








RESEARCH ARTICLE

# Potencial de invasión de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador continental: elementos para mejorar las estrategias de control de especies.

Josselin Valeria Saltos Icaza <sup>1</sup>  Yarelys Ferrer-Sánchez <sup>1</sup>  Gabriela Elizabeth Santana Baque <sup>1</sup>  Mariuxi Fernanda Cevallos Chevez <sup>1</sup>  Magaly Monserrate Puente Mendoza <sup>1</sup>  Bryan Ricardo Villanueva Pérez <sup>1</sup>  Isabel Cristina Coello Peralta <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Facultad de Posgrado, Quevedo, Ecuador.

✉ Correspondencia: jsaltosi@uteq.edu.ec  + 593 990337492

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj73188>

**Resumen:** Las especies exóticas invasoras de la acuicultura representan una grave amenaza para los ecosistemas y la biodiversidad, con consecuencias económicas significativas. Este estudio evaluó el potencial de invasión de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en ecosistemas nativos y áreas protegidas de Ecuador continental. Se obtuvieron registros de la trucha de Global Biodiversity Information Facility y literatura científica. Las variables climáticas se obtuvieron de Worldclim. Se usó el código Kuenm de R, implementado con el algoritmo Maxent, para modelar la distribución de la especie. Se consideraron registros de áreas nativas e introducidas mundialmente para describir el nicho en el espacio ambiental. Sin embargo, se usaron registros de Ecuador para calibrar el modelo y proyectarlo hacia esta región. Se generaron mapas de riesgo de invasión para la trucha, identificando zonas de alta vulnerabilidad con un modelo predictivo (AUCratio = 1,573) y robusto (tasa de omisión5%=0,14). Se identificaron las condiciones climáticas óptimas para la trucha en la región interandina, abarcando ~52,373 km<sup>2</sup>. Una proporción significativa de hábitats adecuados para la especie aparecen en Parques Nacionales (33%) y Reservas Ecológicas (33%). El área de todas las cuencas incluidas en la distribución alcanzó los 49206,78 km<sup>2</sup> que representa el 55% del área total de los mismos (89495,79 km<sup>2</sup>). En conclusión, el modelado del nicho ecológico de la trucha *Oncorhynchus mykiss* es efectivo, destacando la región Interandina de Ecuador y áreas protegidas como zonas de riesgo, subrayando la necesidad de estrategias preventivas y de gestión.

**Palabras claves:** Acuicultura, Especies exóticas invasoras, Kuenm, Modelación de nicho ecológico.



Check for updates

**Cita:** Saltos Icaza, J. V., Ferrer-Sánchez, Y., Santana Baque, G. E., Cevallos Chevez, M. F., Puente Mendoza, M. M., Villanueva Pérez, B. R., & Coello Peralta, I. C. (2024). Potencial de invasión de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador continental: elementos para mejorar las estrategias de control de especies. *Green World Journal*, 07(03), 188. <https://doi.org/10.53313/gwj73188>

**Received:** 30/October/2024

**Accepted:** 28/November/2024

**Published:** 29/November/2024

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.  
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial  
[editor@greenworldjournal.com](mailto:editor@greenworldjournal.com)

**Editor's note:** CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2024 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

# Invasion potential of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in continental Ecuador: elements to improve species control strategies

**Abstract:** Invasive alien aquaculture species represent a serious threat to ecosystems and biodiversity, with significant economic consequences. This study evaluated the invasive potential of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in native ecosystems and protected areas of continental Ecuador. Trout records were obtained from the Global Biodiversity Information Facility and scientific literature. Climatic variables were obtained from Worldclim. The Kuenm code of R, implemented with the Maxent algorithm, was used to model the distribution of the species. Records from native and introduced areas worldwide were considered to describe the niche in the environmental space. However, records from Ecuador were used to calibrate the model and project it to this region. Invasion risk maps for trout were generated, identifying areas of high vulnerability with a predictive (AUCratio = 1.573) and robust (omission rate5%=0.14) model. Optimal climatic conditions for trout were identified in the inter-Andean region, covering ~52,373 km<sup>2</sup>. A significant proportion of suitable habitats for the species occur in National Parks (33%) and Ecological Reserves (33%). The area of all watersheds included in the distribution reached 49206.78 km<sup>2</sup> which represents 55% of their total area (89495.79 km<sup>2</sup>). In conclusion, the modeling of the ecological niche of the trout *Oncorhynchus mykiss* is effective, highlighting the Inter Andean region of Ecuador and protected areas as risk zones, underlining the need for preventive and management strategies.

**Keywords:** Aquaculture, Ecological niche modeling, Invasive alien species, Kuenm.

## 1. Introducción

La introducción de especies invasoras no nativas constituye una amenaza global significativa para los ecosistemas naturales, la biodiversidad y las áreas protegidas, además de generar importantes costos económicos [1]. Tras la pérdida de hábitat, estas invasiones son la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial [2], un problema destacado por organismos internacionales como el Programa de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente, junto con otros factores como la destrucción del hábitat. y el cambio climático [3]. En muchos casos, las especies invasoras provienen de escapes de criaderos, jardines o instalaciones acuícolas, como ocurre con muchas introducciones acuáticas [4]. Estas invasiones amenazan las especies nativas, los servicios ecosistémicos, la salud pública y la seguridad alimentaria.

Una de las especies invasoras más preocupantes es la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), originaria de América del Norte, ampliamente introducida a nivel global con fines recreativos y acuícolas. Esta especie, incluida en la lista de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas según la UICN [5], desplaza a especies nativas y altera ecosistemas mediante competencia, hibridación y depredación [6,7]. En Ecuador, su introducción comenzó en la década de 1930 para actividades acuícolas, especialmente en aguas frías continentales [8]. Sin embargo, los escapes de criaderos han generado preocupaciones por los impactos negativos en ecosistemas nativos y áreas protegidas [9].

A pesar de su importancia económica para la industria acuícola, la trucha arcoíris ha tenido efectos adversos sobre la diversidad biológica y la estructura de las comunidades acuáticas [10, 11]. Los estudios en Ecuador se han centrado principalmente en aspectos relacionados con la producción acuícola, mientras que la interacción de esta especie con especies nativas y ecosistemas acuáticos ha recibido menos atención científica [12]. Esta falta de información limita el desarrollo de estrategias efectivas para controlar y mitigar su impacto, afectando la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas hídricos del país [13].

Es necesario profundizar en los estudios sobre los impactos ecológicos de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador y desarrollar herramientas de manejo adecuadas. Este estudio busca abordar estas lagunas mediante la aplicación de modelos predictivos de nicho ecológico, evaluando la idoneidad de hábitats para esta especie y su potencial invasivo en ecosistemas nativos y áreas protegidas. Los resultados contribuirán a la formulación de estrategias de manejo por parte del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, con énfasis en la restauración de lagos andinos de alta altitud afectados por esta especie [14].

El objetivo principal de esta investigación es evaluar el potencial de invasión de (*Oncorhynchus mykiss*) en ecosistemas nativos y áreas protegidas del Ecuador continental. Para ello, se busca modelar el nicho ecológico de la especie, caracterizar su distribución geográfica potencial y estimar las áreas con mayor idoneidad para su establecimiento, particularmente dentro de las zonas protegidas del país. Este enfoque predictivo representa una herramienta clave para la planificación preventiva y el manejo efectivo de especies invasoras, contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad y la restauración ecológica en contextos de alta vulnerabilidad ambiental.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. *Compilación y validación de puntos de presencia*

El estudio se llevó a cabo en la parte continental de La República de Ecuador. Se recopiló un total de 214,179 registros de presencia de la especie, provenientes de la base Global Biodiversity Information Facility [14]. Estos datos fueron importados en ArcGIS 10.5 para realizar una limpieza y validación. Se excluyeron del análisis los registros sin información geográfica dejando 194,025 registros, así como aquellos con errores como coordenadas incompletas, datos duplicados, ubicaciones en el océano o inexactas [15]. Luego de este proceso quedaron 20,154 registros de presencia, de los cuales 237 corresponden al área nativa y 19,917 al área de invasión.

Se obtuvieron, además, 35 registros de presencia de la especie en Ecuador, a través de literatura científica y de la plataforma iNaturalist. Los datos se filtraron para registrar una presencia en cada cuadrícula climática de 1 km<sup>2</sup>. Finalmente, se validaron un total de 35 puntos de presencia en Ecuador continental, los cuales fueron utilizados en los análisis de modelación.

### 2.2. *Variables climáticas*

Se utilizaron predictores bioclimáticos (período 1970–2000) de WorldClim 2.1[16] con una resolución de 1 km para modelar el nicho ecológico. Las variables seleccionadas fueron aquellas menos correlacionadas, identificadas mediante un análisis de factores de varianza-inflación (VIF)[17], eliminando las que tenían una alta correlación (VIF>10). Estas capas bioclimáticas fueron recortadas según el área de estudio y analizadas en ArcGIS 10.5 junto con los registros de presencia, para extraer los valores de 19 variables bioclimáticas y la elevación.

Con las variables que tenían VIF<10 se seleccionaron tres subconjuntos de variables candidatas para calibrar el modelo de nicho, basándose en criterios ecológicos, correlación entre variables, y un análisis de componentes principales (ACP). Los tres subconjuntos resultantes fueron:

- **Conjunto 1:** Temperatura Media Anual, Precipitación Anual y Elevación.
- **Conjunto 2:** Elevación, Precipitación Anual, Precipitación del Mes Más Húmedo, Precipitación del Trimestre Más Seco, Rango Medio Diurno, Isotermalidad y Rango Anual de Temperatura.

- **Conjunto 3:** Precipitación Anual, Precipitación del Mes Más Húmedo, Precipitación del Mes Más Seco, Estacionalidad de las Precipitaciones, Temperatura Mínima del Mes Más Frío, Precipitación del Trimestre Más Húmedo, Rango Anual de Temperatura y Precipitación del Trimestre Más Seco [15].

Finalmente, se excluyeron ciertas variables como artefactos estadísticos que no influían en la especie.

2.3. Modelación de nicho ecológico

Todos los análisis a partir de la calibración del modelo y la producción de archivos fueron realizados utilizando el paquete Kuenm [15] y MaxEnt en la plataforma Rstudio. Este método calcula la idoneidad del conjunto de modelos según varios métodos de evaluación de los modelos candidatos y los subconjuntos de variables climáticas. En el proceso de calibración, 1581 modelos candidatos fueron evaluados para los tres conjuntos de variables ambientales consideradas, con parámetros que reflejan todas las combinaciones de 17 ajustes del multiplicador de regularización y 31 combinaciones de clases de características (Tabla 1; Anexo 2).

**Tabla 1.** Parámetros utilizados para calibrar los modelos candidatos de nicho ecológico de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador continental

Parámetros	
<b>Multiplicadores de regularización</b>	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10
<b>Clases</b>	l, q, p, t, h, lq, lp, lt, lh, qp, qt, qh, pt, ph, th, lqp, lqt, lqh, lpt, lph, lth, qpt, qph, qth, pth, lqpt, lqph, lqth, lpth, qpth, lqpth
<b>Conjuntos de predictores climáticos</b>	<p><b>Subconjunto 1:</b> Temperatura Media Anual, Precipitación Anual, Elevación (m)</p> <p><b>Subconjunto 2:</b> Elevación, Precipitación anual, Precipitación del mes más húmedo, Precipitación del cuarto más seco, Precipitación del trimestre más seco, Rango medio diario, Isotermalidad, Rango anual de temperatura</p> <p><b>Subconjunto 3:</b> Precipitación anual, precipitación del mes más húmedo, Precipitación del mes más seco, Estacionalidad de las precipitaciones, Temperatura mínima del mes más frío, Precipitación del trimestre más húmedo, Rango anual de temperatura, Precipitación del trimestre más seco</p>

Parámetros de Maxent para diferentes tipos de modelos con y sin interacción entre variables: l: lineal, q: cuadrático, p: producto, t: umbral (threshold features), h: visagra (hinge features)

Entre todos los modelos candidatos, se obtuvo el modelo final utilizando el conjunto completo de presencias de acuerdo con la parametrización definida (Tabla 1). La selección del modelo se basó en la importancia, la capacidad predictiva y la complejidad: es decir, los modelos se filtraron primero para detectar aquellos que son estadísticamente significativos; el criterio de tasa de omisión se aplica a este conjunto reducido de modelos. Finalmente, entre los modelos candidatos significativos y de baja omisión, se seleccionaron aquellos con valores de delta AICc < a 2 [15]. Se seleccionó el modelo M\_0,5\_F\_lq del conjunto 2 de variables con las siguientes características: AUC ratio= 1,573; tasa de omisión (5 %) = 0,143; AICc= 818,316 (Tabla 2). Se corrieron 10 réplicas de este modelo para obtener el modelo promedio final. Entre todos los modelos, solo uno cumplió con todos los criterios considerados.

**Tabla 2.** Estadísticas de rendimiento de los mejores modelos de nicho ecológico de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador continental, seleccionados en función de criterios predefinidos

Modelo	AUC ratio	ROC parcial	Tasa de omisión al 5%	AICc	Delta AICc	W AICc	No. parámetros
M_0.5_F_lq_set_2	1.573	0	0.143	818.316	0.000	1	4
M_0.6_F_lq_set_2	1.577	0	0.143	818.358	0.041	1	4
M_0.7_F_lq_set_2	1.582	0	0.143	818.401	0.085	1	4
M_0.8_F_lq_set_2	1.581	0	0.143	818.447	0.131	1	4
M_0.9_F_lq_set_2	1.588	0	0.143	818.495	0.179	1	4
M_1_F_lq_set_2	1.584	0	0.143	818.546	0.229	1	4
M_0.5_F_p_set_2	1.626	0	0.143	820.246	1.930	1	5

#### 2.4. Análisis de datos

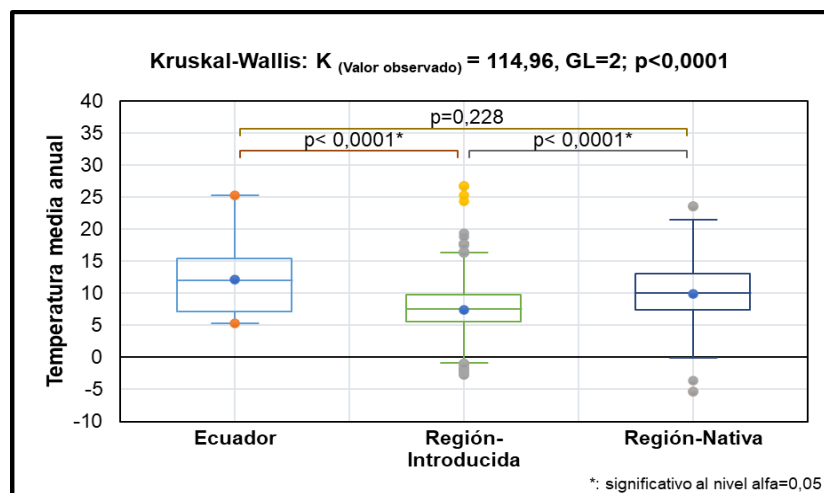
Todos los datos ambientales fueron descritos a partir de los valores medios, su desviación estándar y el intervalo de confianza. La mayoría de las variables mostraron diferencias marcadas con la distribución normal, verificado gráficamente con curvas de distribución lognormal y por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Por esto se emplearon métodos estadísticos no paramétricos. Para evaluar las posibles redundancias en la información de variables se hicieron matrices de correlaciones de Spearman y se redujo la multidimensionalidad con Análisis de Componentes Principales. Las comparaciones univariadas se hicieron con la prueba Kruskal Wallis. Los análisis se realizaron en el programa XLSTAT 2023.3.1.1416. Las representaciones gráficas de los resultados se diseñaron en el programa R (R Development Core Team 2017) y en las plataformas Extended Boxplot (disponible en: <https://vmra.shinyapps.io/univariados/>) (Ramírez-Arrieta y Denis, 2020); Extended Scatterplots (disponible en: <https://vmra.shinyapps.io/multivariados/>) (Denis y Ramírez-Arrieta, 2020) y Rawgraphs 2.0 (disponible en: <https://app.rawgraphs.io/>).

### 3. Resultados

#### 3.1. Nicho ecológico de *Oncorhynchus mykiss* en Ecuador continental

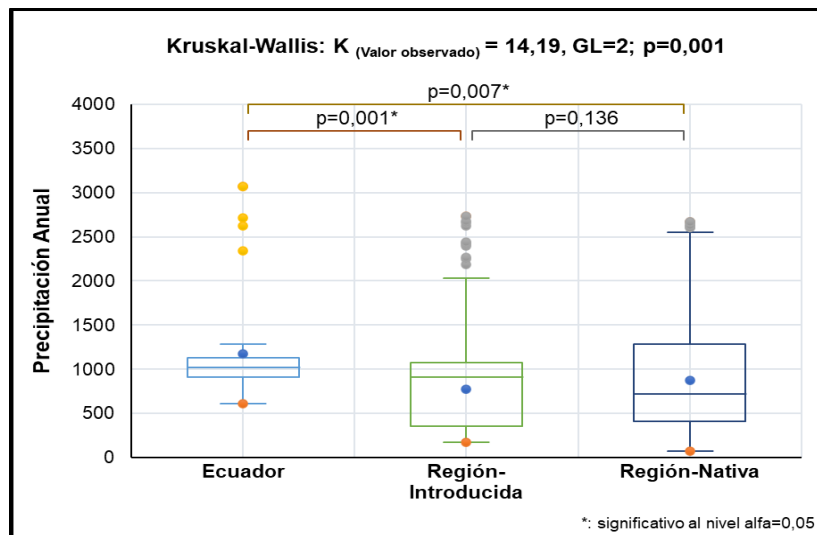
Las truchas arcoíris se distribuyen en diversas regiones de Ecuador, tanto en hábitats naturales como en áreas donde han sido introducidas. La variabilidad en la temperatura media anual en estas regiones es notable. En el caso de Ecuador, la temperatura anual promedio fluctúa entre 5,31°C y 25,32°C, con una media de 12,10°C, significativamente mayores a otros sitios de invasión en Norteamérica ( $p < 0,0001$ ; Figura 1). En las zonas donde han sido introducidas a nivel mundial, la temperatura varía entre -1,23°C y 16,32°C, con una media de 7,37°C. Se registran valores extremos de hasta 25,32°C y mínimos de -2,67°C en la región nativa de la especie, aunque el valor medio no difiere del registrado para Ecuador ( $p < 0,228$ ; Figura 1).

Es importante resaltar que existe una marcada disparidad entre la temperatura en la región nativa de la trucha y las áreas de invasión. En la región nativa, la temperatura oscila entre -0,05°C y 21,52°C, con una media de 9,91°C, superior a zonas donde ha invadido la especie ( $p < 0,0001$ ; Figura 1). Estos datos destacan las diferencias significativas en la temperatura media anual entre las distintas regiones, lo que subraya la relevancia de considerar el impacto del clima en la distribución y adaptación de las truchas arcoíris.



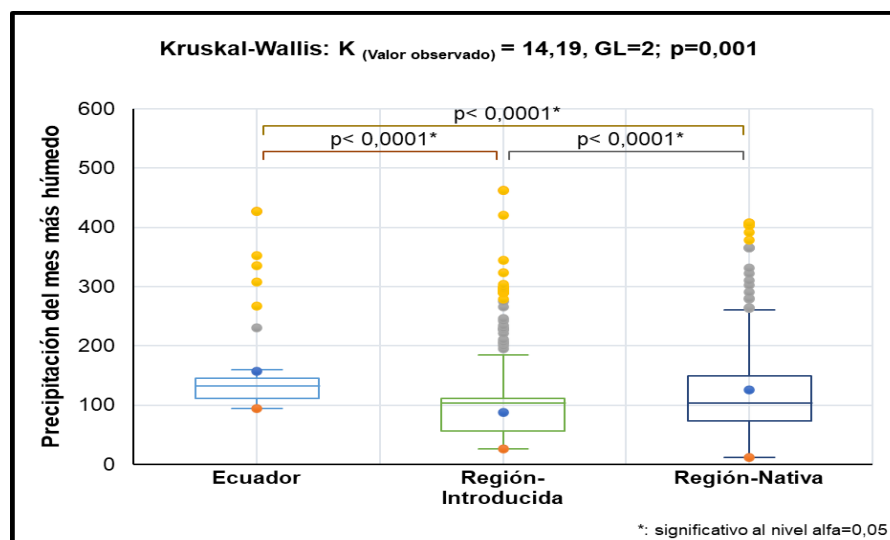
**Figuras 1.** Temperatura media anual en los sitios con registros de presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador, en otras zonas de invasión en Norteamérica y en la región nativa

La precipitación anual en estas áreas exhibe una variabilidad notable. En los sitios de presencia en Ecuador, los niveles de precipitación anual fluctuaron entre 615 mm y 1284 mm, con un promedio de 910,5 mm, significativamente superior al valor promedio en la región nativa ( $p = 0,007$ ) y de invasión ( $p = 0,001$ ; Figura 2). Se destaca un máximo extremo de 3069 mm. En las áreas donde se han introducido en Norteamérica, la precipitación varió desde 105 mm hasta 2032 mm, con una media de 910 mm. En cuanto a las regiones nativas, se obtuvo una variabilidad en la precipitación anual que abarca desde 105 mm hasta 2603 mm, con un promedio de 722 mm. Los resultados evidencian una diferencia en los niveles de precipitación anual entre las regiones nativas y las áreas donde se han introducido, sin embargo, no fueron significativas ( $p = 0,136$ ; Figura 2).



**Figuras 2.** Precipitación anual en los sitios con registros de presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador, en otras zonas de invasión en Norteamérica y en la región nativa

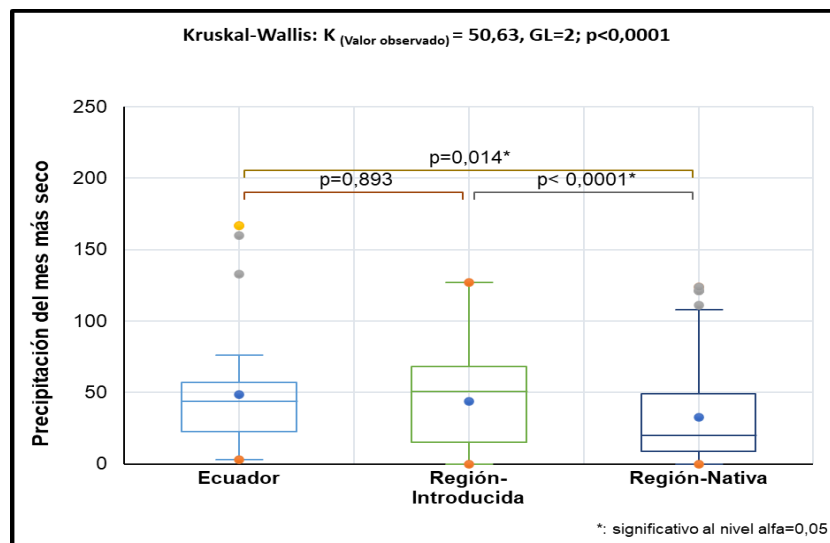
La precipitación durante el mes más húmedo en diversas regiones muestra niveles heterogéneos de influencia. En Ecuador, la precipitación media durante este período varió entre 94 y 157,4 mm, con un promedio de 111,5 mm y un máximo extremo de 427 mm. En contraste, en las zonas donde se ha introducido la trucha arcoíris, la precipitación fluctuó entre 15 y 195 mm, con un promedio de 88,34 mm y un máximo extremo de 463 mm, significativamente menor a Ecuador y a la región nativa ( $p < 0,0001$ ; Figura 3). El área nativa mostró una precipitación que va desde 15 hasta 263 mm, con una media de 103,5 mm, lo que también indica una considerable variabilidad.



**Figuras 3.** Precipitación del mes más húmedo en los sitios con registros de presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador, en otras zonas de invasión en Norteamérica y en la región nativa

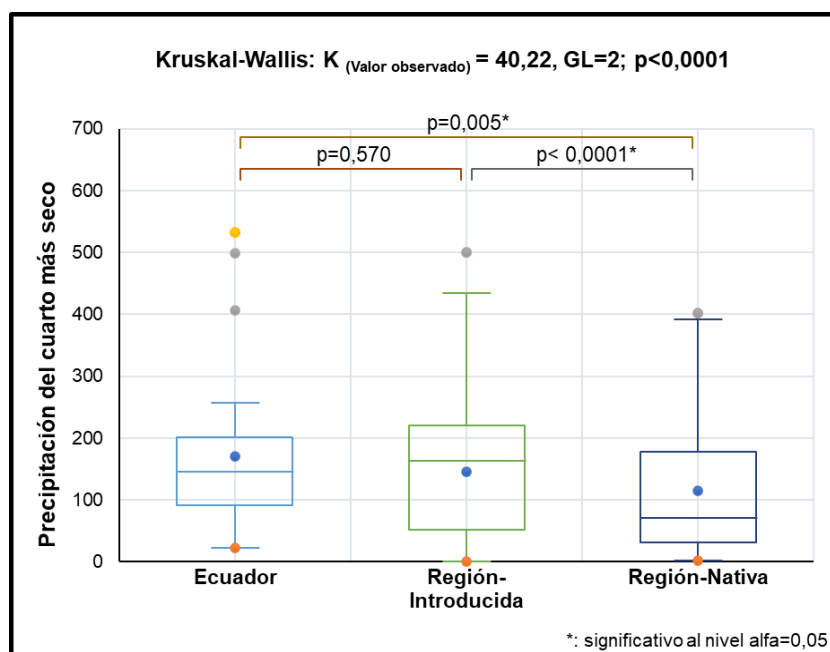
La precipitación del mes más seco varía considerablemente en Ecuador, oscilando entre 5,4 mm y 76 mm, con una media de 48,65 mm, similar ( $p = 0,893$ ) a la precipitación en la región de introducción e invasión en Norteamérica (43,95 mm; Figura 4). Por otro lado, en las regiones nativas,

la precipitación del mes más seco fue mucho más baja, variando entre 5,4 mm y 111 mm, con una media de 25,20 mm y un valor máximo extremo de 124 mm ( $p < 0,0001$ ; Figura 4).



**Figuras 4.** Precipitación del mes más seco en los sitios con registros de presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador, en otras zonas de invasión en Norteamérica y en la región nativa

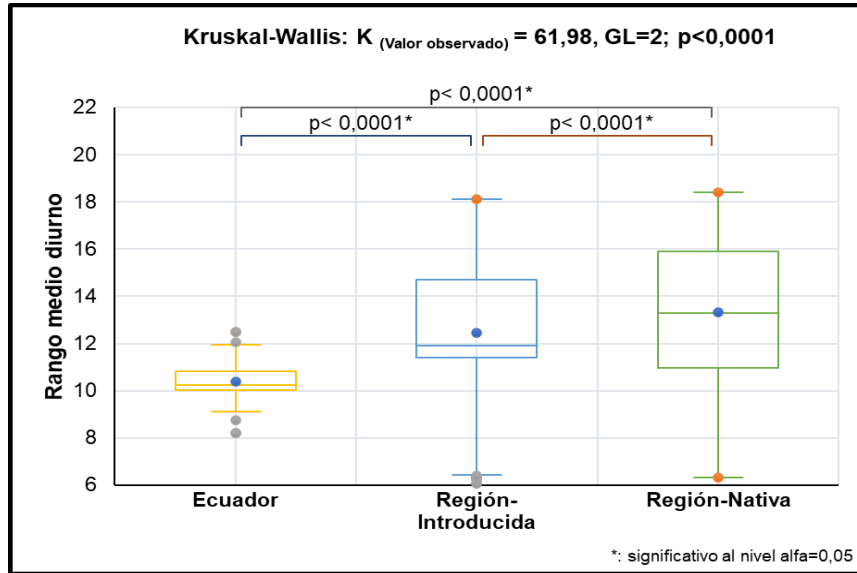
La precipitación del trimestre más seco en estas áreas varía considerablemente. En regiones ecuatoriales, la precipitación anual varía entre 18 hasta 257 mm, con una media de 170,14 mm y valores dispersos de hasta 532 mm (Figura 5). En contraste, en regiones de introducción, la precipitación oscila entre 18 hasta 434 mm, con una media de 146,29 mm y valores dispersos de hasta 500 mm. En la región nativa muestran una variabilidad en la precipitación anual que va desde 18 hasta 402 mm, con una media de 71 mm (Figura 5). Sin embargo, los resultados indican que no hay diferencia significativa en la Precipitación del cuarto más seco, a pesar de no haber mencionado inicialmente tal comparación.



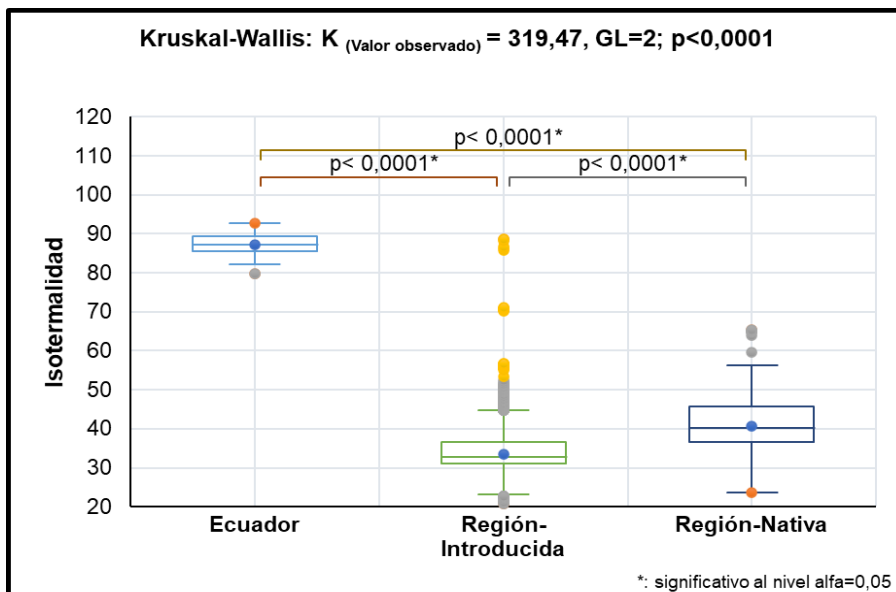
**Figuras 5.** Precipitación del trimestre más seco en los sitios con registros de presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador, en otras zonas de invasión en Norteamérica y en la región nativa



El rango medio diario (media mensual de la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima) en estas áreas muestra una influencia variable. En las regiones de Ecuador, el rango medio diario osciló entre 8,76 hasta 12,05 °C, con una temperatura media de 10,38°C. En contraste, en las regiones donde ha sido introducida, la variación fue desde 6,42 hasta 18,125 °C, con una temperatura media de 12,43°C (Figura 6). La región nativa presenta una variabilidad que va desde 6,42 hasta 18,39 °C, con una temperatura media de 13,31°C. Sin embargo, los resultados muestran una diferencia significativa en el rango medio diario, indicando una variación notable entre las áreas nativas y las introducidas.

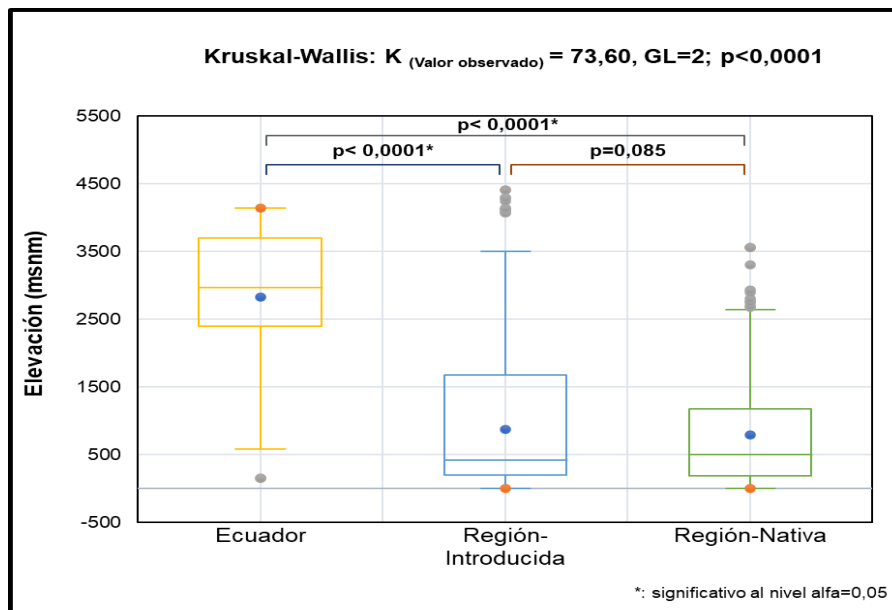


**Figuras 6.** Rango medio diario en los sitios con registros de presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador, en otras zonas de invasión en Norteamérica y en la región nativa La isoterma varió desde 79,82 hasta 92,83 para Ecuador, una media de 87,25, la más alta entre las tres regiones analizadas (Figura 7). Esto contrasta significativamente con las áreas de invasión, lo que indica una mayor variabilidad en las temperaturas en las regiones introducidas en comparación con las nativas.



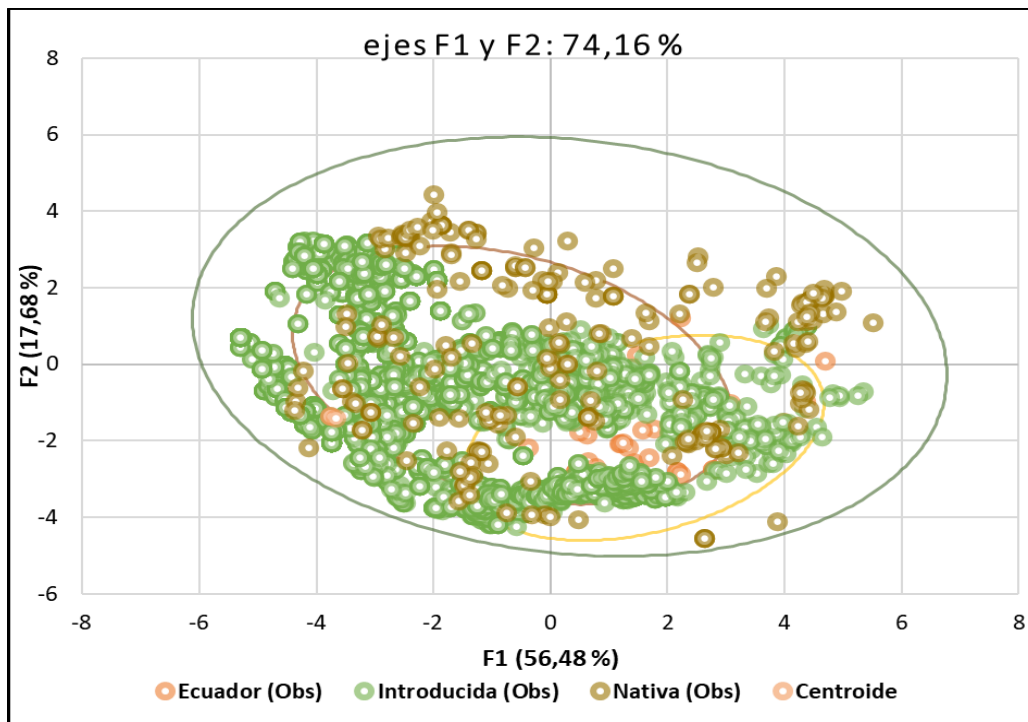
**Figuras 7.** Isotermalidad en los sitios con registros de presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador, en otras zonas de invasión en Norteamérica y en la región nativa

Las truchas arcoíris se encuentran tanto en regiones nativas como introducidas, y su hábitat se ve influenciado principalmente por la elevación. En las regiones de Ecuador, la elevación varía entre 586 y 4146 msnm, con una media de 2830,2 m (Figura 8). Este valor fue significativamente mayor en comparación con las regiones introducidas, cuya elevación oscila entre -2 y 3502 m, con una media de 25,422 m.



**Figuras 8.** Elevación en los sitios con registros de presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador, en otras zonas de invasión en Norteamérica y en la región nativa

El ACP mostró correlaciones significativas entre las variables y los primeros dos componentes, los cuales explicaron el 74,16% de la varianza de los datos (Figura 9). Las variables con más peso en el primer componente fueron de precipitación e incluyen dos de temperatura: temperatura mínima del mes más frío y rango anual de temperatura. La proyección de los dos primeros componentes formó una nube de puntos que refleja más de la mitad de la variabilidad de las 16 dimensiones del nicho ambiental de la trucha arcoíris, la cual mostró una extensión general semejante en sus registros en la región de introducción y aquellos de la región nativa (Figura 9). En el contexto de esta variación global, los registros de presencia en Ecuador continental se encuentran mucho menos restringidos y concentrados hacia uno de los extremos del nicho general. Esta baja centralidad sugiere que las condiciones en Ecuador no suelen ser las típicas para la especie, aunque aún se incluyen dentro del rango de variabilidad que puede soportar. Esta disposición sugiere que la especie aun no ocupa toda el área favorable donde podría proliferar e invadir en Ecuador, según su tolerancia ecológica ante la variabilidad climática (Figura 9).



**Figuras 9.** Espacio formado por la reducción de 16 dimensiones del nicho ambiental por medio de un Análisis de Componentes Principales (ACP), de la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* donde se compara la extensión del nicho en Ecuador continental, en relación con el nicho en la región de introducción en Norteamérica y en la nativa.

### 3.2. Rendimiento del modelo

De los 1581 modelos candidatos, 1578 modelos fueron identificados como estadísticamente significativos. Entre estos, se destacan cuatro modelos que cumplen con los criterios de tasa de omisión, así como 11 modelos que satisfacen los criterios AICc. Además, se identificó un modelo estadísticamente significativo que cumple con los criterios de omisión, junto con otros 11 modelos que cumplen tanto los criterios estadísticamente significativos como los criterios AICc.

La métrica de calidad del modelo final tuvo un AUCratio = 1.573, lo que indica alta capacidad predictiva y superioridad como un predictor eficaz en comparación con un modelo aleatorio. La tasa de omisión del 5% fue de 0,143, lo que refleja la robustez del modelo en términos de su capacidad para prevenir omisiones significativas. En cuanto al valor general del AUC entre todas las réplicas realizadas, el modelo final tuvo un buen rendimiento ( $AUC = 0,881 \pm 0,027$ ).

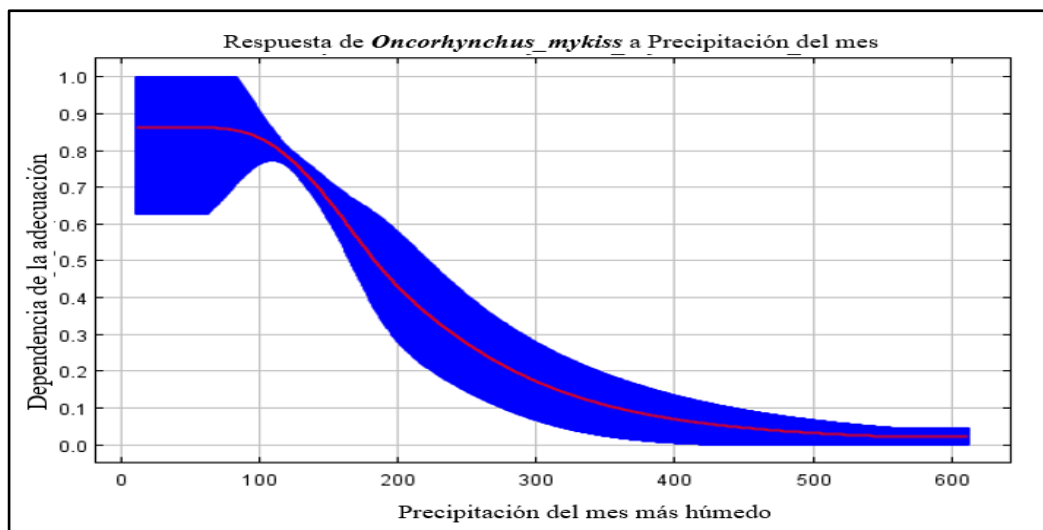
### 3.3. Contribuciones de las variables

La precipitación del mes más húmedo tuvo el mayor porcentaje de contribución al modelo (53,2%) y una importancia de permutación del 34,2% (Tabla 3). Asimismo, la isotermalidad mostró una relevancia considerable con una contribución del 28,8%. Sin embargo, el rango medio diario y el rango anual de temperatura tuvieron los menores aportes al modelo.

**Tabla 3.** Análisis de las variables ambientales y su contribución porcentual en la modelación del nicho ecológico de la especie exótica invasora trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador continental.

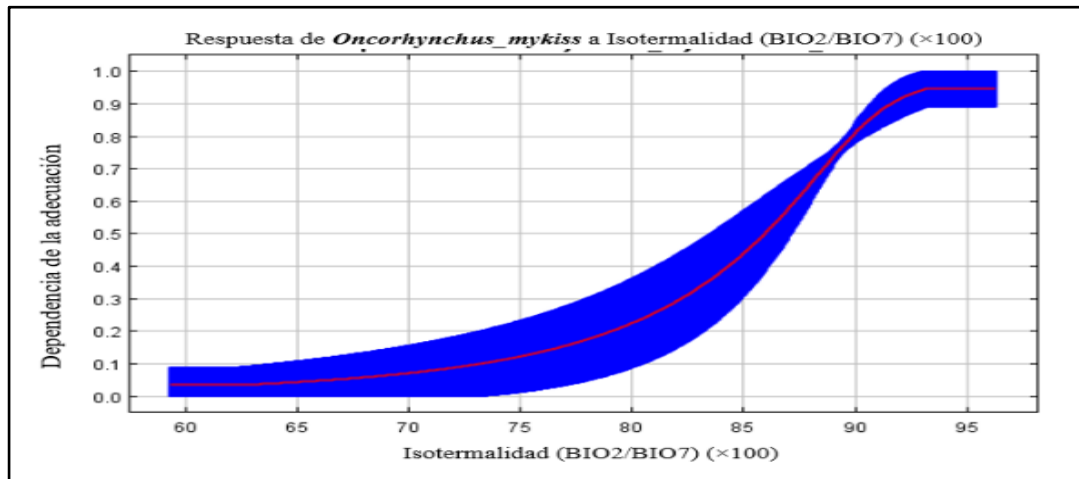
Variables	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Precipitación del mes más húmedo	53.2	34.2
Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100)	28.8	20.3
Precipitación del Cuarto Más Seco	11.2	26.9
Precipitación Anual	4.1	11.5
Rango medio diario (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))	2.5	5.9
La Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)	0.2	1.2

La precipitación del mes más húmedo tuvo la mayor ganancia cuando se utiliza de forma aislada. De igual forma, esta variable es la que más disminuye la ganancia del modelo cuando se omite. Cuando la cantidad de precipitación alcanza alrededor de los 100 mm, la probabilidad de encontrar condiciones climáticas adecuadas para la especie disminuye, lo que disminuye la idoneidad (Figura 10).



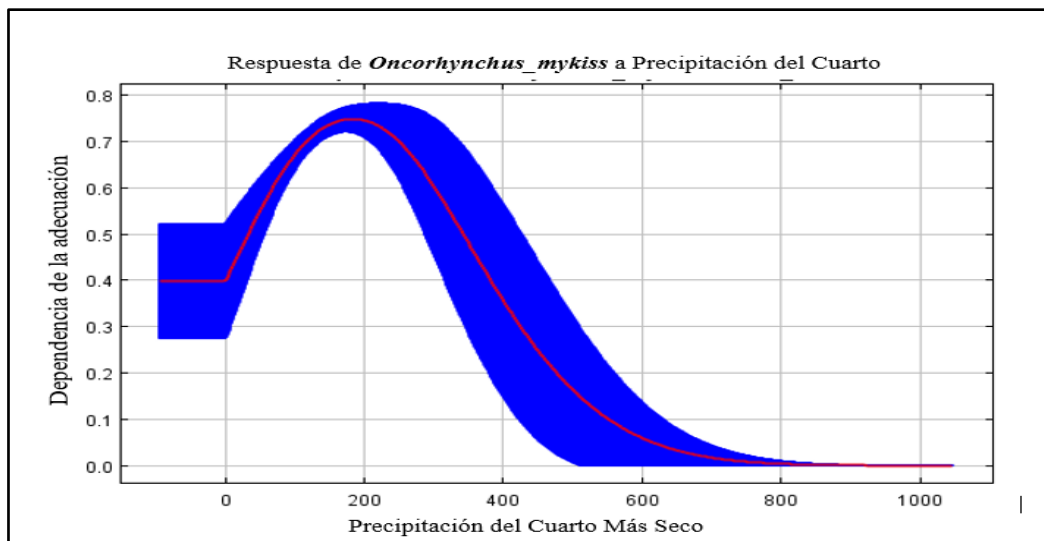
**Figuras 10.** Comportamiento de la adecuación climática de la trucha arcoíris frente a las variaciones de la precipitación del mes más húmedo, según el modelo del nicho ecológico de para Ecuador continental

De acuerdo con el análisis del modelo, los aumentos de la isotermalidad conducen a aumentos de la probabilidad de adecuación climática para la trucha arcoíris (Figura 11). A partir de valores de isotermalidad superiores a 93 se optimizan las condiciones climáticas para la especie en cuestión (Figura 11). Cualquier valor por debajo de este punto resulta en una disminución de la adecuación climática para dicha especie.



**Figuras 11.** Comportamiento de la adecuación climática de la trucha arcoíris frente a las variaciones de la isoterma, según el modelo del nicho ecológico de para Ecuador continental

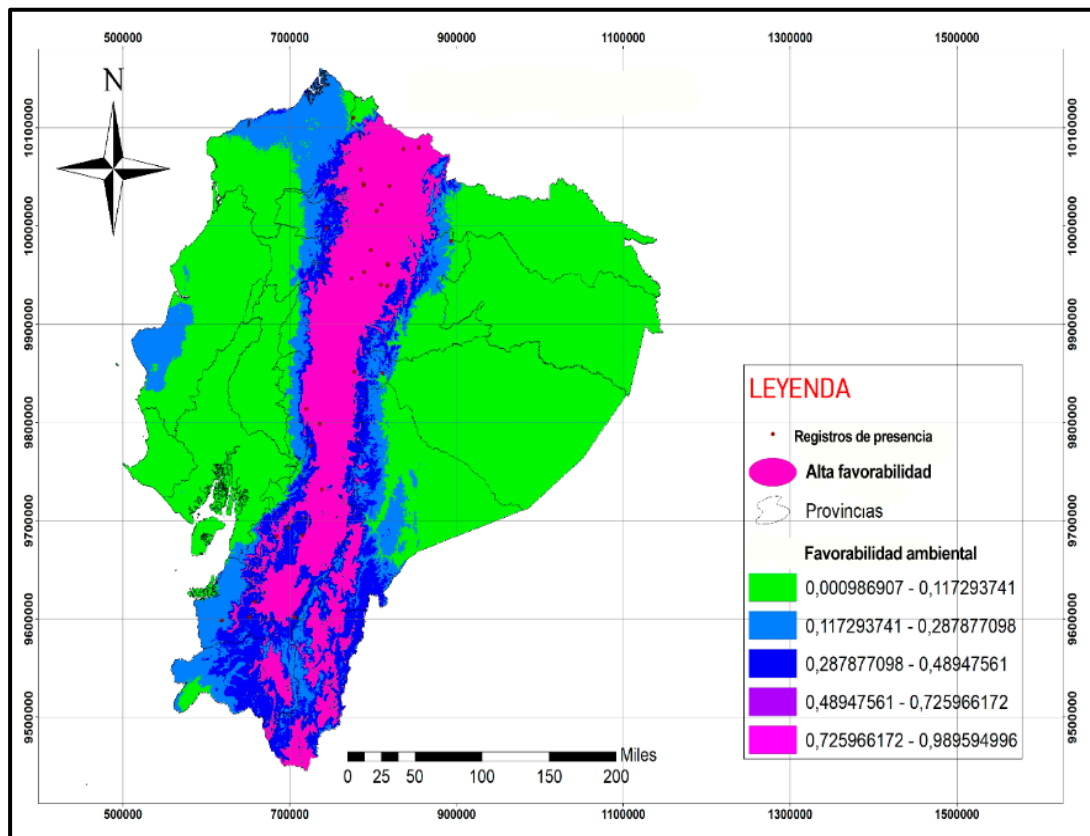
El comportamiento de la probabilidad de adecuación tuvo un patrón diferente frente a las variaciones en las precipitaciones durante el trimestre más seco. Existió un punto (198 mm) para el cual se maximiza la probabilidad de adecuación (Figura 12), por encima o por debajo de este valor de precipitaciones disminuye la adecuación para la especie.



**Figuras 12.** Comportamiento de la adecuación climática de la trucha arcoíris frente a las variaciones de la precipitación del cuarto mes más seco, según el modelo del nicho ecológico de para Ecuador continental.

Según la proyección espacial del modelo de nicho ecológico de la trucha arcoíris en Ecuador, se observó que las áreas que presentan condiciones climáticas adecuadas se encuentran principalmente en la región interandina (Figura 13). En estas zonas se ha identificado una mayor proporción de hábitats idóneos. El área favorable ocupa alrededor de 52,373 km<sup>2</sup>; sin embargo, es importante señalar que la cobertura de hábitats adecuados disminuye notablemente en las regiones

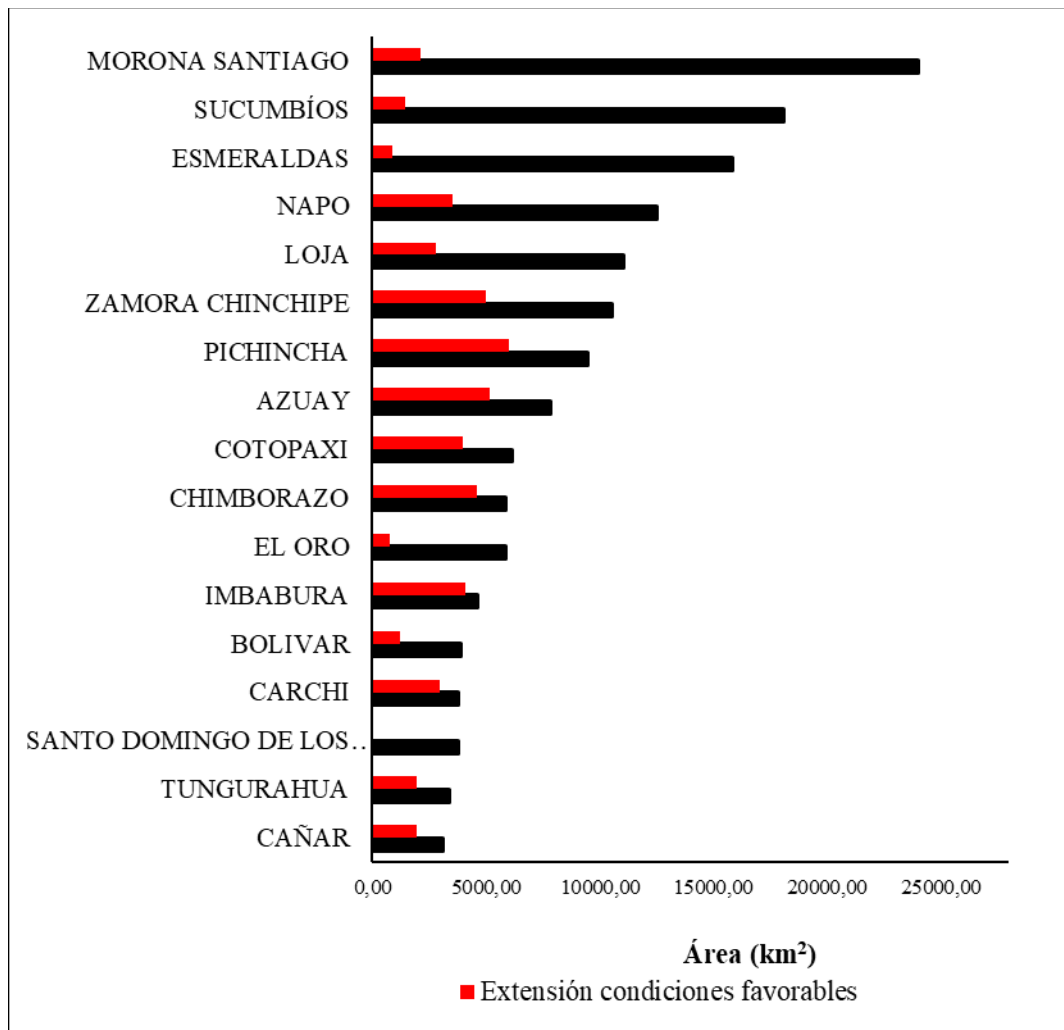
costeras y del oriente ecuatoriano, donde la disponibilidad de condiciones óptimas es más limitada (Figura 13).



**Figuras 13.** Distribución geográfica potencial de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Ecuador continental

La provincia Pichincha, ubicada en la región interandina de Ecuador, presentó la mayor extensión de condiciones climáticas favorables para la especie (6040,51 km<sup>2</sup>), en comparación al área de su territorio administrativo (9466,92 km<sup>2</sup>). Este análisis también señala a Zamora Chinchipe (5030,64 km<sup>2</sup>) y Chimborazo (4602,77 km<sup>2</sup>) como áreas con una gran extensión de área con condiciones ambientales favorables para la trucha (Figura 14).

Entre las provincias de menor extensión en Ecuador, se destacan Santo Domingo de los Tsáchilas, El Oro y Esmeraldas (Figura 14). Estas áreas, a pesar de su tamaño reducido en comparación con otras provincias, poseen una riqueza y diversidad notable. Por ejemplo, Santo Domingo de los Tsáchilas abarca aproximadamente (46,39 km<sup>2</sup> vs 3378,70 km<sup>2</sup>), en contraste con la extensa área de otras regiones. Similarmente, El Oro cubre una superficie de (801,34 km<sup>2</sup> vs 5866,82 km<sup>2</sup>), mientras que Esmeraldas se extiende por unos (909,60 km<sup>2</sup> vs 15854,52 km<sup>2</sup>).



**Figura 14.** Comparación entre el área con condiciones favorables para la presencia de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en cada provincia y la extensión administrativa de estas en Ecuador continental.

El análisis espacial de la extensión de la distribución potencial de la trucha arcoíris dentro del SNAP de Ecuador indicó que de las 18 áreas protegidas identificadas como favorables para la distribución y expansión de la especie, el 33% tienen favorabilidad climática en la totalidad de su extensión territorial (Figura 14 y 15). Entre estas destacaron la Reserva Ecológica El Ángel (159,747 km<sup>2</sup> vs 159,745 km<sup>2</sup>), El Refugio de Vida Silvestre Pasochoa (6,320 km<sup>2</sup> vs 5,869 km<sup>2</sup>), la Reserva de Producción Faunística Chimborazo (530,932 km<sup>2</sup> vs 530,924 km<sup>2</sup>), la Reserva Geobotánica Pululahua (35,419 km<sup>2</sup> vs 35,418 km<sup>2</sup>), Parque Nacional Cotopaxi (322,555 km<sup>2</sup> vs 322,55 km<sup>2</sup>) y el Área Nacional de Recreación El Boliche (3,921 km<sup>2</sup> vs 3,920 km<sup>2</sup>). Estas áreas protegidas son las de mayor riesgo ecológico por la invasión de la trucha arcoíris, todas ubicadas en la región norte y centro de la cordillera andina ecuatoriana. Además, las áreas protegidas Reserva Ecológica Antisana (53%), Cayambe Coca (71,4%), Cotacachi Cayapas (50%) y Refugio de Vida Silvestre el Zarza (81%) tienen entre el 50 y el 81% del territorio con favorabilidad para la invasión de la trucha (Figuras 14 y 15). Se destaca la implicación de categorías de conservación de alta relevancia como la reserva ecológica y el parque nacional. Entre las 18 áreas protegidas, el 33% corresponde a Parques Nacionales, otro 33% corresponde a Reservas Ecológicas (Figura 15).

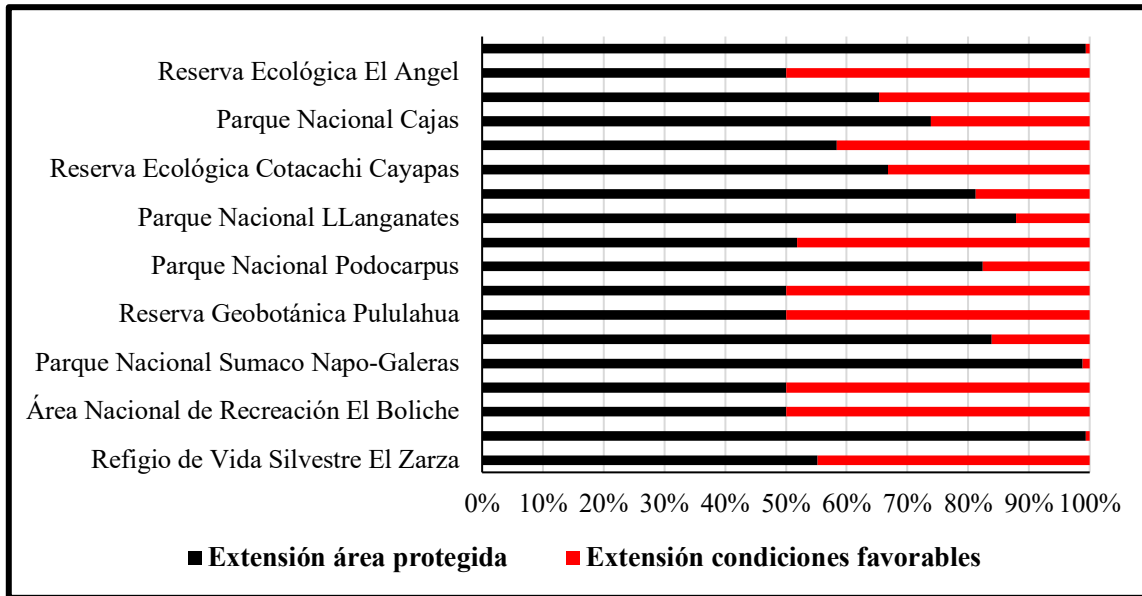


Figura 15. Distribución geográfica potencial de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador continental

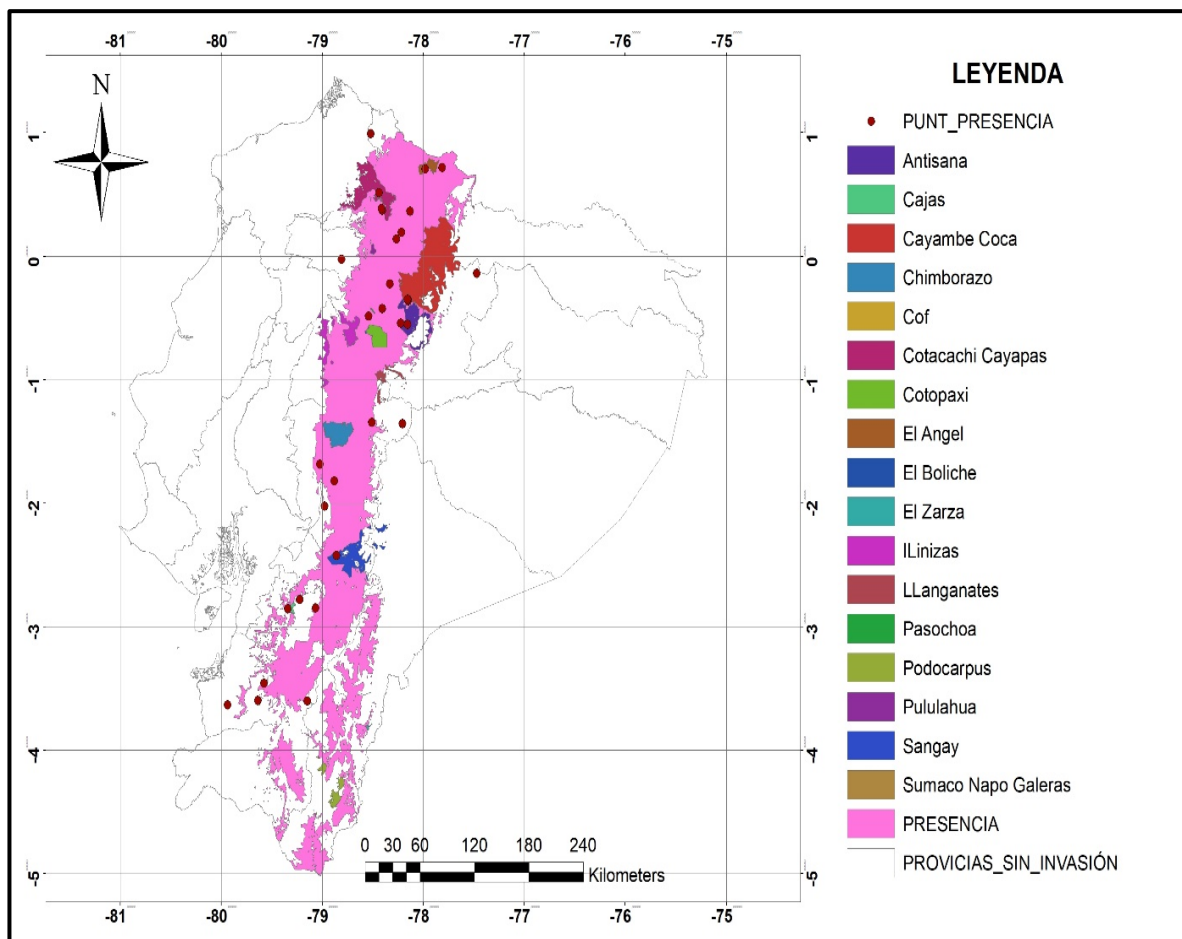


Figura 16. Relación entre la extensión de área favorable para la invasión de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador Continental y la extensión territorial-administrativa de las mismas.



#### 4. Discusión

El estudio del potencial de invasión de especies exóticas como la trucha arcoíris en áreas protegidas, es esencial para la conservación de la biodiversidad. Las modelaciones de nicho ecológico ofrecen una herramienta clave en este contexto, permitiendo prever la expansión de estas especies invasoras y diseñar estrategias de manejo y control. En Ecuador, donde las especies invasoras representan una amenaza significativa para la biodiversidad, comprender el potencial de invasión de la trucha arcoíris es crucial para mitigar sus impactos negativos en los ecosistemas acuáticos nativos y protegidos. Esta evaluación brinda una visión más completa de los factores climáticos que podrían influir en el establecimiento y propagación de la trucha arcoíris en el entorno natural ecuatoriano.

La invasión potencial identificada en la región andina de Ecuador es consecuencia de las condiciones climáticas favorables para la especie en esta zona. La temperatura disminuye con la altitud, promediando entre 8 y 20°C entre 1500 y 3000 msnm, con un descenso de ~5°C por cada 1000 m. Estas condiciones climáticas coinciden con los resultados de [18], quienes han demostrado que la trucha arcoíris prefiere aguas frías y claras con altos niveles de oxígeno disuelto y baja turbidez. Estas condiciones son importantes para su supervivencia y reproducción. Además, [5] han señalado la importancia de la temperatura del agua y el flujo como factores clave que influyen en la distribución de la trucha arcoíris, destacando la vulnerabilidad de esta especie a los cambios ambientales, como el calentamiento global.

Aunque en este estudio se hayan utilizado variables del ambiente, la temperatura del agua en estos ríos andinos está relacionada directamente con la temperatura ambiente e inversamente con la altitud al disminuir la presión atmosférica. Las aguas de gran altitud de los Andes ecuatorianos carecen de peces autóctonos, pero la trucha arcoíris se ha introducido ampliamente y todos estos registros fueron predichos por el modelo resultante de esta investigación. Muchos de los lagos pequeños y poco profundos de gran altitud (3800–4300 msnm) en Ecuador están invadidos y dominados por la trucha. En estas aguas frías, esta especie consume principalmente a los macroinvertebrados bentónicos lo que produce efectos en la parte pelágica de las redes tróficas lacustres, principalmente en la comunidad de cladóceros [19].

Las truchas arcoíris son conocidas por ser carnívoras y su dieta varía según la disponibilidad de alimentos en su entorno. Investigaciones como la de [20], han examinado cómo la temperatura y el flujo del agua influyen en el comportamiento alimentario y la selección de hábitat, destacando su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales. Esta plasticidad podría ser un foco de alerta ya que las truchas no tendrían dificultad en cuanto a la disponibilidad de fuentes de alimentos en cuencas bajas y ríos de la región costera o amazónica. Esta información es relevante si se integra con los resultados del modelo, que indicó que cuencas hídricas importantes y extensas de zonas bajas (ej. Esmeralda, Pastaza) tienen condiciones climáticas apropiadas para la especie. Esto no implica que la especie esté presente en la actualidad, pero podría esperarse cambios en su distribución a futuro, dependiendo de los cambios en los ecosistemas asociados a la disponibilidad de presas como consecuencia de varios factores sinérgicos como el cambio climático, la sobreexplotación pesquera y las invasiones biológicas.

Aun cuando hay favorabilidad ambiental en las cuencas bajas y que se conoce que los peces pueden vivir en un amplio rango de temperaturas, el sistema inmune no funciona igual en todas ellas, siendo las óptimas las mejores [10]. El incremento de 10 °C aumenta en un 15 % el metabolismo, lo que afecta la eficiencia alimentaria [21]. Por estas barreras ambientales asociadas al aumento de temperatura, turbiedad del agua y disponibilidad de oxígeno disuelto que varía en las

cuencas bajas asociado al aumento de actividades antropogénicas, además de los propios factores geográficos, las truchas se mantienen en las zonas altas interandinas y no bajan a los ríos costeros.

A su vez, según el modelo resultante, la isoterma influye y limita de manera significativa la distribución de la especie en Ecuador. La trucha arcoíris prefiere temperaturas más frescas y aguas bien oxigenadas, típicas de aguas frías de montaña. Cuando la isoterma aumenta entre el 80% y el 93%, indica una mayor uniformidad en la temperatura del agua, lo que puede ser beneficioso para el crecimiento y reproducción de las truchas. Esta mayor estabilidad térmica le proporciona a la trucha un ambiente más constante y menos estresante, lo que mejora su capacidad para encontrar alimento, mantener un metabolismo eficiente y reducir la competencia con otras especies adaptadas a fluctuaciones de temperatura, que aparecen generalmente en cuerpos hídricos a menor altitud. En este sentido, los menores valores de isoterma indicaron menor favorabilidad para la especie, en zonas bajas. Las zonas costeras o bajas suelen tener temperaturas más cálidas y fluctuantes, lo que no es favorable para las truchas.

La relación entre la isoterma y la altitud explica por qué las truchas arcoíris no descienden a zonas costeras o bajas, ya que estas áreas no ofrecen las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo. Estos resultados coinciden con [22], quien indica que la presencia predominante de las truchas en la región interandina y no en la costa se debe a una combinación de factores ambientales y biológicos que hacen de las zonas montañosas un hábitat mucho más adecuado para esta especie. La temperatura del agua, la calidad y estructura del hábitat, la disponibilidad de alimento, y las condiciones necesarias para la reproducción son factores cruciales que determinan esta distribución geográfica. Adaptarse a estos factores ha permitido que las truchas prosperen en la región interandina, mientras que las condiciones menos favorables de la costa limitan su presencia en esas áreas, relacionado ello con la temperatura del agua y la altitud. En cambio, la [23] indica que la trucha arcoíris es un pez de rápido crecimiento, adaptable a diversos entornos donde predominan ríos y lagos de aguas frías, y es fácil de manejar. Sin embargo, son muy exigentes en cuanto a la calidad del agua, que debe ser limpia y con una alta concentración de oxígeno disuelto. Estos dos últimos parámetros, con los valores requeridos por la trucha, son difíciles de obtener en el contexto actual de contaminación de los cuerpos hídricos ecuatorianos en zonas bajas, razón que suma e incide sobre la baja probabilidad de encontrar condiciones adecuadas para la especie en ríos costeros y de zonas bajas. Es probable que esta especie sobreviva en dichas cuencas, pero menos probable que se convierta en invasora.

El uso de los modelos de nicho ecológico para predecir la distribución potencial de una especie invasora es un método potente [21], pero ha sido menos preciso para analizar los impactos potenciales, las vías de introducción y los eventos de introducción exitosos. Además, la heterogeneidad climática y geográfica de Ecuador dificulta la exactitud y precisión en cuanto a las estimaciones de distribución, sobre todo en salmónidos cuya distribución está estrechamente relacionada con las condiciones climáticas. La temperatura desempeña un papel fundamental en la crianza exitosa de la trucha arcoíris. Esta especie se desarrolla mejor en un rango de temperaturas de agua que va desde los 10°C hasta los 18°C. Sin embargo, cuando las temperaturas superan los 21°C, pueden surgir problemas como el estrés térmico, la disminución en el crecimiento y una mayor susceptibilidad a enfermedades. Por lo tanto, mantener una estabilidad térmica alta, que implica reducir las variaciones térmicas anuales, crea un entorno más constante y beneficioso para la acuicultura de la trucha arcoíris [24]. En este sentido, sería más apropiado seleccionar las cuencas fluviales como escala espacial de análisis, ya que son unidades hidrológicas compactas y coherentes que también reflejan los límites biogeográficos y ecológicos [24]. Aun así, aumentar la resolución de las evaluaciones disminuyendo la escala espacial del área de evaluación del riesgo mejoraría las

predicciones de la probabilidad de establecimiento e invasión de las especies de salmónidos, ya que con frecuencia muestran una adaptación local a cada entorno [24].

No es sorprendente que entre las variables más explicativas que determinan la distribución de la trucha arcoíris en Ecuador esté la isothermalidad. Esto se asocia justamente a la ecología de la especie, de aguas frías y nativa de cuencas del Pacífico de Norteamérica y el noreste de Siberia. Asimismo, otro estudio en Turquía identificó a la temperatura media anual mínima y máxima como las variables determinantes del modelo de distribución de la especie [24] lo que explica en gran medida por qué las cuencas fluviales septentrionales resultan más adecuadas para la trucha arcoíris en comparación con las regiones más cálidas situadas en el centro y el sur de Turquía [24].

Otros factores como el régimen de caudales[25], el tamaño del arroyo[26] y el gradiente [27] afectan la distribución y el establecimiento de las truchas arcoíris. En el presente estudio, la precipitación fue otra variable que podría explicar la mayor idoneidad del hábitat para las truchas. Esto podría atribuirse a la menor cantidad de precipitaciones en zonas altas de montaña, en comparación con la alta pluviosidad en zonas bajas y amazónicas del país.

#### *Consideraciones para el manejo y control de la especie*

Aunque el uso de especies no autóctonas tiene una importancia indispensable para la acuicultura a nivel mundial, también plantea riesgos considerablemente altos para la biodiversidad autóctona, ya que las especies acuáticas que se escapan pueden convertirse en invasoras en determinados entornos. A pesar de que se tomen todas las medidas pertinentes para evitar la fuga de organismos que se crían como peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, es bien sabido que las especies se escapan. Esto no solo ocurre con las especies de peces, como es el caso del presente estudio, sino también con algunos mamíferos[28], plantas de jardín[29] y plantas acuáticas[30], las cuales podrían haberse introducido con éxito en muchas partes del mundo.

En términos de perspectivas al futuro, es crucial que se incorpore la probabilidad de escape de las granjas piscícolas para cuantificar el riesgo global de invasión de *O. mykiss*. Los escapes de peces de las granjas pueden ser perjudiciales tanto para las especies naturales como para los ingresos de la acuicultura. Además, debe tomarse en serio, especialmente en el caso de los puntos críticos de cría de la especie que están próximos a zonas importantes de biodiversidad.

Los resultados de esta investigación sobre la distribución de la trucha arcoíris proporcionan una visión importante sobre los factores que influyen en la propagación de esta especie invasora. Se ha descubierto que las áreas protegidas en la región interandina son particularmente susceptibles a la invasión, lo que resalta la necesidad de implementar medidas de control y erradicación en estas zonas. Además, el estudio revela una fuerte asociación entre variables climáticas como la precipitación y la isothermalidad sobre la idoneidad del hábitat para la trucha arcoíris. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar los cambios climáticos en la planificación de estrategias de prevención, erradicación y/o control de especies invasoras en los ecosistemas ecuatorianos.

Uno de los puntos necesarios de manera inmediata es el establecimiento de programas de monitoreo para seguir de cerca la distribución y expansión de la trucha arcoíris en las áreas identificadas como favorables para su presencia. Se podrán realizar protocolos efectivos para el control y la erradicación de la trucha en áreas donde su presencia represente un riesgo significativo para la biodiversidad nativa. Se deben implementar medidas de control en áreas protegidas y cuencas hídricas de alto riesgo ecológico por su relación con el nivel de endemismo de anfibios que son afectados significativamente por las truchas[11]. Se debe llevar a cabo programas de restauración de hábitats naturales en áreas afectadas por la invasión de la trucha arcoíris, con un

enfoque en la recuperación de los ecosistemas acuáticos y la conservación de la diversidad biológica.

Otros elementos para tomar en consideración incluyen la realización de campañas de sensibilización sobre los impactos negativos de las especies invasoras, incluida la trucha arcoíris, en los ecosistemas naturales. La capacitación a la población sobre cómo prevenir la propagación de especies invasoras podría contribuir a la concientización ambiental para fomentar la cooperación y el intercambio de mejores prácticas. Es necesario continuar con investigaciones sobre la ecología y el comportamiento de la trucha arcoíris, así como las estrategias de control y erradicación más efectivas en el contexto de los ecosistemas nativos ecuatorianos. Esta investigación ayudará a mejorar la eficacia de las medidas de manejo a largo plazo, manteniendo el plan de manejo y control actualizado en función de nuevos hallazgos científicos y cambios en la distribución y abundancia de la trucha arcoíris. Esto garantizará que la estrategia se adapte a las condiciones cambiantes y continuará siendo efectivo en la protección de la biodiversidad de Ecuador.

### *Consideraciones finales*

Aun se debate si los modelos de distribución de especies son lo bastante precisos para predecir el posible establecimiento y propagación de especies introducidas [31]. Según esta incertidumbre, sería necesario recopilar datos de campo para apoyar la validación del modelo obtenido. Se han identificado vacíos de información en el contexto científico y político para la gestión eficaz de las invasiones biológicas, que indican que las especies exóticas invasoras no se gestionan adecuadamente porque reciben menos atención por parte científicos, políticos y gestores [24]. Esto es esencialmente importante a la hora de abordar las especies exóticas invasoras mediante la prevención, la detección temprana, la respuesta rápida, la erradicación y el control, que se consideran todos financieramente exigentes[32]. En los casos en que las cuencas fluviales contienen tanto especies de peces nativos como trucha arcoíris, la aplicación de tales medidas depende en gran medida de las autoridades locales y de la percepción pública, principalmente debido al valor económico de esta especie. Sin embargo, dado que los resultados del presente estudio sugieren la presencia potencial en los ecosistemas protegidos y que se ha evidenciado en otros estudios el impacto negativo sobre especies de macroinvertebrados [19] y vertebrados[11], debería encontrarse un equilibrio entre los impactos ecológicos y los beneficios económicos de la trucha arcoíris.

## 5. Conclusión

El modelado del nicho ecológico para *Oncorhynchus mykiss* ha demostrado ser efectivo, con una capacidad predictiva elevada y un rendimiento sobresaliente en pruebas. Se destacan la isothermalidad y la precipitación como variables climáticas determinantes del modelo de distribución de la especie, en concordancia con la distribución de hábitats en aguas frías de altura, típicas de las preferencias de la trucha. La región Interandina de Ecuador representa una zona con alta probabilidad de presencia de la especie, debido a sus características ambientales favorables. Esta área constituye un entorno idóneo que puede adaptarse con facilidad a las necesidades biológicas y ecológicas de esta especie. Las condiciones climáticas, la calidad del agua y la disponibilidad de recursos en la región ofrecen un hábitat adecuado para el desarrollo y la sostenibilidad de la trucha arcoíris.

Las áreas protegidas, como Parques Nacionales y Reservas Ecológicas, están en mayor riesgo de invasión por la especie, ya que coinciden con más del 50% y 70% de sus distribuciones

potenciales. Esto podría resultar en significativos impactos ambientales adversos en estas zonas, destacando la necesidad de medidas preventivas y de gestión para proteger estos ecosistemas.

**Contribución de autores:** Todos los autores han contribuido sustancialmente al trabajo.

**Financiamiento:** Los autores financiaron a integridad el estudio.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

1. Torres Chuquimarca, G.M. Estrategias preventivas a especies invasoras acuáticas en el interior del Golfo de Guayaquil en el 2011 2012.
2. Balmori, A. Utilidad de la legislación sobre especies invasoras para la conservación de las especies de galápagos ibéricos. *Boletín la Asoc. Herpetológica Española* **2014**, *25*, 68-74.
3. Curiel, P.B. Las especies exóticas invasoras y el Derecho, con especial referencia a las especies acuáticas, la pesca recreativa y la acuicultura. *Rev. Catalana Dret Ambient.* **2012**, *3*.
4. Ju, R.; Li, X.; Jiang, J.; Wu, J.; Liu, J.; Strong, D.R.; Li, B. Emerging risks of non-native species escapes from aquaculture: call for policy improvements in China and other developing countries. *J. Appl. Ecol.* **2020**, *57*, 85-90.
5. Naman, S.M.; Rosenfeld, J.S.; Jordison, E.; Kuzyk, M.; Eaton, B.C. Exploitation of Velocity Gradients by Sympatric Stream Salmonids: Basic Insights and Implications for Instream Flow Management. *North Am. J. Fish. Manag.* **2020**, *40*, 320-329, doi:10.1002/NAFM.10411.
6. Scott, D.; Irvine, J.R. Competitive exclusion of brown trout *Salmo trutta* L., by rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum, in lake tributaries, New Zealand. *Fish. Manag. Ecol.* **2000**, *7*, 225-237.
7. Weigel, D.E.; Peterson, J.T.; Spruell, P. Introgressive hybridization between native cutthroat trout and introduced rainbow trout. *Ecol. Appl.* **2003**, *13*, 38-50.
8. Quiñonez I., E. "EVALUACIÓN DE LA SOBREVIVENCIA DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN LA ETAPA DE ENGORDE BAJO UN SISTEMA CON RECIRCULACIÓN DE AGUA EN PIMAMPIRO, IMBABURA". **2017**, *10*.
9. Martín-Torrijos, L.; Sandoval-Sierra, J.V.; Muñoz, J.; Diéguez-Urbeondo, J.; Bosch, J.; Guayasamin, J.M. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) threaten Andean amphibians. *Neotrop. Biodivers.* **2016**, *2*, 26-36, doi:10.1080/23766808.2016.1151133.
10. Martha V. Buenaño C. Hemograma de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en tres etapas de producción en la cuenca alta de la provincia del Napo, Ecuador. *Boletín Técnico, Ser. Zoológica* **2019**, *9*, 2.
11. JLaura Martín-Torrijos a , José Vladimir Sandoval-Sierraa , Jesús Muñoz C.A, J.D.-U. aJaime B. b yJuan M.G. Trucha arcoiris (*Oncorhynchus mi beso*) amenazan a los anfibios andi. *Biodivers. Neotrop.* **2016**, *2*.
12. Krynak, K.L.; Wessels, D.G.; Imba, S.M.; Krynak, T.J.; Snyder, E.B.; Lyons, J.A.; Guayasamin, J.M. Call survey indicates rainbow trout farming alters glassfrog community composition in the Andes of Ecuador. *Amphib. Reptil. Conserv.* **2020**, *14*, 1.
13. Vimos, D.J.; Encalada, A.C.; Ríos-Touma, B.; Suárez, E.; Prat, N. Effects of exotic trout on benthic communities in high-Andean tropical streams. *Freshw. Sci.* **2015**, *34*, 770-783, doi:10.1086/681540.

14. GBIF GBIF: Global Biodiversity Information Facility 2023.
15. Cobos, M.E.; Peterson, A.T.; Barve, N.; Osorio-Olvera, L. kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ* **2019**, *7*, e6281.
16. Fick, S.E.; Hijmans, R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* **2017**, *37*, 4302–4315, doi:10.1002/JOC.5086.
17. Ranjitkar, S.; Sujakhu, N.M.; Lu, Y.; Wang, Q.; Wang, M.; He, J.; Mortimer, P.E.; Xu, J.; Kindt, R.; Zomer, R.J. Climate modelling for agroforestry species selection in Yunnan Province, China. *Environ. Model. Softw.* **2016**, *75*, 263–272, doi:10.1016/j.envsoft.2015.10.027.
18. Rossi, G.J.; Power, M.E.; Carlson, S.M.; Grantham, T.E. Seasonal growth potential of *Oncorhynchus mykiss* in streams with contrasting prey phenology and streamflow. *Ecosphere* **2022**, *13*, 4211, doi:10.1002/ecs2.4211.
19. Amán, J. LA PRODUCCION DE LA TRUCHA ARCO IRIS EN EL DESARROLLO LOCAL , MENCION PLANIFICACION DESARROLLO Y OREDENAMIENTO TERRITORIAL. *Unach* **2023**, *53*.
20. Keeley, E. R., et al. (2020). «Temperature and flow regulate habitat selection and movements by bull trout (*Salvelinus confluentus*) in a thermally heterogeneous stream.» **2020**, *65(6)*, 1154–1167.
21. Ibarra-Montoya, J.L.; Rangel-Peraza, G.; Fernando, ; González-Farías, A.; De Anda, J.; Martínez-Meyer, E.; Macías-Cuellar, H. Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Rev. Ambient. Agua* **2012**, *7*, 218–234, doi:10.4136/AMBI-AGUA.607.
22. Barriga, R. LISTA DE PECES DE AGUA DULCE E INTERMAREALES DEL ECUADOR \*. *Rev. Politécnica* **2012** *2011*, *3*, 83–119.
23. FAO FAO Fisheries & Aquaculture – Programa de información de especies acuáticas – *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) Disponible en: [https://firms.fao.org/fi/website/FIRRetrieveAction.do?dom=culturespecies&xml=Oncorhynchus\\_mykiss.xml&lang=es](https://firms.fao.org/fi/website/FIRRetrieveAction.do?dom=culturespecies&xml=Oncorhynchus_mykiss.xml&lang=es) (accedido 30 mayo 2024).
24. Yoğurtçuoğlu, B.; Bucak, T.; Ekmekçi, F.G.; Kaya, C.; Tarkan, A.S. Mapping the Establishment and Invasiveness Potential of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Turkey: With Special Emphasis on the Conservation of Native Salmonids. *Front. Ecol. Evol.* **2021**, *8*, 1–16, doi:10.3389/fevo.2020.599881.
25. Kurt D. Fausch, Yoshinori Taniguchi, Shigeru Nakano, Gary D. Grossman, C.R.T. LOS REGÍMENES DE PERTURBACIÓN POR INUNDACIONES INFLUYEN EN EL ÉXITO DE LA INVASIÓN DE LA TRUCHA ARCOÍRIS EN CINCO REGIONES HOLÁRTICAS. *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 2176–2181.
26. Rahel, F.J.; Olden, J.D. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conserv. Biol.* **2008**, *22*, 521–533.
27. Adams, S. Mechanisms limiting a vertebrate invasion: Brook trout in mountain streams of the northwestern United States of America. *Grad. Student Theses, Diss. Prof. Pap.* **1999**.
28. Simberloff, D.; Martin, J.L.; Genovesi, P.; Maris, V.; Wardle, D.A.; Aronson, J.; Courchamp, F.; Galil, B.; García-Berthou, E.; Pascal, M.; et al. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends Ecol. Evol.* **2013**, *28*, 58–66, doi:10.1016/J.TREE.2012.07.013.
29. SARAH HAYDEN REICHARD Y PETER WHITE La horticultura como vía de introducción de plantas invasoras en Estados Unidos Disponible en: [https://bioone.org/journals/bioscience/volume-51/issue-2/0006-3568\(2001\)051%5B0103%3AHAAPOI%5D2.0.CO%3B2/Horticulture-as-a-Pathway-of-Invasive-Plant-Introductions-in-the/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0103:HAAPOI\]2.0.CO;2.short](https://bioone.org/journals/bioscience/volume-51/issue-2/0006-3568(2001)051%5B0103%3AHAAPOI%5D2.0.CO%3B2/Horticulture-as-a-Pathway-of-Invasive-Plant-Introductions-in-the/10.1641/0006-3568(2001)051[0103:HAAPOI]2.0.CO;2.short) (accedido 25 noviembre 2024).
30. Meinesz, A.; Hesse, B. Introduction of the tropical alga *Caulerpa taxifolia* and its invasion of the

- northwestern Mediterranean. *Oceanol. Acta* **1991**, *14*, 415–426.
31. Raffini, F.; Bertorelle, G.; Biello, R.; D'Urso, G.; Russo, D.; Bosso, L. From nucleotides to satellite imagery: Approaches to identify and manage the invasive pathogen *Xylella fastidiosa* and its insect vectors in Europe. *Sustainability* **2020**, *12*, 4508.
32. Britton, J. R., Gozlan, R. E., and Copp, G.H. 2011. Managing non-native fish in the environment. *עלון* 6–17, 66, **2011** *הניסע*, doi:10.1111/j.1467-2979.2010.



© 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>