábitats naturales, pues varias áreas establecidas como idóneas desaparecerán provocando desplazamientos o migración de especies hacia rangos de distribución más pequeños, donde las condiciones de vida relacionadas con temperatura y precipitación sean adecuadas para el desarrollo de las especies.

La distribución potencial de *Rhoadsia* en base a los escenarios futuros, evidencio una pérdida de área en la distribución de las especies, especialmente bajo el escenario RCP 8.5 demostrando que casi la mitad del área de distribución ocupada en las cuencas hidrográficas se perderá en las próximas décadas mantenido su distribución únicamente en zonas idóneas para las especies.

La distribución potencial de *Rhoadsia* en base a los MDP realizados para el futuro muestra un desplazamiento evidente hacia nuevas áreas, puesto que las condiciones bioclimáticas necesarias como es el caso de Temperatura y precipitación se centran únicamente en las cuencas suroccidentales a diferencia del norte, donde se estima una disminución de poblaciones debido especialmente a los efectos provocados por actividades antrópicas que se desarrollan en el sector. La especie más afectada por el cambio climático será *R. altipinna* ya que mantiene preferencias por zonas con temperaturas cálidas, mismas que se verán mayormente afectadas limitando su distribución poblacional en las principales cuencas noroccidentales.

Sin duda, unos de los principales problemas para diseñar modelos de peces continentales es la falta de información de variables ambientales adecuadas. Sin embargo, es necesario recalcar que las variables medioambientales o bioclimáticas usadas durante el estudio, resultaron útiles para modelos de ecosistemas acuáticos pues permitieron

delimitar regiones idóneas, estimar la pérdida de área de distribución y conocer que variables influyen en la presencia de las especies.

Cabe destacar que los modelos de distribución de especies con el algoritmo usado es el indicado para especies dulceacuícolas ya que MaxEnt tuvo un excelente poder predictivo, presentando áreas que anteriormente no fueron muestreadas pero que con la combinación de variables cumplirían con las condiciones para estimar una distribución real para la supervivencia de *Rhoadsia altipinna* y *Rhoadsia minor*.

Ahora bien, podría decirse que los resultados obtenidos en el estudio implican análisis importantes pues se identificó superficies consideradas como potenciales y que además podrían ser estimadas para planes de conservación debido al impacto que soportaran en el futuro.



## Lista de referencias

- Aguilar, Alonso. 2005. “Los Peces Como Indicadores De La Calidad Ecológica Del Agua”. *Revista Digital Universitaria* 6 (8): 14.
- Aguirre, Windsor E., Ronald Navarrete, Grace Malato, Paola Calle, Maxine K. Loh, Webster F. Vital, Grecia Valadez, Vinh Vu, Virginia R. Shervette, y Juan C. Granda. 2016. “Body Shape Variation and Population Genetic Structure of *Rhoadsia Altipinna* (Characidae: Rhoadsiinae) in Southwestern Ecuador”. *Copeia* 104 (2): 554–69. <https://doi.org/10.1643/CG-15-289>.
- Albuja, L., y R. Arcos. 2011. “Lista de mamíferos actuales del Ecuador.” *Politécnica* 27 (4): 7–33.
- Alexiades, A. V., y A. C. Encalada. 2017. “Distribution and Habitat Suitability of Andean Climbing Catfish in the Napo River Basin, Ecuador”. *Tropical Conservation Science* 10 (enero): 194008291770959. <https://doi.org/10.1177/1940082917709598>.
- Arribas, P., P. Abellán, J. Velasco, D.T. Bilton, J.M. Lobo, A. Millán, y D. Sánchez-Fernández. 2012. “La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad”. *Ecosistemas* 21 (3): 79–84. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.10>.
- Barriga, Ramiro. 2012. “Lista de peces de agua dulce e intermareales del Ecuador”. *Revista Politécnica* 30 (3): 83–119.
- Bates, Bryson, Zbigniew W Kundzewicz, Jean Palutikof, y Shaohong Wu. 2008. *El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC*,.
- Bonilla, Ana, y Héctor López. 2013. “Análisis biogeográfico de los peces characiformes de Venezuela”. *Acta biol. Colomb.* 18 (1): 69–86.
- Botero, Eduardo Uribe. 2015. “El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina”, 1–84.
- Bravo, Jessica, Gerardo Sánchez, y Sandra Milena Gelviz. 2011. “Estudio de la distribución de las especies frente al cambio climático”. *Cuadernos de biodiversidad*, n° 35: 12–18. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2011.35.03>.

- Cala-Cala, Plutarco. 2019. “Medio ambiente y diversidad de los peces de agua dulce de Colombia”, 526.
- Carrillo, Carolina. 2013. “Línea Base de la Diversidad de las Especies de Peces Para la Estimación del Tamaño Poblacional y Biomasa de las Pirañas *Pygocentrus nattereri* y *Serrasalmus rhombeus* en la Laguna de Limoncocha”. Tesis Ingeniera, Universidad Internacional SEK. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/658/1/Carolina%20Carrillo%20Moreno.pdf>.
- Cartaya, Scarlet, Carlos Anchundia, y Roddy Mantuano. 2016. “Distribución geográfica potencial de la especie *Cuniculus paca* en el occidente de Ecuador”. *Revista de Ciencias de la Vida* 24 (2): 134-149. <https://doi.org/11.10.17163/lgr.n24.2016.11>.
- Castillo-Torres, Paula Andrea, Enrique Martínez-Meyer, Fernando Córdova-Tapia, y Luis Zambrano. 2017. “Potential Distribution of Native Freshwater Fish in Tabasco, Mexico”. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88 (2): 415–24. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.001>.
- Charre-Medellín, Juan F, Jean F Mas, y Laura A Chang-Martínez. 2019. “Áreas potenciales actuales y futuras de los cultivos de aguacate Hass en México utilizando el modelo Maxent en escenarios de cambio climático Current and future potential areas of Hass avocado crops in Mexico using MaxEnt model under climate change scenarios”. *UD y la Geomática*, n° 14: 8.
- Chetan, N, K. Praveen, y GK Vasudeva. 2014. “Correction: Delineating Ecological Boundaries of Hanuman Langur Species Complex in Peninsular India Using MaxEnt Modeling Approach”. *PLoS ONE* 9 (2): e91497. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091497>.
- Chu, Cindy, Nicholas E. Mandrak, y Charles K. Minns. 2005. “Potential impacts of climate change on the distributions of several common and rare freshwater fishes in Canada: Climate change and fish distributions in Canada”. *Diversity and Distributions* 11 (4): 299–310. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00153.x>.
- COCASINCLAIR. 2013. *Flora y Fauna representativa de los Bosques piemontanos y montano bajo del Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair*. Quito-Ecuador: Publicación Técnico-Divulgativa de la Empresa Pública Estratégica Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. Imprenta XXXX. <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp->

content/uploads/2019/02/FLORA\_Y\_FAUNA\_BOSQUES\_PIAMONTANO\_C  
OCA%20CODOSINCLAIR.pdf.

- Comte, Lise, Laëtitia Buisson, Martin Daufresne, y Gaël Grenouillet. 2013. “Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends: *Climate change and freshwater fish*”. *Freshwater Biology* 58 (4): 625–39. <https://doi.org/10.1111/fwb.12081>.
- Conservation Ecology. 2014. “QSDM – Species Distribution Modelling for the QGIS Processing Toolbox”. Conservation Ecology. 2014. <https://conservationecology.wordpress.com/qgis-plugins-and-scripts/qsdm/>.
- Di Marzio, Walter Darío, W Tortorelli, y L Freyre. 2003. “Diversidad de peces en un arroyo de llanura”. *Limnetica* 22 (3–4): 71–76. <https://doi.org/10.23818/limn.22.20>.
- DIVA-GIS. 2022. “Free Spatial Data”. DIVA-GIS. 2022. <https://www.diva-gis.org/node/1>.
- Domínguez, Omar Domínguez. 2017. “Modelos de distribución de especies de peces del centro de México”. Informe final 17. México: CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfJM017.pdf>.
- Domisch, Sami, Giuseppe Amatulli, y Walter Jetz. 2015. “Near-Global Freshwater-Specific Environmental Variables for Biodiversity Analyses in 1 Km Resolution”. *Scientific Data* 2 (1): 150073. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.73>.
- Elvira, Benigno, Ana Almodóvar, Graciela Nicola, y David Almeida. 2003. “Impacto de los peces y cangrejo introducidos en el parque nacional de cabañeros”. *Proyectos de investigación en parques nacionales*, 181–93.
- Espinosa, Y. 2017. “Cambio climático y genes: adaptación evolutiva al cambio climático”. Monografía, Universidad de Magallanes.
- FAO. 2018. “Impactos del cambio climático en la pesca y la acuicultura - Síntesis de los conocimientos y las opciones de adaptación y mitigación actuales”. *Resumen del Documento Técnico de Pesca y Acuicultura de la FAO no. 627*, 48.
- Felicísimo, Ángel M., Jesús Muñoz, Rubén G Mateo, Carlo Villalba, y Epifanio Mateos. 2012. *FORCLIM. Bosques y cambio global. Vol. 3 España - México. Vol. 3. España-México*. [https://www.academia.edu/1768038/FORCLIM\\_Bosques\\_y\\_cambio\\_global\\_Vol\\_3\\_Espa%C3%B1a\\_M%C3%A9xico](https://www.academia.edu/1768038/FORCLIM_Bosques_y_cambio_global_Vol_3_Espa%C3%B1a_M%C3%A9xico).

- Gallien, Laure, Tamara Münkemüller, Cécile H. Albert, Isabelle Boulangeat, y Wilfried Thuiller. 2010. “Predicting Potential Distributions of Invasive Species: Where to Go from Here?” *Diversity and Distributions* 16 (3): 331–42. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00652.x>.
- Garzón-Santomaro, C., Prieto-Albuja, F., Brito, J., y Mena-Jaén, J. 2019. *Propuesta para el establecimiento del Subsistema de Áreas Naturales de Conservación y Diseño del Corredor Ecológico de la provincia de El Oro: Una guía para el desarrollo de estrategias del investigación, Conservación y manejo de la biodiversidad orense*. GADPEO – INABIO. 12. quito-Ecuador.
- Holder, Anna M., Arev Markarian, Jessie M. Doyle, y John R. Olson. 2020. “Predicting Geographic Distributions of Fishes in Remote Stream Networks Using Maximum Entropy Modeling and Landscape Characterizations”. *Ecological Modelling* 433 (octubre): 109231. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109231>.
- IPCC. 2021. “El cambio climático es generalizado, rápido y se está intensificando”. Comunicado de Prensa IPCC. Suiza. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC\\_WGI-AR6-Press-Release-Final\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf).
- Isla, Jose Marcelo. 2012. “Distribución potencial de especies de la familia araliaceae de la región Madidi”. Tesis de Grado, La Paz-Bolivia: Universidad Mayor de San Andres. <http://hdl.handle.net/123456789/4444>.
- Jiménez Prado, Pedro, Windsor Aguirre, Enrique Laaz, Ronald Navarrete, Fredy Nugra-Salazar, Eduardo Rebolledo, Edwin Zárate, A. Torres-Noboa, y Jonathan Valdiviezo-Rivera. 2015. *Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador*. Esmeraldas, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas.
- Jiménez-Prado, Pedro, y Windsor Aguirre. 2020. “Variación corporal paralela en peces de dos ríos costeros del Chocó ecuatoriano”. *Revista de Biología Tropical* 69 (1). <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i1.41814>.
- Lara, Diana Carolina, y Victor Manuel Nieto. 2017. “Determinación De Cambios De Distribución De Especies Por Efectos Del Cambio Climático En El Parque Municipal Natural Campo Alegre Y Parque Regional Natural Ucumari En Risaralda Colombia”. Tesis Magistral, Universidad Distrital Francisco José De Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5403>.

- Liu, Canran, Pam M. Berry, Terence P. Dawson, y Richard G. Pearson. 2005. "Selecting Thresholds of Occurrence in the Prediction of Species Distributions". *Ecography* 28 (3): 385–93. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>.
- Malato, Grace. 2015. "Genetic and Morphological Diversity Along Altitudinal Gradients in the Genus *Rhoadsia* (Teleostei: Characidae: Rhoadsiinae)". Tesis Magistral, Chicago: DePaul University. [https://via.library.depaul.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1137&context=csh\\_etd](https://via.library.depaul.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1137&context=csh_etd).
- Manjarrés, Ana Milena. 2021. "Análisis de la distribución de las especies de peces de agua dulce a diferentes escalas espaciales y temporales". Leticia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez, Enrique, Angela Cuervo, Abisay Ortiz, y Luis Osorio. 2016. "Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI". Reporte Final. Servicios de consultoría para la modelación de la distribución potencial actual y futura de las especies invasoras de mayor riesgo para México. México: CONABIO. [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/comp1/Modelacion\\_de\\_distrib\\_actual\\_y\\_futura\\_EEI.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/comp1/Modelacion_de_distrib_actual_y_futura_EEI.pdf).
- Mateo, Rubén G, Ángel M Felicísimo, y Jesús Muñoz. 2011. "Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética". *Revista chilena de historia natural* 84 (2): 217–40. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>.
- McNyset, K. M. 2005. "Use of ecological niche modelling to predict distributions of freshwater fish species in Kansas". *Ecology of Freshwater Fish* 14 (3): 243–55. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2005.00101.x>.
- Mejía, Danilo, María Tonón, y Lorena Abad. 2018. "Distribución potencial del género *Polylepis* en la Cuenca del río Paute bajo un escenario de cambio climático". *Revista de la Facultad de Ciencias Química*, n° 19: 21–37.
- Mercado, Nobelia, Robert B. Wallace, y Heidy López-Strauss. 2010. "Metodología para el desarrollo de mapas de distribución de los mamíferos medianos y grandes en Bolivia". En *Mamíferos medianos y grandes de Bolivia*, 115–28.
- Myers, Bonnie J. E., Abigail J. Lynch, David B. Bunnell, Cindy Chu, Jeffrey A. Falke, Ryan P. Kovach, Trevor J. Krabbenhoft, Thomas J. Kwak, y Craig P. Paukert. 2017. "Global Synthesis of the Documented and Projected Effects of Climate

- Change on Inland Fishes”. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 27 (2): 339–61.  
<https://doi.org/10.1007/s11160-017-9476-z>.
- Navarrete, Corina. 2019. “Distribución potencial de especies forestales amenazadas y endémicas paras mediante modelos de nicho ecológico”. Tesis Ingeniería, Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4038>.
- Obando, Gabriela, y Sheila Ayala. 2018. “Modelamiento de la distribución de *Hoplias malabaricus* en Ecuador continental; una contribución para su conservación.” *Dialnet* 7 (1): 40–46.
- ONU. 2019. “Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua.”, 1–28.
- Rahel. 2002. “Using current biogeographic limits to predict fish distributions following climate change”. *American Fisheries Society Symposium* 2002 (enero): 99–110.
- Rahel, Frank J., y Julian D. Olden. 2008. “Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species”. *Conservation Biology* 22 (3): 521–33.  
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x>.
- Ramírez, Zuriday. 2017. “Efectos del cambio climático en la distribución potencial de batoideos en el Golfo de California (2020-2050)”. Tesis Magistral, México: CICESE.
- Ramirez-Villegas, Julian, Francisco Cuesta, Christian Devenish, Manuel Peralvo, Andy Jarvis, y Carlos Alberto Arnillas. 2014. “Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change”. *Journal for Nature Conservation* 22 (5): 391–404.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.03.007>.
- Ribeiro, Lucas, Alan Deivid Pereira, Diego Azevedo Zoccal Garcia, João Daniel Ferraz, Iago Vinicios Geller, y Mario Luís Orsi. 2021. “Distribution modeling of *Psellogrammus kennedyi* (Eigenmann, 1903) and new records in the Lower Paranapanema River, Brazil”. *Check List* 17 (5): 1277–84.  
<https://doi.org/10.15560/17.5.1277>.
- Ringuelet, Raúl Adolfo. 1975. “Zoogeografía y ecología de los peces de aguas continentales de la Argentina y consideraciones sobre las áreas ictiológicas de América del Sur”. *Ecosur* 2, n° 3. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/48003>.
- Rivera, John. 2011. “Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal

- Jaboque Bogotá-Colombia”. Tesis Magistral, Bogotá D.C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7752>.
- Rodríguez-Rey, Marta, Sofia Consuegra, Luca Börger, y Carlos Garcia de Leaniz. 2019. “Improving Species Distribution Modelling of Freshwater Invasive Species for Management Applications”. Editado por Paulo De Marco Júnior. *PLOS ONE* 14 (6): e0217896. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217896>.
- Rojas, Miguel Calixto. 2017. “Uso de modelos de nicho para estimar la distribución de peces dulceacuícolas del sur de México”. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca: Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca.
- Sánchez, María. 2018. “Distribución Potencial De Especies Exóticas Invasoras En Ecuador Continental Ante Escenarios De Cambio Climático”. Tesis Ingeniería, Universidad Técnica Estatal De Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3171/3/T-UTEQ-0075.pdf>.
- Saravia, Catalina Julia. 2004. “Instituto de Limnología ‘Dr. Raúl A. Ringuelet’ Enero de 2004”, 130.
- Savino, Cristian, Liliana Diodato, Miguel Angel Gatto, y Hugo Raul Zerda. 2014. “Modelos de Distribución Potencial de Especies”. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4962.6965>.
- Sistema Nacional de Información. s. f. “Documentos Geográficos - Sistema Nacional de Información”. Accedido 6 de septiembre de 2022. <https://sni.gob.ec/documentos-geograficos>.
- Somero, George N. 2012. “The Physiology of Global Change: Linking Patterns to Mechanisms”. *Annual Review of Marine Science* 4: 39–61. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120710-100935>.
- Tognelli, Marcelo F, Carlos A Lasso, Cornelio A Bota-Sierra, Luz F Jiménez-Segura, y N.A Cox. 2016. *Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los andes tropicales*. Gland, Suiza, Cambridge, UK y Arlington, USA: UICN. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49354807/Libro\\_Andes\\_tropicales\\_IUCN-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1661817327&Signature=GRT9IfuVe~OK4Py0pj56Eu1P2VfktCArg67FZCZadF3YfOfEZCka2u~1xRtqB8BKX5q87-K9KI0A-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49354807/Libro_Andes_tropicales_IUCN-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1661817327&Signature=GRT9IfuVe~OK4Py0pj56Eu1P2VfktCArg67FZCZadF3YfOfEZCka2u~1xRtqB8BKX5q87-K9KI0A-)

EHZYsYCY4Uo2jTE7UccqLZXanVeabDkeCUHd3tZXzF7kdgU2gmogvmx5hN  
 6hs7Z77TAJza837yxzmB1qHwZnkshcrbugblVoZvHIroljignlpY-  
 dQ2qD41S6ZXO~iNocAC0PxxznepmG887Tfmb4tyEV9oFsPToke1Bn5BhY0T  
 -zOnoIKR~hUxWXXl07lDjgjpHQWUnn51yZGZzvf1Bi7e3-MDdsBIy8wErN-  
 v3jPY~8KzcyYq93hlWrs0qEtPNpNjN6LsD-w\_\_&Key-Pair-  
 Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA.

- Varela, S, R G Mateo, R García-Valdés, y F Fernández-González. 2014. “Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones”, 8.
- Vázquez, M.A, J.F Freire, y L. Suárez. 2005. *Biodiversidad en el suroccidente de la provincia de Esmeraldas: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas*. Quito-Ecuador: EcoCiencia. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/51454.pdf>.
- Winemiller, Kirk O., Angelo A. Agostinho, y Érica Pellegrini. 2008. “Fish Ecology in Tropical Streams”. En *Tropical Stream Ecology*, 5:107–III. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012088449-0.50007-8>.
- WorldClim. 2021. “Future climate data”. WorldClim. 2021. <https://www.worldclim.org/>.
- Yang, Xue-Qing, S. P. S. Kushwaha, S. Saran, Jianchu Xu, y P. S. Roy. 2013. “Maxent Modeling for Predicting the Potential Distribution of Medicinal Plant, Justicia Adhatoda L. in Lesser Himalayan Foothills”. *Ecological Engineering* 51 (febrero): 83–87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.004>.



## Anexos

### Anexo 1: Listado de colecciones científicas

<b>Abreviatura</b>	<b>Institución</b>
ANSP	The Academy of Natural Sciences of Philadelphia
CAS	California Academy of Sciences,
KU	University of Kansas Biodiversity Institute
MCZ	Museum of Comparative Zoology, Harvard University
MECN-DP	Instituto Nacional de Biodiversidad-INABIO
MZUA	Museo de Zoología Universidad de Azuay
ROM	Royal Ontario Museum
CEMZ	Colección de peces de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Esmeraldas
CZUT	Colección Zoológica de la Universidad del Tolima (CZUT)-Ictiología
INCIVA	Instituto para la Investigación y Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca
INSDC	International Nucleotide Sequence Database

## Anexo 2: Depuración de datos en Excel

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
		Institución	catalogNu	phylum	class	order	family	scientificN	genus	specificEp	taxonRan	identified	dateIdent	recorde
2	Publicación	Aguirre		Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Aguirre
3	Publicación	Aguirre		Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Aguirre
4	Publicación	Aguirre		Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Aguirre
5	Publicación	Aguirre		Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Aguirre
6	Publicación	Aguirre		Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Aguirre
7	Publicación	Aguirre		Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Aguirre
8	Publicación	Aguirre		Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Aguirre
9	Publicación	Aguirre		Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Aguirre
10	Academia	ANSP	39106	Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			S. N. Rh
11	Academia	ANSP	39107	Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			S. N. Rh
12	Academia	ANSP	75915	Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			G. Herre
13	Academia	ANSP	75916	Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Manuel
14	Academia	ANSP	75917	Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			G. Herre
15	Academia	ANSP	75918	Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Pablo M
16	Academia	ANSP	75919	Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			A. B. Fur
17	Academia	ANSP	131536	Chordata	Actinopteri	Characiform	Characidae	Rhoadsia alti	Rhoadsia	altipinna	Especie			Arthur H

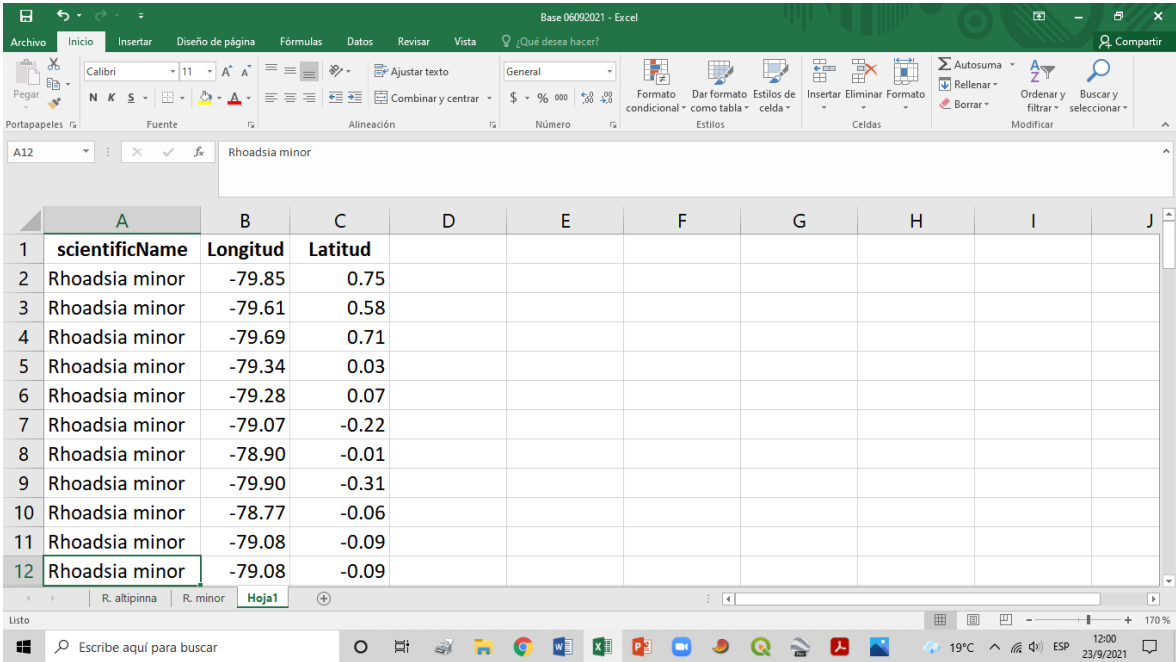
### Anexo 3: Variables Bioclimáticas de WorldClim, Actual – Futuro

Código	Descripción
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango medio diario (Media de la (maxtemp - min temp) mensual)
BIO3	Isotermicidad (BIO2/BIO7) (x 100)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperaturas (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (como coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

variable	10 minutos	5 minutos	2,5 minutos	30 segundos
temperatura mínima (° C)	tmin 10m	tmin 5m	tmin 2.5m	tmin 30s
temperatura máxima (° C)	tmax 10m	tmax 5m	tmax 2,5 m	tmax 30s
temperatura media (° C)	tavg 10m	tavg 5m	tavg 2,5 m	tavg 30s
precipitación (mm)	prec 10m	prec 5m	prec 2,5 m	prec 30s
radiación solar (kJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	srad 10m	srad 5m	srad 2,5 m	srad 30s
velocidad del viento (ms <sup>-1</sup> )	viento 10m	viento 5m	viento 2.5m	viento 30s
presión de vapor de agua (kPa)	vapr 10m	vapr 5m	vapr 2,5 m	vapr 30s

#### 2021-2040

GCM	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
ACCESS-CM2	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
ACCESS-ESM1-5	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
BCC-CSM2-MR	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CanESM5	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CanESM5-CanOE	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CMCC-ESM2	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CNRM-CM6-1	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CNRM-CM6-1-HR	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CNRM-ESM2-1	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
EC-Earth3-Veg	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
EC-Earth3-Veg-LR	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
FIO-ESM-2-0	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc		tn, tx, pr, bc
GFDL-ESM4	tn, tx, pr, bc		tn, tx, pr, bc	pr
GISS-E2-1-G	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
GISS-E2-1-H	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
HadGEM3-GC31-LL	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc		tn, tx, pr, bc
INM-CM4-8	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc

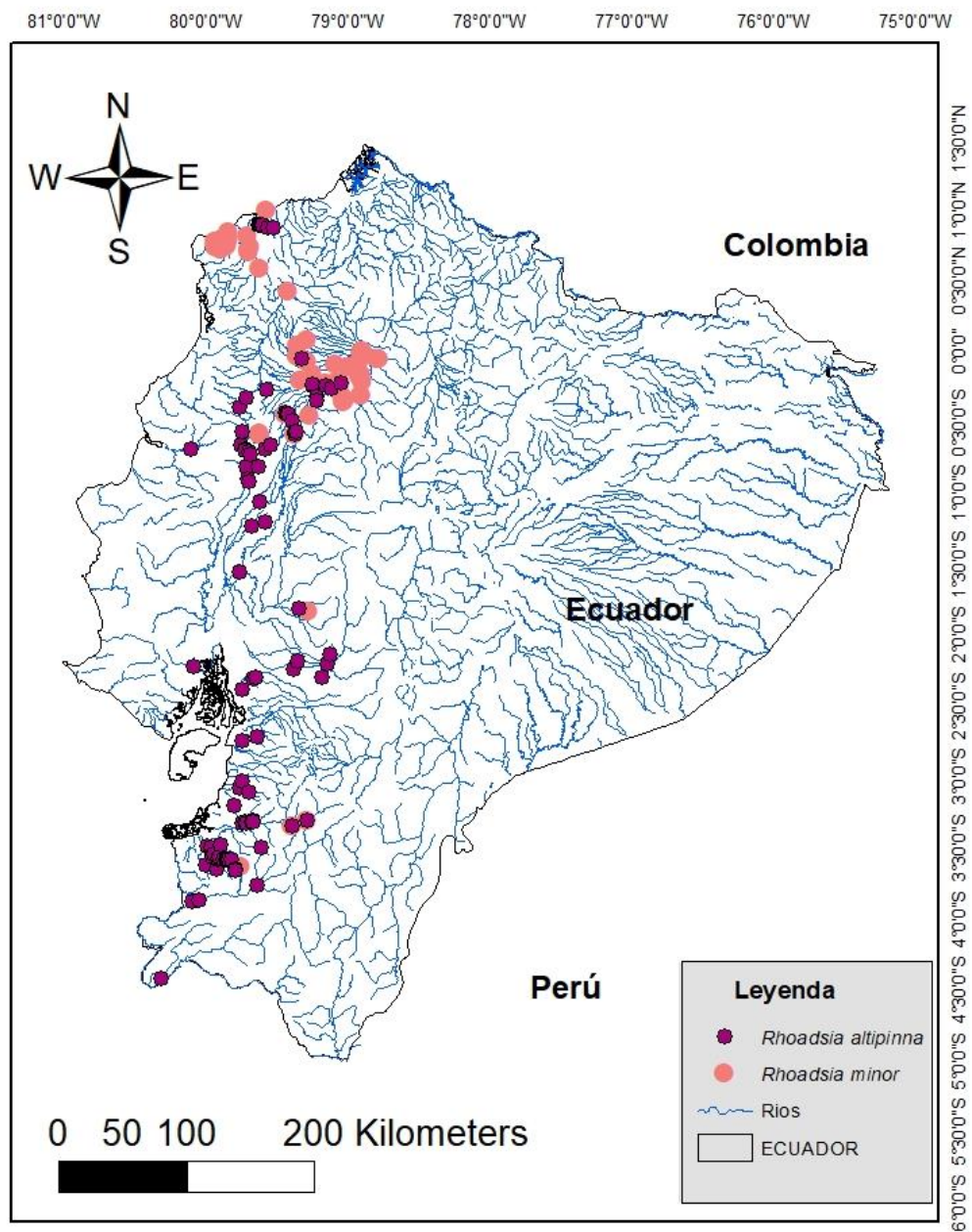
**Anexo 4: Base de datos usada para Modelos**

The image shows a screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet. The title bar indicates the file is named 'Base 06092021 - Excel'. The ribbon is set to 'Inicio' (Home). The data is organized in a table with the following columns: 'scientificName', 'Longitud', and 'Latitud'. The rows contain 12 entries, all with the scientific name 'Rhoadsia minor'. The coordinates (Longitud and Latitud) vary for each entry. The spreadsheet is displayed on 'Hoja1' (Sheet1).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>scientificName</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>							
2	Rhoadsia minor	-79.85	0.75							
3	Rhoadsia minor	-79.61	0.58							
4	Rhoadsia minor	-79.69	0.71							
5	Rhoadsia minor	-79.34	0.03							
6	Rhoadsia minor	-79.28	0.07							
7	Rhoadsia minor	-79.07	-0.22							
8	Rhoadsia minor	-78.90	-0.01							
9	Rhoadsia minor	-79.90	-0.31							
10	Rhoadsia minor	-78.77	-0.06							
11	Rhoadsia minor	-79.08	-0.09							
12	Rhoadsia minor	-79.08	-0.09							

## Anexo 5: Validación de registros en ArcMap

### Distribución de *Rhoadsia*



## Anexo 6: Ejecución de MaxEnt (versión 3.4.4)

Maximum Entropy Species Distribution Modeling, Version 3.4.4

**Samples**  
 File: NE\tesis1\CSWRhoadaltip20102021.c Browse

**Environmental layers**  
 Directory/File: C:\Archivos MNE\tesis1\2asci\prsrnt Browse

<input checked="" type="checkbox"/> bi	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_01	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_02	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_03	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_04	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_05	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_06	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_07	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_08	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_09	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> bio_10	Continuous

Select all      Deselect all

Rhoalti

Linear features      Create response curves

Quadratic features      Make pictures of predictions

Product features      Do jackknife to measure variable importance

Threshold features      Output format: Logistic

Hinge features      Output file type: asc

Auto features      Output directory: C:\Archivos MNE\tesis1\5jackknife\rhoalt Browse

Projection layers directory/file: Browse

Run      Settings      Help

## Anexo 7: Prueba de Multicolinealidad de variables bioclimáticas mediante la Ejecución de correlación de Person (r), en Past y Excel

Correlation

Statistic:  Linear r (Pearson)

Table format:  Statistic (plurcom)

	bio_01	bio_02	bio_03	bio_04	bio_05	bio_06	bio_07	bio_08	bio_09	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19	
bio_01	1																			
bio_02	-0.14897	1																		
bio_03	-0.368	0.50882	1																	
bio_04	0.408	-0.18188	-0.19141	1																
bio_05	0.94667	0.069079	-0.43447	0.56037	1															
bio_06	0.94382	-0.42747	-0.3729	0.29833	0.80813	1														
bio_07	0.096643	0.7811	-0.13763	0.46235	0.395	-0.22189	1													
bio_08	0.98272	-0.1701	-0.50238	0.55156	0.95995	0.90952	0.17056	1												
bio_09	0.97962	-0.13195	-0.12228	0.23195	0.89301	0.94638	0.002246	0.93254	1											
bio_10	0.98556	-0.18031	-0.50665	0.55311	0.96207	0.91717	0.16213	0.99754	0.93609	1										
bio_11	0.97797	-0.13477	-0.1985	0.21577	0.88536	0.9469	-0.011226	0.93094	0.99673	0.9321	1									
bio_12	-0.11606	-0.24713	0.097072	-0.21278	-0.22148	-0.039515	-0.30503	-0.10713	-0.07208	-0.12469	-0.04004	1								
bio_13	-0.01026	-0.20442	-0.038951	-0.12706	-0.10866	0.023872	-0.21711	0.008312	0.013755	-0.014567	0.039945	0.002246	1							
bio_14	-0.23405	-0.46409	-0.17845	-0.06977	-0.20953	-0.049899	-0.41803	-0.17972	-0.19584	-0.19451	-0.18276	-0.07208	-0.014567	1						
bio_15	0.35408	0.35395	-0.16291	0.38359	0.43637	0.11253	0.54688	0.4042	0.26977	0.38655	0.27618	0.002246	0.013755	0.002246	1					
bio_16	-0.02877	-0.21969	-0.027429	-0.15253	-0.13229	0.016584	-0.24486	-0.012461	0.0014109	-0.035962	0.026982	-0.07208	-0.014567	-0.19451	-0.18276	1				
bio_17	-0.26407	-0.40489	-0.093088	-0.14688	-0.338	-0.094072	-0.41281	-0.23268	-0.22155	-0.24569	-0.20921	-0.07208	-0.014567	-0.19451	-0.18276	-0.035962	1			
bio_18	0.002004	-0.1952	-0.098511	-0.060963	-0.059298	0.043734	-0.16638	0.052599	0.034289	0.025486	0.061446	-0.07208	-0.014567	-0.19451	-0.18276	-0.035962	-0.24569	1		
bio_19	-0.30306	-0.14645	0.14747	-0.30209	-0.38884	-0.22674	-0.28674	-0.37226	-0.27403	-0.36261	-0.28997	-0.07208	-0.014567	-0.19451	-0.18276	-0.035962	-0.24569	-0.20921	1	

Variable	Contribución porcentual	Importancia de la perturbación	Modelo	bio_01	bio_02	bio_03	bio_04	bio_05	bio_06	bio_07	bio_08	bio_09	bio_10	bio_11	bio_12	bio_13	bio_14	bio_15	bio_16	bio_17	bio_18	bio_19
bio_01	28.3	19.6	si	1.00																		
bio_02	3.2	0.0	si	-0.67	1.00																	
bio_03	1.7	13.4	si	-0.82	-0.78	1.00																
bio_04	0.2	4.4	si	0.70	-0.16	-0.82	1.00															
bio_05	26.5	0.4	si	0.95	-0.32	-0.78	0.79	1.00														
bio_06	23.6	7.6	si	0.98	-0.76	-0.85	0.98	0.87	1.00													
bio_07	0.5	0.1	no	0.38	0.95	0.41	-0.15	-0.68	-0.33	1.00												
bio_08	0.8	0	no	0.99	-0.56	-0.89	0.78	0.96	0.95	-0.33	1.00											
bio_09	3.7	14.9	no	1.00	-0.59	-0.82	0.65	0.95	0.98	-0.40	0.98	1.00										
bio_10	2.3	1.4	no	1.00	-0.36	-0.88	0.75	0.96	0.96	-0.34	1.00	0.99	1.00									
bio_11	0	0	no	1.00	-0.61	-0.84	0.66	0.94	0.98	-0.41	0.99	1.00	0.99	1.00								
bio_12	0	0.1	no	1.00	-0.42	-0.54	0.15	0.23	-0.28	0.53	0.61	-0.31	-0.46	-0.38	1.00							
bio_13	0.6	0.7	no	1.00	-0.26	-0.54	0.01	0.42	-0.07	-0.40	0.67	-0.15	-0.31	-0.30	0.97	1.00						
bio_14	0	0	no	1.00	-0.56	-0.27	0.33	-0.19	-0.54	-0.55	0.21	-0.50	-0.58	-0.54	0.80	0.64	1.00					
bio_15	0.1	0	no	1.00	0.30	0.28	-0.40	0.70	0.47	0.14	0.51	0.36	0.25	0.34	0.26	0.30	0.50	1.00				
bio_16	1.6	2	no	1.00	-0.28	0.53	0.01	0.41	-0.09	-0.41	0.66	-0.16	-0.33	-0.21	-0.31	0.97	1.00	0.65	1.00			
bio_17	5.3	21.7	no	1.00	0.56	0.25	0.35	-0.22	-0.55	0.54	0.17	-0.50	-0.58	-0.54	0.76	0.59	0.99	0.99	0.60	1.00		
bio_18	0.2	0	no	1.00	-0.16	0.41	-0.12	0.51	0.00	-0.28	0.56	-0.04	-0.22	-0.10	-0.30	0.94	0.97	0.65	0.47	0.97	1.00	
bio_19	1.2	7.1	no	1.00	-0.71	0.61	0.76	-0.62	-0.62	-0.73	0.43	-0.73	-0.69	-0.72	-0.70	0.56	0.22	0.48	-0.27	0.23	0.49	0.06