

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA AMBIENTAL  
DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y FUTURA DEL  
VECTOR DE LA MALARIA, EL MOSQUITO *Anopheles  
benarrochi* (DÍPTERA: CULICIDAE), EN LA AMAZONÍA  
PERUANA**

**Autora: Bach. Patricia Yamileth Rodriguez Diaz**

**Asesores: Ph.D. Jaris Emmanuel Veneros Guevara  
Dr. Erick Stevinsonn Arellanos Carrión**

Registro: \_\_\_\_\_

**Chachapoyas – Perú**

**2023**

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-H

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

#### 1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Rodriguez Diaz Patricia Yamileth  
DNI N°: 70837202  
Correo electrónico: patriciayamilethrodriguezdiaz@gmail.com  
Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental  
Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

#### Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): \_\_\_\_\_  
DNI N°: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Facultad: \_\_\_\_\_  
Escuela Profesional: \_\_\_\_\_

#### 2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Distribución potencial actual y futura del vector de la malaria, el mosquito *Anopheles benarrochi* (Diptera: Culicidae), en la Amazonia Peruana.

#### 3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Veneros Guevara Jaris Emmanuel  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 46145659  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>): 0000-0001-6981-4078

#### Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Arellano Carrion Erick Stevinson  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44542645  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>): 0000-0003-4665-7262

#### 4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Immunología)

5.09.00 otras ciencias sociales, 5.09.02. otras ciencias sociales

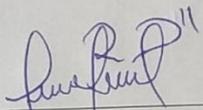
#### 5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

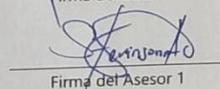
#### 6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC. Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 14 agosto /2023

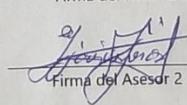


Firma del autor 1



Firma del Asesor 1

Firma del autor 2



Firma del Asesor 2

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A mi amada madre, Dalia Mari Diaz Ramirez, por haberme formado con buenos valores y hábitos de estudio, además por ser el soporte y motivo para triunfar en mi vida personal y profesional.

A mi querido hermano menor Juan Carlos para motivar sus deseos de superación en su vida profesional.

A mis asesores, docentes de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza y amigos que me encaminaron de una u otra manera en lograr esta meta.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por regalarme la vida llena de perseverancia, fortaleza y valor para superarme cada día.

A mis asesores, Ph.D. Jaris Emmanuel Veneros Guevara y Dr. Erick Stevinsonn Arellanos Carrión, por los conocimientos, tiempo, dedicación y apoyo brindado en todas las etapas de elaboración de la presente tesis.

A Ph.D. Ligia Magali García Rosero, por sus aportes y recomendaciones para fortalecer este anhelado proyecto.

A los profesionales miembros del jurado Ph.D. Danilo Bustamante Mostajo, Mg Nilton Beltrán Rojas Briceño y Mg. Jhonsy Silva López, por los comentarios y sugerencias brindadas durante la ejecución de este proyecto, que me ha permitido mejorar en mi formación profesional.

A mis amigos, que de una y otra manera han contribuido en la realización de esta bonita investigación.

A la ONG La Alianza Alemana, por el apoyo y respaldo recibido en mi formación académica.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA**

*Rector*

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES**

*Vicerrector Académico*

**Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA**

*Vicerrectora de Investigación*

**Ph.D. RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS**

*Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental*

## VISTO BUENO DE ASESOR



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

### ANEXO 3-L

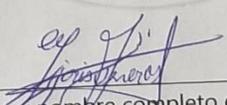
#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ( )/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Distribución Potencial actual y futura del vector de la malaria, el mosquito Anopheles bernardi (Diptera: Culicidae), en la Amazonía peruana. del egresado Patricia Yamileth Rodríguez Díaz de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 18 de Julio de 2023

  
Firma y nombre completo del Asesor

Jasis Emmanuel Verna Cueva

## VISTO BUENO DE ASESOR



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ( )/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Distribución potencial actual y futura del vector de la malaria, el mosquito Anopheles benarrochi (Diptera: Culicidae), en la Amazonia peruana. ; del egresado Patricia Yamileth Rodriguez Diaz de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

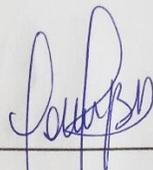
El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 18 de Julio de 2023



Firma y nombre completo del Asesor  
Erick Steinvonn Arellanos Carrion

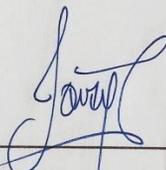
## JURADO EVALUADOR



---

**Ph.D. Danilo Edson Bustamante Mostajo**

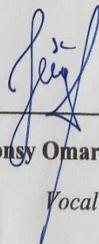
*Presidente*



---

**Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño**

*Secretario*



---

**Mg. Jhonsy Omar Silva López**

*Vocal*

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

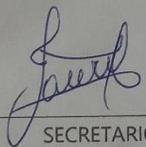
"Distribución potencial actual y futura del vector de la malaria, el mosquito *Anopheles benarrochi* (Diptera: Culicidae) en la Amazonía peruana",  
presentada por el estudiante ( )/egresado (x) Patricia Yamileth Rodríguez Díaz  
de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
con correo electrónico institucional 7083720262@untrm.edu.pe

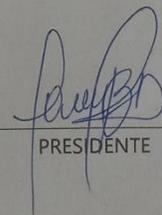
después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

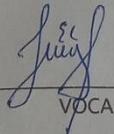
- La citada Tesis tiene 17 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor ( ) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 18 de julio del 2023

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-5

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 21 de Julio del año 2023, siendo las 12:08 horas, el aspirante: Bach. RODRIGUEZ DIAZ PATRICIA YAMILETH, asesorado por Ph.D. Jaris Emmanuel Verones Guana y Dr. Erick S. Arellano Carrero defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia ( ) la Tesis titulada: "Distribución Potencial Actual y futura del vector de la Malaria, el Mosquito Anopheles benarrochi (Diptera: Culicidae), en la Amazonia, Peruana", para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Ph.D. Danilo Esteban Bustamante Montojo

Secretario: Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño

Vocal: Mg. Thonsy Omar Silva López

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

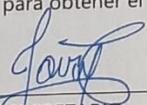
Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

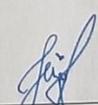
Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

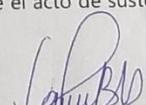
Aprobado (✓) por Unanimidad (✓)/Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:55 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:  
.....

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO.....	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS .....	v
VISTO BUENO DE ASESORES .....	vii
JURADO EVALUADOR .....	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD .....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	x
ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	ix
I.INTRODUCCIÓN .....	17
II.MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
2.1 Área de estudio .....	21
2.2 Flujograma metodológico.....	23
2.3 Recopilación, limpieza y filtrado de datos de ocurrencia de la especie .....	24
2.4 Obtención y selección de las variables ambientales .....	26
2.5 Modelamiento de distribución potencial actual y futura (2050).....	27
2.6 Evaluación e interpretación del modelo .....	28
2.7 Estimación del sitio adecuado para la distribución actual y futura de la especie ..	29
III. RESULTADOS .....	31
3.1 Distribución de la distribución potencial actual del mosquito <i>Anopheles benarrochi</i> , en la Amazonía peruana.....	31

3.1.1.	Elección de variables bioclimáticas de importancia .....	31
3.1.2.	Evaluación del modelo .....	31
3.1.3.	Estimación del sitio potencial actual.....	33
3.2.	Distribución futura de la distribución futura del mosquito <i>Anopheles benarrochi</i> , en la Amazonía peruana.....	35
3.2.1.	Elección de variables bioclimáticas de importancia .....	35
3.2.2.	Evaluación del modelo .....	36
3.2.3.	Estimación del sitio potencial futura para el 2050 (RCP 2.6 y RCP 2.8) .....	39
IV.	DISCUSIÓN .....	44
V.	CONCLUSIONES.....	49
VI.	RECOMENDACIONES .....	50
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
VIII.	ANEXOS .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Campos geográficos para el diseño de presencia de <i>A. benarrochi</i> según Veneros (2022). .....	25
<b>Tabla 2.</b> Diecinueve variables bioclimáticas para distribución actual (1970-2000) y futura (2050). .....	27
<b>Tabla 3.</b> Tabla de ponderaciones del AUC para evaluar el rendimiento del modelo predictivo según Jácome et al., (2019).....	28
<b>Tabla 4.</b> Índices ecoclimáticos para evaluar los hábitats potenciales de <i>A. benarrochi</i> según Tonnang et al., (2010). .....	29
<b>Tabla 5.</b> Datos del área bajo la curva AUC para la distribución actual de <i>A. benarrochi</i> ...	32
<b>Tabla 6.</b> Áreas de presencia potencial actual de <i>A. benarrochi</i> a nivel de Amazonía peruana.....	33
<b>Tabla 7.</b> Datos del área bajo la curva AUC para la distribución futura de <i>A. benarrochi</i> bajo el escenario RCP 2.6 .....	37
<b>Tabla 8.</b> Datos del área bajo la curva AUC para la distribución actual de <i>A. benarrochi</i> bajo el escenario RCP 8.5.....	37
<b>Tabla 9.</b> Áreas de presencia potencial futura de <i>A. benarrochi</i> bajo escenarios de cambio climático RCP 2.6 a nivel de Amazonía peruana.....	39
<b>Tabla 10.</b> Áreas de presencia potencial futura de <i>A. benarrochi</i> bajo escenarios de cambio climático RCP 8.5 a nivel de Amazonía peruana.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proceso de vida de la especie <i>Anopheles</i> . Inicia con la disposición de huevos en hábitat de agua y termina de desarrollarse como mosquito adulto en el aire. ....	18
<b>Figura 2.</b> Mapa del área de estudio Amazonía peruana (GEOBOSQUES, 2022).....	22
<b>Figura 3.</b> Flujograma metodológico para determinar la distribución actual y futura del mosquito <i>A. benarrochi</i> en la Amazonía peruana.....	23
<b>Figura 4.</b> Prueba correlación para determinar las variables bioclimáticas con mayor importancia en el modelado R SDM.....	31
<b>Figura 5.</b> Curvas de respuesta del paquete R SDM para <i>A. benarrochi</i> en la Amazonía peruana bajo escenario climático actual.....	32
<b>Figura 6.</b> Distribución potencial actual de la ocurrencia del mosquito <i>A. benarrochi</i> en la Amazonía peruana.....	34
<b>Figura 7.</b> Prueba de correlación para determinar las variables bioclimáticas futuras RCP 2.6 con mayor importancia en el modelado R SDM.....	35
<b>Figura 8.</b> Prueba correlación para determinar las variables bioclimáticas futuras RCP 8.5 con mayor importancia en el modelado R SDM.....	36
<b>Figura 9.</b> Curvas de respuesta del paquete R SDM para <i>A. benarrochi</i> en la Amazonía peruana bajo escenario climático RCP 2.6.....	38
<b>Figura 10.</b> Curvas de respuesta del paquete R SDM para <i>A. benarrochi</i> en la Amazonía peruana bajo escenario climático RCP 8.5.....	39
<b>Figura 11.</b> Áreas de distribución futura del mosquito <i>A. benarrochi</i> para el 2050 bajo el escenario de cambio climático RCP 2.6.....	41
<b>Figura 12.</b> Áreas de distribución futura del mosquito <i>A. benarrochi</i> para el 2050 bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5.....	42

## RESUMEN

El mosquito *Anopheles benarrochi* (Díptera: Culicidae) es uno de los principales vectores de la malaria en la Amazonía Peruana, y, dado el crecimiento exponencial de casos y muertes en las dos últimas décadas, representa una amenaza para las comunidades nativas. El objetivo de esta investigación fue analizar su distribución potencial actual y futura en la Amazonía Peruana. Se recopilaron 574 datos de ocurrencia de la base de datos Global Biodiversity Facility y artículos científicos, y se modeló la distribución geográfica en función de variables ambientales mediante Modelos de Distribución de Especies SDM del algoritmo MaxEnt. Al mismo tiempo, se determinaron las áreas climáticamente potenciales para el 2050 mediante Modelo de Circulación Global CMIP5-HadGEM2-ES en las Rutas de Concentración Representativas RCPs 2.6 y 8.5. El rendimiento del modelo tuvo un buen desempeño obteniendo valores superiores a 0.9 para la distribución actual y futura. Los resultados mostraron que la mayor extensión territorial para *A. benarrochi* en la distribución actual y futura RCP 2.6 y 8.5 es el índice ecoclimático de supervivencia a largo plazo con 294 510.57 km<sup>2</sup>, 315 372.37 km<sup>2</sup> y 302 314.82 km<sup>2</sup>. La variable bioclimática de mayor importancia para RCP2.6 fue Bio2 (Promedio de la temperatura mensual), y para RCP 8.5 la elevación. Estos datos permitirán a los tomadores de decisiones políticas, y de salud, establecer medidas preventivas de control y manejo del vector en la Amazonía peruana frente al cambio climático.

**Palabras clave:** Amazonía peruana, *Anopheles benarrochi*, Distribución potencial, Malaria, Vector.

## ABSTRACT

The mosquito *Anopheles benarrochi* (Diptera: Culicidae) is one of the main vectors of malaria in the Peruvian Amazon, and, given the exponential growth of cases and deaths in the last two decades, it represents a threat to native communities. The objective of this research was to analyse its current and potential future distribution in the Peruvian Amazon. We collected 574 occurrence data from the Global Biodiversity Facility database and scientific articles, and modelled the geographical distribution as a function of environmental variables using the Species Distribution Models SDM package of the MaxEnt algorithm. At the same time, climate potential areas for 2050 were determined using CMIP5-HadGEM2-ES Global Circulation Model in the Representative Concentration Pathways RCPs 2.6 and 8.5. Finally, biogeographic vector maps were obtained. The performance of the model performed well, obtaining values above 0.9 for the current and future distribution RCP2.6 and RCP8.5. The results showed that the largest areal extent for *A. benarrochi* in the current and future distribution RCP 2.6 and 8.5 is the long-term survival ecoclimatic index with 294 510.57 km<sup>2</sup>, 315 372.37 km<sup>2</sup> and 302 314.82 km<sup>2</sup> area. The most important bioclimatic variable for RCP2.6 was Bio2 (Mean monthly temperature), and for the RCP 8.5 climate scenario it was elevation. These data will allow decision-makers to make informed decisions about the climate scenario. These data will allow political and health decision-makers to establish preventive vector control and management measures in the Peruvian Amazon in the face of climate change.

**Key words:** Peruvian Amazon, *Anopheles benarrochi*, Potential distribution, Malaria, Vector.

## I. INTRODUCCIÓN

La malaria (o paludismo), es una infección causada por un mosquito del género *Anopheles*, que actúa como vector y transmite la enfermedad mediante picadura al ser humano. El parásito del género *Plasmodium* es responsable de esta enfermedad (Molina, 2008), que representa un desafío significativo para la salud pública. Aunque se han utilizado fármacos como la primetamina y la cloroquina para controlarla, con el tiempo se ha demostrado su ineficacia debido a la aparición de mosquitos resistentes a ellos (Jadan et al., 2019; Nosten et al., 2022). La Organización Mundial de la Salud (2021) registra casos y muertes de malaria a nivel mundial que superan los 200 millones casos y 409 mil muertes. Perú, uno de los países en Sudamérica hasta la actualidad ha sobrepasado los 24 mil casos y un millón de muertes por malaria (Sanchez-Castro et al., 2022). Asimismo, en la Amazonía peruana, la malaria registra los 11 140 casos en lo que va el 2023 (MINSA, 2023). El historial de malaria en Perú dio inicio en 1991 con 738 casos, y aumentaron a 77 108 casos en 1998 (Vargas, 2003). En el 2017 el Ministerio de Salud aprobó el Plan malaria cero (PMC), debido a la alta demanda de casos por malaria en la región amazónica de Loreto, con la finalidad de erradicar esta enfermedad en la Amazonía peruana (De Águila Tello, 2020). No obstante, el PMC se ha visto afectado en la pandemia por la COVID 19, impidiendo demostrar buenos resultados con las actividades de control (Traverso et al., 2022).

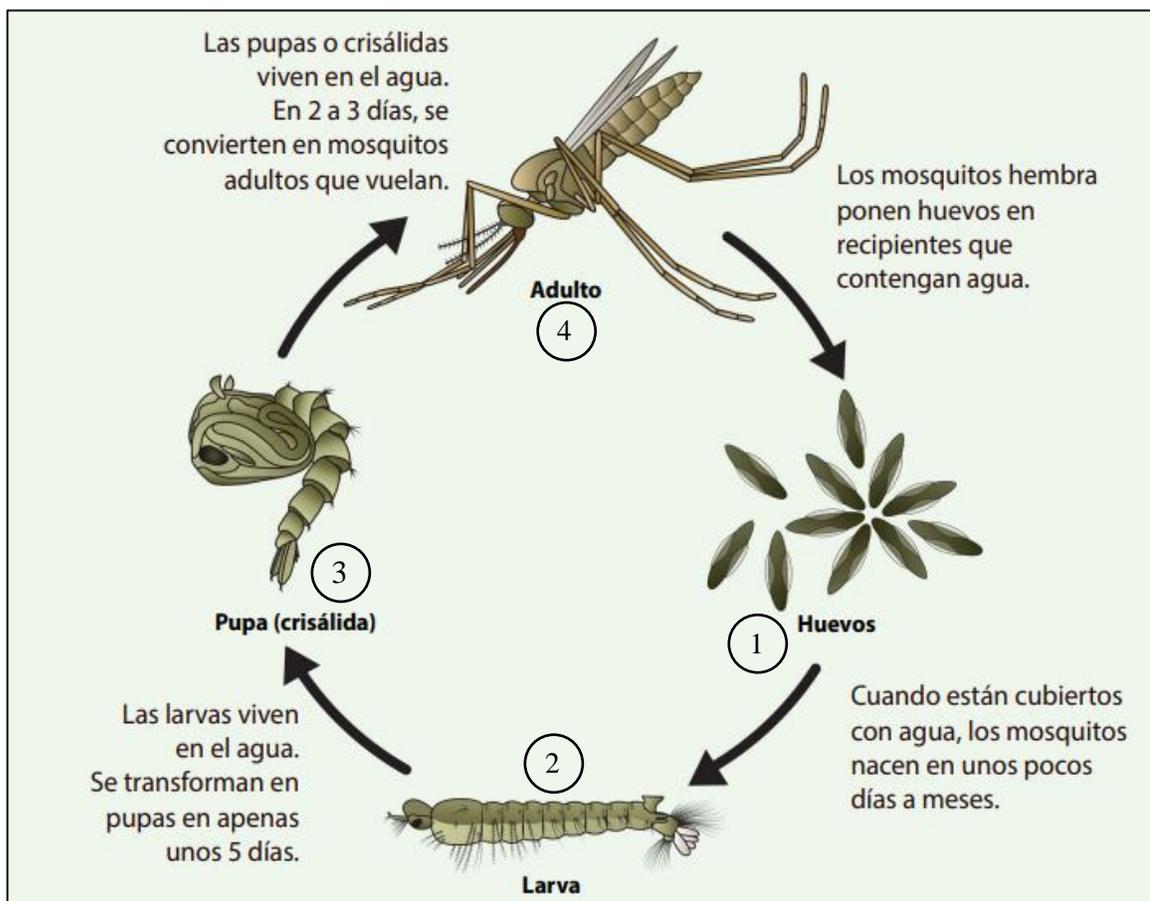
Actualmente, se han identificado 43 especies de *Anopheles* en Perú, cuatro de ellos señalados como vectores principales de la malaria, incluyendo a la especie *A. benarrochi* (Díptera, Culicidae) ubicado en la región Amazonas y partes de Amazonía peruana (Morales et al., 2021). Asimismo, en 2001-2002 se determinaron dos vectores de la malaria como primarios en la zona occidental del departamento de Loreto, siendo las especies *A. benarrochi* y *A. darlingi* (Flores-Mendoza et al., 2004; Espinoza-Gómez et al., 2013). La selva Amazónica es una región que padece carencias de agua potable, luz, acceso vial; es decir, predomina la extrema pobreza (Fernandez-Miñope et al., 2021; Morales et al., 2021). Condiciones que favorecen la predominancia de la malaria.

El ciclo biológico de los *Anopheles* cumple cuatro fases reproductivas (Figura 1). Inicia con la fase de huevos, depositados en un medio acuático y eclosionan periódicamente a los 15

días o meses. Seguidamente, pasa a una fase larvaria su aspecto morfológico es de gusano. Como fase tres ocurre la transformación en periodo de 5 días de larva a pupa en el agua. Finalmente mediante metamorfosis de pupa se convierte en un mosquito adulto en un hábitat acuático entre 2 a 3 días (González & Hernández, 2017).

**Figura 1.**

*Proceso de vida de la especie Anopheles. Inicia con la disposición de huevos en hábitat de agua y termina de desarrollarse como mosquito adulto en el aire.*



**Fuente:** (Centros para el Control de Enfermedades, 2022).

En una reciente investigación se ha descubierto el vector de malaria, el mosquito *A. benarrochi* en los márgenes del Río Santiago, en la provincia de Condorcanqui (Villegas-Pingo et al., 2022). Este mosquito habita en el bosque tropical, siendo una amenaza en la región Amazonas (Montenegro et al., 2021) principalmente, en las comunidades nativas de

Condorcanqui como Nueva Esperanza y Alianza Progreso, fronterizas con Ecuador (Villegas-Pingo et al., 2022) por lo que es considerado un riesgo mortal antrópico (Gil et al., 2015). Entre los síntomas que ocasiona la picadura de este mosquito infectado están la fiebre, dolor de cuerpo, escalofríos y cansancio (Morales et al., 2021; Nigussie et al., 2022). El mosquito *A. benarrochi* no solo se acentúa en la selva amazónica peruana, también en Ecuador, Brasil, Colombia y Venezuela (Morales et al., 2021). Generalmente, la zona de localización de los insectos palúdicos son de preferencia zonas calientes (Selva et al., 2022). De climas tropicales y/o templadas que ayudan a completar su ciclo de vida y acelerar el desarrollo de agentes infecciosos en un medio acuático (Lafferty, 2009).

La malaria, desde años remotos ha sido un obstáculo en la salud de las personas en la Amazonía (Montenegro et al., 2021). Dentro de la Amazonía no solo existe brote del mosquito *A. benarrochi*; sino también, del *A. darlingi* (Conn et al., 2013) vectores principales de la malaria que aquejan la salud de las personas. Esto se debe al calentamiento global y al cambio climático (Britos, 2022). El cambio climático hoy en día es el tema que está de moda a nivel mundial y nacional en el ámbito de las políticas públicas (Bezirtzoglou et al., 2011; Britos, 2022 & Alonso et al., 2022). Como por ejemplo el Protocolo de Kioto, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMNUCC, el Acuerdo de París, el Convenio sobre la diversidad biológica, los Objetivos del Desarrollo de las Naciones Unidas, entre otros (Alonso et al., 2022). Las causantes son las actividades humanas diarias el cual compromete un desarrollo sostenible, reducción de la contaminación ambiental y el cuidado de los componentes ecológicos (Véliz-Mero et al., 2019).

La presencia de mosquitos *A. benarrochi* en un territorio trae como consecuencias la proliferación y propagación de infecciones de malaria en humanos, repercutiendo en elevados índices de mortalidad y morbilidad (Gil et al., 2015). De manera que, este problema puede llegar a incrementarse con la migración natural del mosquito de un territorio a otro, generando a su vez una sucesión adaptativa en ellos (Ferro et al., 2011).

Es de importancia conocer las características del espacio o del paisaje que influye en el desarrollo y reproducción de los vectores (Parra-Henao, 2010). Como la situación ambiental o factores climáticos, que conllevan a cambios en el clima y pueden repercutir en la

distribución y abundancia de las especies (Awine et al., 2017; Mohammed et al., 2022). Por ejemplo, altas temperaturas, fuertes precipitaciones, humedad y el incremento de radiaciones solares pueden ser factores apropiados para la proliferación de vectores palúdicos (Stein et al., 2016). Teniendo en cuenta que la humedad influye en la supervivencia del mosquito, específicamente el 60% en una fase térmica entre 20 °C y 30 °C (Vargas, 2003). El Calentamiento Global y la transformación del medio ambiente son imprescindibles en la incidencia de distribución de la malaria (Nigussie et al., 2022; Pérez-García & Liria, 2013). Según los estudios de Aramburu et al. (1999) identificaron que los factores climáticos como la precipitación, temperatura y humedad inciden en la transmisión de los *Anopheles*.

En la actualidad, se desconoce la distribución potencial actual y futura del vector de la malaria, el mosquito *A. benarrochi*, por lo que, se asume que existan nuevas zonas o regiones habitables por este tipo de mosquitos (Ghakanyuy et al., 2022). En tal sentido, existe la necesidad de registrar puntos de ocurrencia de esta plaga y usarlas como herramientas para identificar zonas potenciales de distribución del mencionado mosquito en condiciones actuales en la región Amazónica peruana y proyectar la distribución potencial futura bajo condiciones de cambio del clima.

Los Sistemas de Información Geográficas (SIG), son herramientas de procesamiento que comprende el almacenamiento de datos espaciales integrados y referenciados ya sea en coordenadas geográficas o espaciales (Molina, 2008; Aguado-Bautista & Escalante, 2015) . Los SIG en la diversidad biológica juegan un papel muy importante, porque permiten localizar y conocer la distribución espacial de las especies (Guisan & Hofer, 2003). Salah et al. (2022), percibieron que los SIG sirven como sistemas de alerta temprana, crea un programa de erradicación de la malaria mediante la georreferenciación de hábitats. En la aplicación del SIG surgen los Modelos de Distribución Geográfica los cuales analizan la ubicación de las especies y la relación que guardan con las variables ambientales (Parra-Henao, 2010). Molina (2008), demostró la aplicación de los SIG en la estimación de casos de la malaria y su distribución geográfica en el Caribe.

Adicionalmente, el programa MaxEnt es una herramienta de gran ayuda para precisar los pocos datos de especies; en específico, consiste en la introducción de parámetros para

modelar y predecir el lugar y tiempo en que se encuentra determinadas especies (Phillips & Dudík, 2008; Elith et al., 2011). Como caso típico, es el gran uso de los modelos correlativos de especies SDM del algoritmo de Máxima Entropía MaxEnt para conocer la relación especie y medio ambiente (García et al., 2022). Por ende, MaxEnt, no solo es una herramienta que identifica puntos de incidencia de especies mediante variables o factores ambientales, predisponiendo el concepto de máxima entropía (Elith et al., 2011; Botello et al., 2015) sino que a partir de información incompleta desarrolla ciertas predicciones para conocer la distribución de las especies en el espacio geográfico a largo plazo (Aguado-Bautista & Escalante, 2015). Salehi et al. (2022), emplearon MaxEnt ver. 3.3. generando mapas a futuro de presencia de *Anopheles ssp* y prediciendo cuatro especies de *Anopheles* en el distrito Minab, Irán. Pakdak et al. (2017), con la ayuda de MaxEnt dieron a conocer la distribución futura de *A. stephensi*, *A. culicifacies* y *A. fluviatilis* y a la vez, estimaron el hábitat adecuado de estas especies. Mediante el modelamiento del paquete SDM de MaxEnt en R, lograron reconocer la eficiencia en la precisión de distribución de especies de plantas curativas en Egipto bajo los cuatro escenarios de cambio climático (Kaky et al., 2020).

Por consiguiente, la necesidad para controlar los índices de morbilidad y mortalidad de la malaria en la Amazonía peruana es urgente. Los fundamentos expuestos sustentan el objetivo de esta investigación, el cual busca analizar la distribución actual y futura del vector de la malaria, el mosquito *A. benarrochi* en la Amazonía peruana, así como estimar los lugares climáticamente potenciales para la localización de *A. benarrochi*.

## **II. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudio**

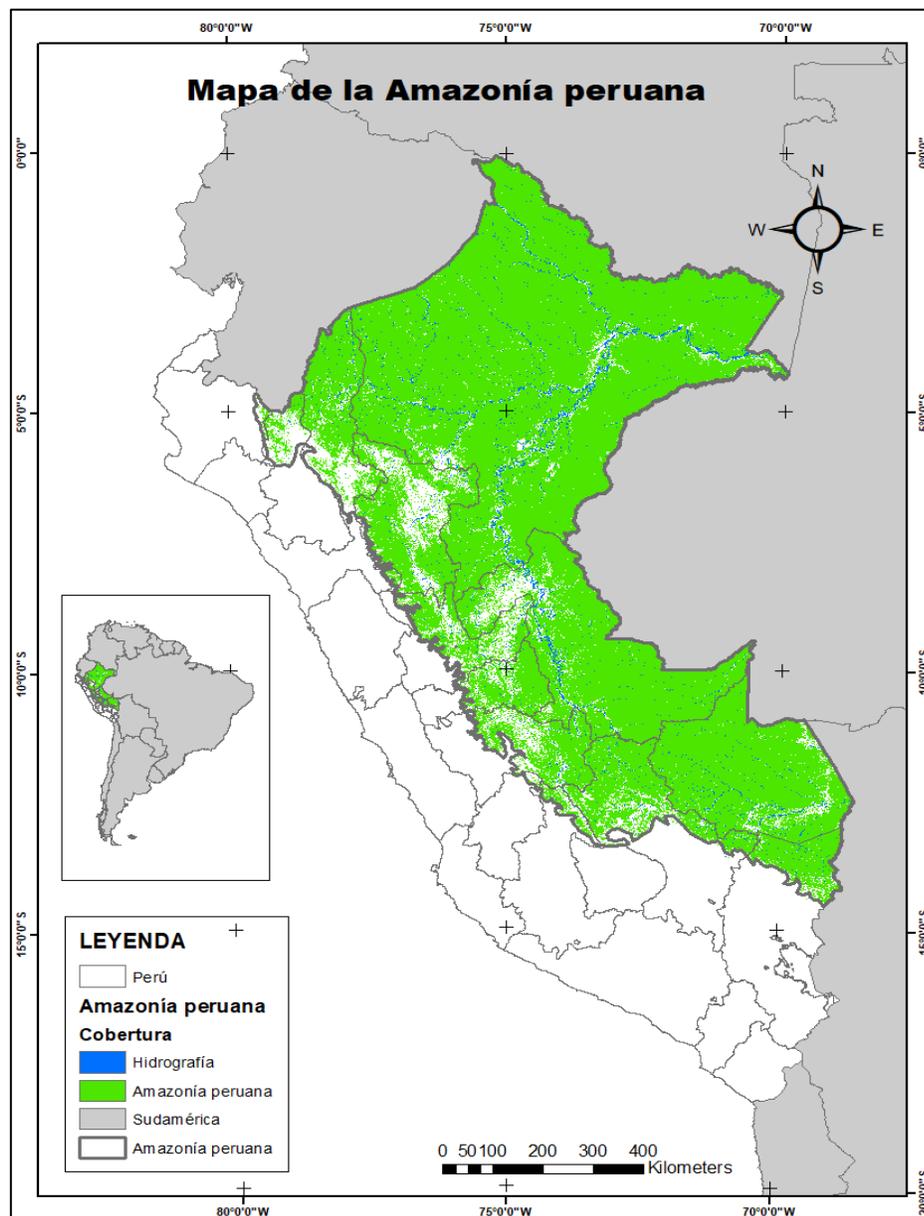
La Amazonía peruana supera una extensión de 770 000 km<sup>2</sup> y está compuesta por la gran selva tropical, ubicado al oriente de la Cordillera de los Andes (Figura 2). Biogeográficamente constituye el bioma de selva lluviosa y un clima tropical húmedo. Además, se clasifica en dos pisos altitudinales: Selva Baja y Selva Alta. El primer piso altitudinal también llamado Omagua, abarca una altitud entre los 80 a 800 m.s.n.m siendo una ecorregión de selva planicie con un clima tropical lluvioso y muy cálido, y con una humedad relativa mayor al 75%. El segundo piso altitudinal denominado también Rupa Rupa, se caracteriza por tener una altitud de 800 a 3 800 m.s.n.m siendo

una ecoregión muy lluviosa con clima cálido en partes bajas y templado en las partes altas. La temperatura típica de la Amazonía es un promedio de 27 °C, la precipitación promedio anual de 4mm y una humedad relativa promedio de 80% (Pizzitutti et al., 2019).

Parte de la población se encuentra distribuida a lo largo de las orillas de los ríos y alejados de las entidades de prestación de servicios en la salud (Morales et al., 2021).

**Figura 2.**

*Mapa del área de estudio Amazonía peruana según GEOBOSQUES (2022).*

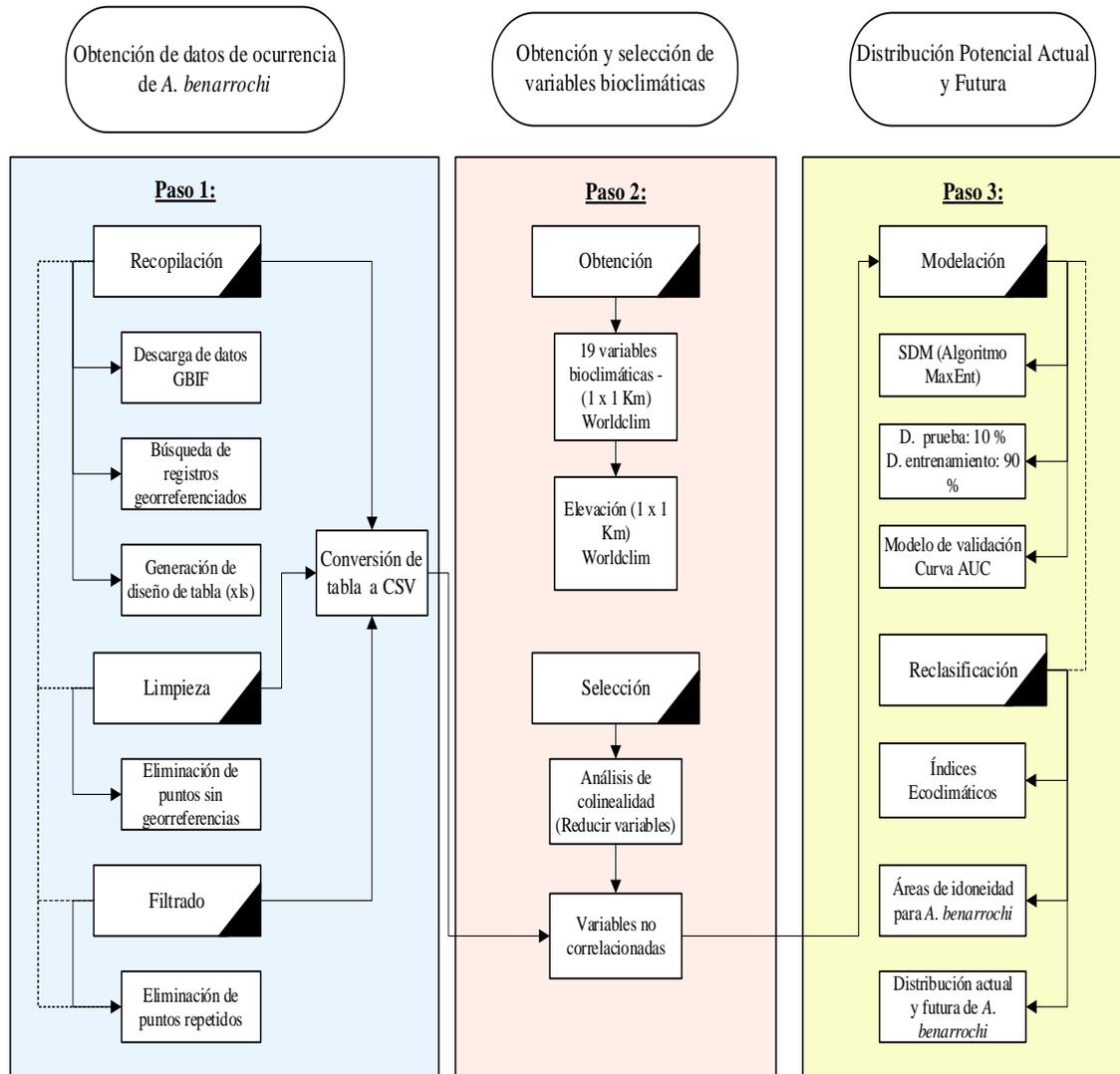


## 2.2 Flujograma metodológico

Para estimar la distribución potencial actual (1970-2000) y futura (2050) del *A. benarrochi* se utilizó como herramienta de modelamiento al SDM y su algoritmo de MaxEnt para la Amazonía peruana y se desarrolló siguiendo los tres pasos en el flujo metodológico plasmado en la Figura 3.

**Figura 3.**

*Flujograma metodológico para determinar la distribución actual y futura del mosquito *A. benarrochi* en la Amazonía peruana.*



En la Figura 3 describe el procedimiento metodológico que consta principalmente de tres pasos.

En el primer paso, se inició con la recopilación de la data, de la base de datos Global Biodiversity Information Facility (<https://www.gbif.org/>) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.jk94f8> se descargaron los datos de registros, luego se realizó la búsqueda de registros georreferenciadas en papers y literaturas de investigación y con todos los datos obtenidos se generó el diseño de tablas en Excel. Seguidamente se realizó la eliminación de puntos no georreferenciados y se filtraron los puntos repetidos o duplicados para ser eliminados; una vez obtenidos los datos base se convirtieron a formato CSV para ser empleado en el modelamiento.

En el segundo paso, se descargaron las variables bioclimáticas y el DEM de elevación de la plataforma WorldClim ver. 1.4 en una resolución de 1 km x 1 km; luego con el paquete SDM mediante el análisis de colinealidad se seleccionaron las variables no correlacionadas.

En el tercer paso, con los datos de ocurrencia y las variables no correlacionadas se realizó la modelación con el paquete SDM de Algoritmo MaxEnt, se introdujeron el 10% de datos para prueba y el 90% de datos para entrenamiento y se obtuvieron curvas AUC que sirvió para validar y aceptar el modelo. Después de realizar el modelamiento se procedió a reclasificar el área de estudio en índices ecoclimáticos y evaluar las áreas con mayor idoneidad para *A. benarrochi* y finalmente se estimó la distribución actual y futura para la especie de estudio representadas en mapas.

### **2.3 Recopilación, limpieza y filtrado de datos de ocurrencia de la especie**

Los datos de ocurrencia del mosquito se descargaron de la base de datos Global Biodiversity Information Facility (<https://www.gbif.org/>) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.jk94f8>, para la estimación potencial actual y futura de *A. benarrochi*. Así también, se obtuvieron datos de colecciones, y de artículos científicos (Fernandez et al., 2014). Con registros georreferenciados de *A. benarrochi* en el territorio peruano, se incluyeron los registros de 1970 hasta la actualidad. Para la búsqueda se utilizaron Google Scholar, ScienceDirect, EbscoHost, Scopus, registrando como palabra clave: *A. benarrochi*, malaria, *Plasmodium*.

Los datos fueron extraídos en el programa Excel 2016, con el siguiente diseño de tabla de 16 campos.

**Tabla 1.**

*Campos geográficos para el diseño de presencia de A. benarrochi según García et al. (2022).*

Campos	Descripción
Continente	Continente
Adm0	País
Adm1	Primera división administrativa del país
Adm2	Segunda división administrativa del país
Localidad	Tercera división administrativa del país
Situación	Presente o ausente
Latitud	Distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al Ecuador/ contada en grados de meridiano
Longitud	Distancia expresada en grados/ entre el meridiano de un punto y otro tomado como referencia en el Ecuador
Altitud	Distancia vertical de un punto de la tierra respecto al nivel del mar
Fecha de colecta	Día, mes, año
Tmin	Temperatura mínima del ambiente
Tmax	Temperatura máxima del ambiente
Tpromedio	Media aritmética entre temperatura mínima y la temperatura máxima
Año de Publicación	Fecha de publicación
Cita	Autor, año
Referencia	Autor, año, título, revista, doi
Enlace	Enlace de la información

Se utilizó el programa ArcGis 10.6 y Excel 2016 para mostrar y a la vez eliminar algunos datos de ocurrencia como puntos que recaen en fuentes de agua, por registros duplicados o ausencia de coordenadas, mediante filtrados, posteriormente se obtuvieron los datos validados estructurados en Excel 2016 con datos de especie, longitud y latitud en archivos CSV (archivos separados por comas y saltos de línea que permiten formar tablas). Estos datos fueron medidos en grados decimales y el datum en WGS 1984 para ser modelado en MaxEnt (Phillips et al., 2008).

## 2.4 Obtención y selección de las variables ambientales

Las 19 variables climáticas se obtuvieron de WorldClim ver. 1.4 (disponible en [https://www.worldclim.org/data/v1.4/cmip5\\_30s.html](https://www.worldclim.org/data/v1.4/cmip5_30s.html)) en una resolución espacial de 30 segundos, aproximadamente 1 km de arco (Jácome et al., 2019). Para el período de 30 años (1970-2000) y para escenarios climáticos futuros (2050) se emplearon los GCM Modelos de Circulación Global CMIP5-HadGEM2-ES conocido como Modelo Ambiental Global del Centro Hadley, este modelo comprende proyecciones de las emisiones de carbono, precipitación, temperatura, olas de calor, nivel del mar, permafrost, y una temperatura media global de la superficie no mayor a 4.6 °C (Jonas et al., 2011). Las 19 variables ambientales (derivadas de precipitación multianual, temperatura media anual, temperatura mínima anual y temperatura máxima anual) en dos escenarios climáticos RCP 2.6 (escenario de emisión mínimo) y RCP 8.5 (escenario de emisión máximo) (Zhang et al., 2018). Los RCP son las vías de concentración representativas y suponen las posibles emisiones de GEI/Gases de Efecto Invernadero (Liu et al., 2019).

Con la ayuda del programa ArcGis ver. 10.6 se tomó solamente el polígono correspondiente al área geográfica de Perú, utilizando la herramienta geoprociamiento Clip, para ser implementados en el algoritmo MaxEnt.

Dentro de las 19 variables bioclimáticas se seleccionaron a las variables menos correlacionadas entre sí, utilizando el Factor de Inflación de la Varianza (VIF), mediante el uso de R (Carmona & García, 2018). Las variables que mostraron un VIF < 0.7 fueron las seleccionadas para evitar problemas de colinealidad (Liu et al., 2019). Y para la importancia de variables se realizó análisis de correlación considerando a las variables con correlación cercano a 1.

**Tabla 2.**

*Diecinueve variables bioclimáticas para distribución actual (1970-2000) y futura (2050).*

<b>Abreviatura</b>	<b>Variable bioclimática</b>	<b>Unidad</b>
Bio1	Temperatura media anual	°C
Bio2	Intervalo medio diurno (media mensual) (temperatura máxima-temperatura mínima)	°C
Bio3	Isotermalidad (Bio2/Bio7) x (100)	%
Bio4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100)	%
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío.	°C
Bio7	Rango anual de temperatura (Bo5-Bio6)	°C
Bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C
Bio9	Temperatura media del trimestre más seco	°C
Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido	°C
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío	°C
Bio12	Precipitación anual	mm
Bio13	Precipitación del mes más lluvioso	mm
Bio14	Precipitación del mes más seco	mm
Bio15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	%
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo	mm
Bio17	Precipitación del trimestre más seco	mm
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido	mm
Bio19	Precipitación del trimestre más frío	mm

## **2.5 Modelamiento de distribución potencial actual y futura (2050)**

En la modelación de la distribución actual (1970-2000) y futura (2050) de esta especie *A. benarrochi* se usó el paquete R SDM donde se empleó la función para MaxEnt (Naimi & Araújo, 2016). Se emplearon un total de 574 registros observados de esta especie así también generaron 1000 pseudoausencias con la opción 'gRandom', siendo un total de 1574 puntos de ocurrencia. Seguidamente se estableció la fórmula para la probabilidad

de presencia de *A. benarrochi* en condiciones actuales y de cambio climático. La fórmula "presencia ~ ." para nuestra especie fue:

```
p <- sdm(presence ~ ., d, methods = c('Maxent'), test.p = 10) (Veneros, 2023).
```

En donde, "d" es el conjunto de datos que contiene los datos de presencia y las variables ambientales, y el argumento "métodos" especifica el método de modelización como "Maxent". El parámetro "test.p" se estableció en 10, lo que indica que el 10% de los datos se utilizaron para las pruebas, mientras que el resto se utilizaron para el entrenamiento. Así también se consideró 10 km como la zona de residencia para nuestra especie en estudio (Sánchez et al., 2020).

## 2.6 Evaluación e interpretación del modelo

Se realizó el análisis e interpretación del modelado de distribución potencial actual y futura del *A. benarrochi* en la Amazonía peruana, evaluando su rendimiento en base a las características operativas del receptor ROC (Liu et al., 2019). Se generaron valores bajo la curva AUC, correlación COR en una ponderación de 0 a 1, los valores cercanos a 1 son los estimados y de buen desempeño y las variables cercanas a 0 son las desestimadas e indican un área menor bajo la curva y un rendimiento predictivo malo (Hirzel et al., 2006; Phillips & Dudík, 2008; Portilla Cabrera & Selvaraj, 2020).

### Tabla 3.

*Tabla de ponderaciones del AUC para evaluar el rendimiento del modelo predictivo según Jácome et al., (2019).*

Ponderación	Significancia
0.91-1	Excelente
0.81-0.90	Bueno
0.71-0.80	Aceptable
0.61-0.70	Malo
0.00-0.60	Inválido

Para validar el modelo también se empleó el Estadístico de Habilidad Real TSS, este estadístico evalúa la precisión de las variables climáticas y evalúa el rendimiento del

nicho ecológico (Aluche et al., 2006). Mientras más se acerque a 1 la precisión es alta y más cercano a -1 la precisión es baja (Hao et al., 2022).

## 2.7 Estimación del sitio adecuado para la distribución actual y futura de la especie

Para estimar los sitios habitables potenciales para la distribución actual y futura de *A. benarrochi* se clasificaron las áreas territoriales de Perú en cinco índices ecoclimáticos (IE) (Tonnang et al., 2010). Estos índices toman valores de 0 a 1, describiendo sitios inhabitables y habitables para la especie. Un sitio favorable para la supervivencia del vector lo caracteriza cuando el índice es mayor o igual a 0.31.

**Tabla 4.**

*Índices ecoclimáticos para evaluar los hábitats potenciales de A. benarrochi según Tonnang et al., (2010).*

Color	Índice	Significancia
	0 - 0.001	No adecuado para la especie
	0.002 - 0.05	Zonas con muy poca idoneidad para la supervivencia de los vectores de la malaria
	0.06 - 0.10	Áreas con riesgo secuencial de establecimiento de los vectores de la malaria
	0.11 - 0.30	Áreas con alto riesgo de establecimiento permanente del vector de la malaria
	0.31 - 1	Supervivencia a largo plazo

Para la clasificación de los índices ecoclimáticos se trabajó con el programa ArcGis ver. 10.6. Se realizó una reclasificación con ModelBuilder; clasificando los sitios en cinco clases a todo el territorio peruano, de la siguiente manera:

Primeramente, se proyectaron los mapas actuales y futuros en un mismo sistema de coordenadas WGS 1948. Posteriormente se midió el pixel de los mapas proyectados tanto del eje “x” como el eje “y” se obtuvo una medida de 0.912 km.

Se trabajó con la herramienta ModelBuilder, Reclassify, Reclassify (Spatial Analyst Tools), para reclasificar cada uno de los mapas (actuales y futuros RCP 2.6 y RCP 8.5)

del cual se ha reclasificado en cinco clases, desde un área no adecuada, hasta un área de larga supervivencia.

Se seleccionó cada uno de los rásters (actual, RCP 2.6, RCP 8.5), aperturando la tabla de atributos se agregó una nueva columna para calcular las dimensiones de las áreas reclasificadas a nivel de Perú expresadas en km<sup>2</sup> con Field calculator, se seleccionó contour y se multiplicó x 0.912 x 0.912, y automáticamente se obtuvo la dimensión de las áreas totales por cada una de las cinco clases (García et al., 2022; García et al., 2015 y Veneros 2014).

Para calcular el área de Amazonía peruana, se realizó un recorte de shapefile de la Amazonía peruana obtenida del portal de GEOBOSQUES (disponible en <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/index.php>), con el ráster (actual, RCP 2.6 y RCP 8.5) y con la herramienta ModelBuilder, Extract by mask (data management) (García et al., 2022; García et al., 2015 y Veneros, 2014). Posteriormente se procedió a correr y se obtuvo el recorte de Amazonía peruana para mapas de distribución actual, RCP 2.6 y RCP 8.5. Seguidamente, aperturando la tabla de atributos del mapa actual de Amazonía peruana se seleccionó la columna del área, con anticlick y se seleccionó a Field calculator, y se realizó la multiplicación contour \*0.912\*0.912 para obtener los datos de las cinco clases para esta área de estudio (misma repetición para mapas futuros) (García et al., 2022, García et al., 2015 y Veneros, 2014).

### III. RESULTADOS

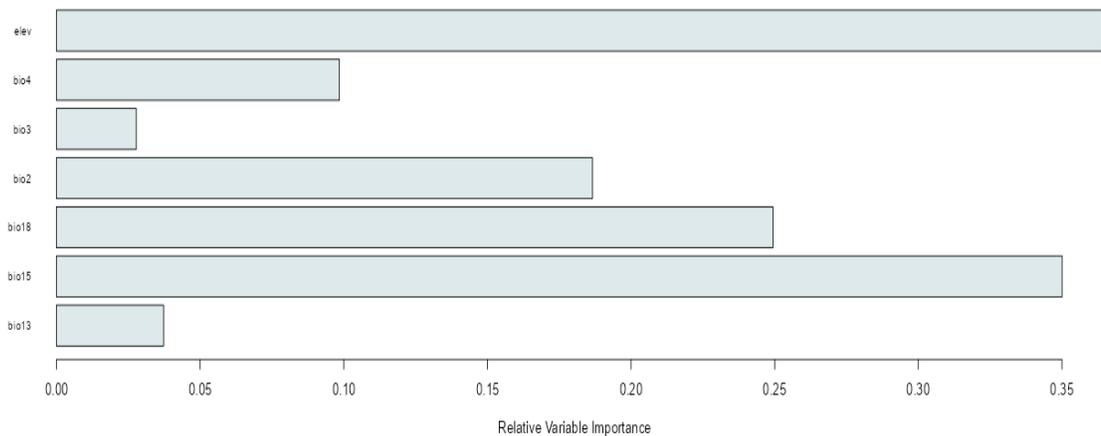
#### 3.1 Distribución potencial actual del mosquito *Anopheles benarrochi* en la Amazonía peruana

##### 3.1.1. Elección de variables bioclimáticas de importancia

Las variables con mayor importancia en el modelado de la distribución de la especie *A. benarrochi* son Elevación y bio 15 (precipitaciones estacionales) (Figura 4).

##### Figura 4.

*Prueba de correlación para determinar las variables bioclimáticas con mayor importancia en el modelado R SDM*



La Figura 4 representa la prueba AUC que explica la importancia de las variables bioclimáticas (mayores longitudes de barras) en relación con las otras variables de datos (menores longitudes de barras), obtenida de la presencia de *A. benarrochi* a nivel de Amazonía peruana. Las variables con mayor importancia fueron: bio 15 (Precipitaciones estacionales), bio 18 (Precipitación en el trimestre más cálido), y bio 2 (Temperatura mensual) y en primer lugar está la elevación. Por otro lado, están las variables de menor importancia: bio 4 (temperatura estacional), bio 13 (Precipitación en el periodo más lluvioso) y bio 3 (Isotermalidad).

##### 3.1.2. Evaluación del modelo

El AUC fue de 0.92, la covarianza COR de 0.71 y el estadístico de habilidad real TSS de 0.70 indicando un modelo aceptable y preciso (Tabla 5).

**Tabla 5.**

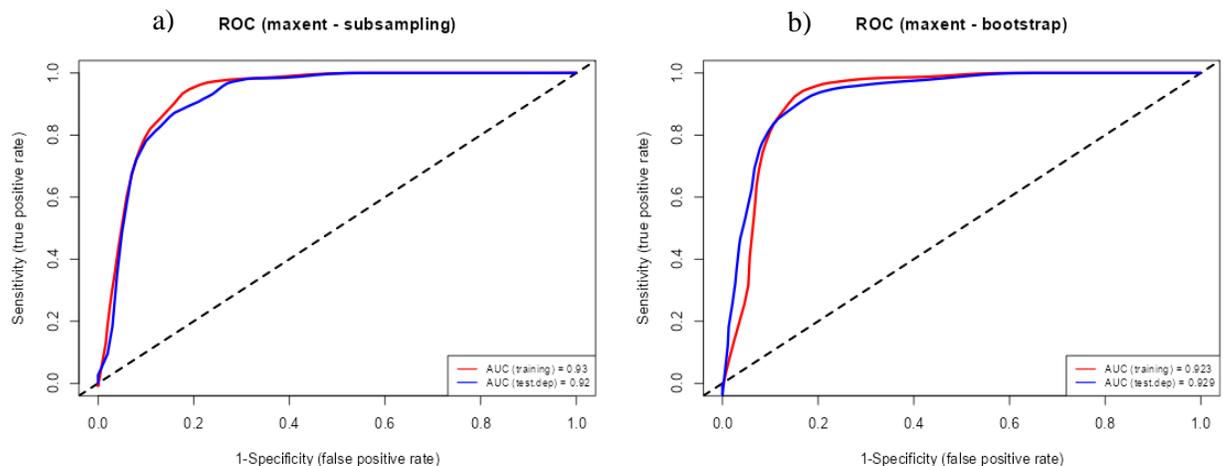
*Datos del área bajo la curva AUC para la distribución actual de A. benarrochi.*

Métodos	AUC	COR	TSS	DESVIACIÓN
Maxent	0.92	0.71	0.76	0.77

A continuación, la Figura 5 representa el desempeño de los valores de sensibilidad verdaderos positivos (el modelo predice coincidencias con las presencias observadas del vector) (eje vertical) y valores de especificidad falso positivos (el modelo predice que el vector estará presente donde no ha sido observada) (eje horizontal).

**Figura 5.**

*Curvas de respuesta del paquete R SDM para A. benarrochi en la Amazonía peruana bajo escenario climático actual*



En la Figura 5a, ROC (maxent-subsampling) utiliza datos divididos en varios subconjuntos y de forma iterativa como conjuntos de entrenamiento y prueba, el resultado de la curva AUC para los datos de entrenamiento (*training data*) corresponde 0.93 y para los datos de validación (*test data*) el AUC corresponde 0.92 lo que indica que el modelado es excelente. En la Figura 5b, ROC (maxent Bootstrap) indica la técnica de remuestreo de los datos originales usando conjunto de datos de manera aleatoria. Como tal, el resultado de la curva AUC muestra para los datos de entrenamiento (*training data*) 0.92 y para los datos de validación (*test data*) el AUC

corresponde 0.93 lo que indica que el modelado es excelente y discrimina eficientemente.

### 3.1.3. Estimación del sitio potencial actual

Los registros de colecta de *A. benarrochi* utilizados fueron de 574 registros (Figura 6). Estos corresponden a los departamentos de la Amazonía peruana, siendo el departamento de Loreto (474 registros), Madre de Dios (46 registros) Amazonas (33 registros), y Ucayali (21 registros), quienes presentaron un mayor número de reportes y en las que se centra el modelo de distribución potencial actual.

En la Tabla 6 y Figura 6, detallan las áreas geográficas en condiciones actuales con definiciones de índice ecoclimático (IE) para la presencia del mosquito *A. benarrochi* en la Amazonía peruana (área = 778 853.41 km<sup>2</sup>). En tal sentido, el IE con mayor extensión geográfica de *A. benarrochi* en la Amazonía es el IE de supervivencia a largo plazo con extensión de área de 294 510.57 km<sup>2</sup>, seguidamente el IE de alto riesgo con un área de 216 709.24 km<sup>2</sup>, continúa el IE de área poco adecuado con un área de 123 072.33 km<sup>2</sup>, el IE con riesgo secuencial representa una extensión de área de 89 087.27 km<sup>2</sup>, y, por último, el IE no adecuado mostró un área de 55 474.00 km<sup>2</sup>

**Tabla 6.**

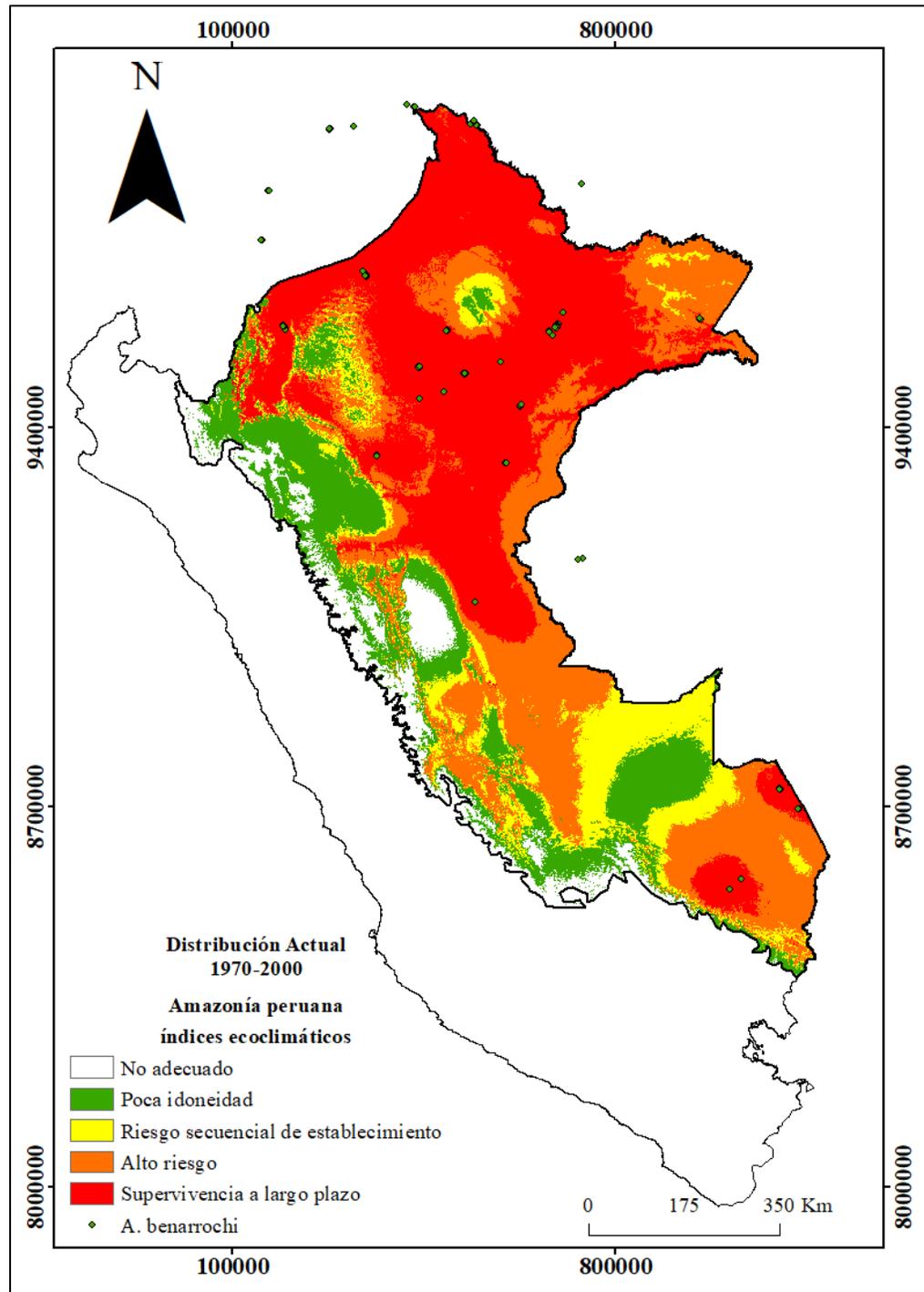
*Áreas de presencia potencial actual de A. benarrochi a nivel de Amazonía peruana.*

Índices ecoclimáticos (IE)	Amazonía peruana	
	km <sup>2</sup>	%
No adecuado	55 474.00	7.1
Poco adecuado	123 072.33	15.8
Riesgo secuencial	89 087.27	11.4
Alto riesgo	216 709.24	27.8
Supervivencia a largo plazo	294 510.57	37.8

A continuación, se presenta el mapa de georreferencias de ocurrencia de *A. benarrochi* a nivel de Amazonía peruana.

**Figura 6.**

*Distribución potencial actual de la ocurrencia del mosquito A. benarrochi en la Amazonía peruana.*



La Figura 6 muestra los puntos de color verde, el cual representa los registros encontrados de la especie *A. benarrochi*, es decir, los puntos de localización de la especie. Geográficamente el territorio peruano se clasifica en cinco IE. El IE con mayor potencial es de supervivencia a largo plazo ubicado en el norte de la Amazonía peruana y la menos potencial es el IE no adecuado ubicado aproximadamente al centro de Amazonía peruana.

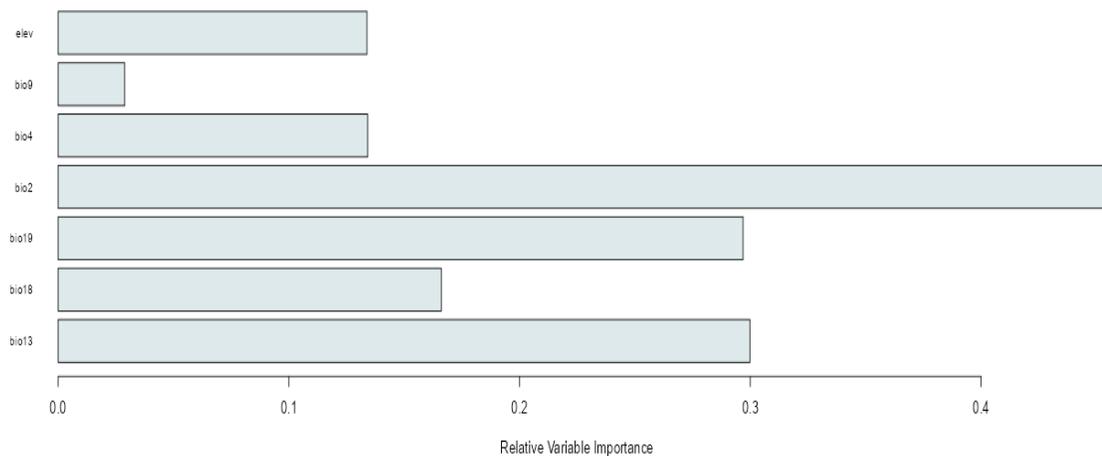
### 3.2. Distribución futura del mosquito *Anopheles benarrochi* en la Amazonía peruana

#### 3.2.1. Elección de variables bioclimáticas de importancia

La longitud de barra explica la importancia de las variables bioclimáticas, se mostrará en (Figura 7).

##### Figura 7.

*Prueba de correlación para determinar las variables bioclimáticas futuras RCP 2.6 con mayor importancia en el modelado R SDM.*



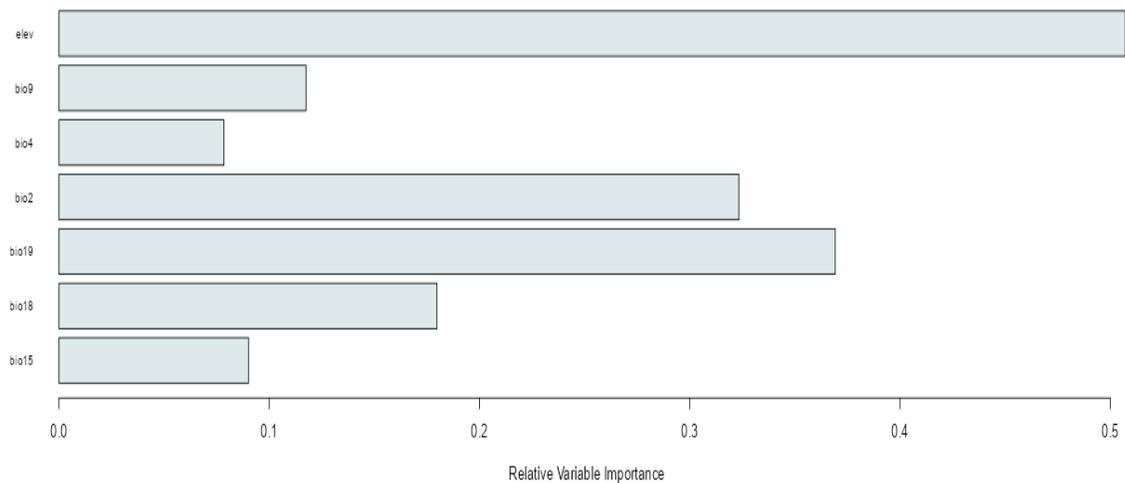
La Figura 7 representa la prueba de colinealidad, explica la importancia de las variables bioclimáticas (mayores longitudes de barras) utilizadas con el paquete R SMD en relación con las otras variables (menores longitudes de barras) de datos obtenidos de la presencia de *A. benarrochi* a nivel de Perú. Las variables de importancia fueron: bio 2 (Promedio de temperatura mensual), bio 13 (precipitación en el periodo más lluvioso), y bio 19 (precipitación en el trimestre más frío). Además, están las variables de menor importancia resultaron: bio 18 (precipitación en el

trimestre más caluroso), bio 4 (temperatura estacional), bio 9 (temperatura promedio en el trimestre más seco) y la elevación.

A continuación, se explicará la selección de variables con mayor importancia para la distribución del género *A. benarrochi* bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5.

**Figura 8.**

*Prueba correlación para determinar las variables bioclimáticas futuras RCP 8.5 con mayor importancia en el modelado R SDM*



La Figura 8 representa la prueba de colinealidad, explica la importancia de las variables bioclimáticas (mayores longitudes de barras) utilizadas con el paquete R SMD en relación con las otras variables (menores longitudes de barras), de datos obtenidos de la presencia de *A. benarrochi* a nivel de Perú. Las variables de mayores valores presentan las variables: bio 19 (precipitación en el trimestre más frío), bio 2 (promedio de temperatura mensual) y la elevación que destaca en primer lugar. Además, están las variables de menores importancia: bio 18 (precipitación en el trimestre más caluroso), bio 9 (temperatura promedio en el trimestre más seco), bio 15 (Precipitación estacional) y bio 4 (temperatura estacional).

**3.2.2. Evaluación del modelo**

El AUC fue 0.93 para escenario RCP 2.6 y con una estadística de habilidad real TSS de 0.81 lo que indican buen rendimiento y aceptación del modelo (Tabla 7).

**Tabla 7.**

*Datos del área bajo la curva AUC para la distribución futura de A. benarrochi bajo el escenario RCP 2.6*

Métodos	AUC	COR	TSS	DESVIACIÓN
Maxent	0.93	0.72	0.81	0.74

La Tabla 8 representa un AUC o área bajo la curva de 0.95, el coeficiente de correlación COR de 0.72, y la estadística de habilidad real TSS de 0.81 indican que el desempeño del modelado es excelente (AUC, COR, TSS cercanos a 1) bajo condiciones de cambio climático RCP 2.6. Y, una estadística de habilidad real TSS de 0.82 aceptable o de alta precisión.

**Tabla 8.**

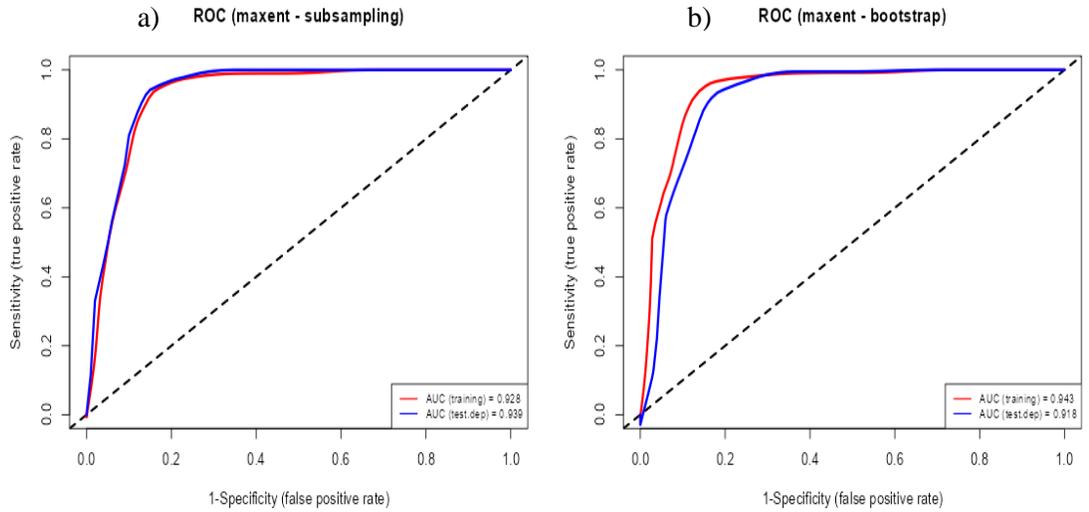
*Datos del área bajo la curva AUC para la distribución actual de A. benarrochi bajo el escenario RCP 8.5*

Métodos	AUC	COR	TSS	DESVIACIÓN
Maxent	0.95	0.73	0.82	0.71

A continuación, la Figura 9 representa el desempeño de los valores de sensibilidad verdaderos positivos (el modelo predice coincidencias con las presencias observadas del vector) (eje vertical) y valores de especificidad falso positivos (el modelo predice que el vector estará presente donde no ha sido observada) (eje horizontal) bajo escenario climático RCP 2.6.

**Figura 9.**

*Curvas de respuesta del paquete R SDM para A. benarrochi en la Amazonía peruana bajo escenario climático RCP 2.6*

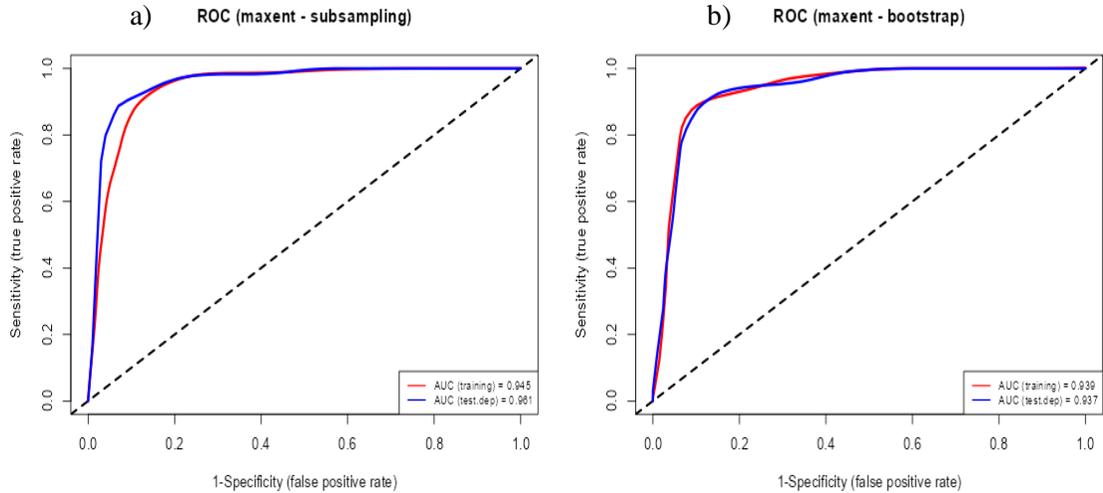


En la Figura 9a, el ROC (maxent-subsampling) utiliza datos divididos en varios subconjuntos y de forma iterativa como conjuntos de entrenamiento y prueba el resultado de la curva AUC para los datos de entrenamiento (*training data*) el AUC corresponde 0.93 y para los datos de validación (*test data*) el AUC corresponde 0.94. Esto indica que el modelado es excelente. En la Figura 9b, el ROC (maxent Bootstrap) indica la técnica de remuestreo de los datos originales usando conjunto de datos de manera aleatoria. Como tal, el resultado del AUC muestran para los datos de entrenamiento (*training data*) el AUC corresponde 0.94 y para los datos de validación (*test data*) el AUC corresponde 0.92 lo que indica que el modelado es excelente. Y discrimina mejor.

Seguidamente, la Figura 10 representa el desempeño de los valores de sensibilidad verdaderos positivos (eje vertical) y valores de especificidad falso positivos (eje horizontal) bajo escenario climático RCP 8.5.

**Figura 10.**

*Curvas de respuesta del paquete R SDM para A. benarrochi en la Amazonía peruana bajo escenario climático RCP 8.5.*



En la Figura 10a, ROC (maxent-subsampling) utiliza datos divididos en varios subconjuntos y de forma iterativa como conjuntos de entrenamiento y prueba, el resultado de la curva AUC o área bajo la curva muestran que para los datos de entrenamiento (*training data*) el AUC corresponde 0.95 y para los datos de validación (*test data*) el AUC corresponde 0.98, lo que indica que el modelado es excelente. En la figura 10b, ROC (maxent Bootstrap) indica la técnica de remuestreo de los datos originales usando conjunto de datos de manera aleatoria. Como se muestra, el resultado del AUC para los datos de entrenamiento (*training data*) el AUC corresponde 0.94 y para los datos de validación (*test data*) el AUC corresponde 0.94 lo que indica que el modelado es excelente y discrimina bien.

### 3.2.3. Estimación del sitio potencial futura para el 2050 (RCP 2.6 y RCP 8.5)

En la Tabla 9 y Figura 11, detallan las áreas geográficas en condiciones futuras bajo escenario de cambio climático RCP 2.6, con definiciones de IE para la presencia del mosquito *A. benarrochi* en la Amazonía peruana. En tal sentido, el IE para la Amazonía peruana explica: supervivencia a largo plazo 315 372.37 km<sup>2</sup>, IE con alto riesgo 167 104.86 km<sup>2</sup>, IE con riesgo secuencial 61 989.88 km<sup>2</sup>, IE poco adecuado 179 402.19 km<sup>2</sup> e IE no adecuado 54 984.10 km<sup>2</sup>.

**Tabla 9.**

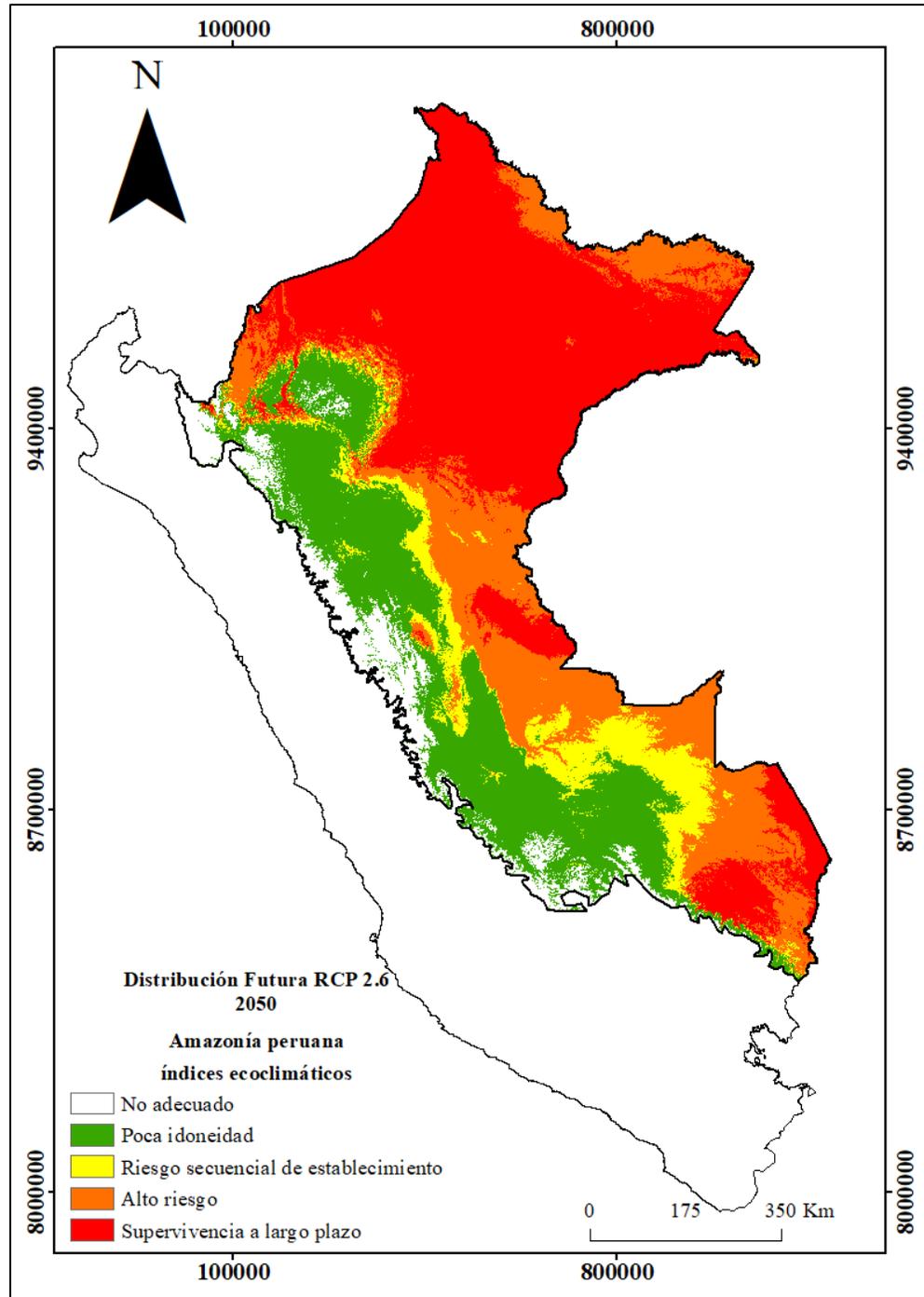
*Áreas de presencia potencial futura de A. benarrochi bajo escenarios de cambio climático RCP 2.6 a nivel de Amazonía peruana*

<b>Índices ecoclimáticos (IE)</b>	<b>Amazonía peruana</b>	
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
No adecuado	54 984.10	7.1
Poco adecuado	179 402.19	23.0
Riesgo secuencial	61 989.88	8.0
Alto riesgo	167 104.86	21.5
Supervivencia a largo plazo	315 372.37	40.5

La distribución potencial futura de *A. benarrochi* estaría influenciada por cinco índices ecoclimáticos, mencionados anteriormente, que brindan probabilidad de presencia del vector.

**Figura 11.**

*Áreas de distribución futura del mosquito *A. benarrochi* para el 2050 bajo el escenario de cambio climático RCP 2.6.*



En la Figura 11 demuestra gráficamente la clasificación de los índices ecoclimáticos en el Perú. Geográficamente el territorio peruano se clasifica en cinco IE. Lo que

indica, que los IE con mayor potencialidad son los de supervivencia a largo plazo (color rojo) e IE de alto riesgo (color naranja) situados al este, norte y sur del territorio amazónico peruano, y el IE poco adecuado (color blanco) menos potencial comprendido al oeste de Amazonía peruana.

Seguidamente se procede a describir los resultados del escenario climático RCP 8.5.

En la Tabla 10 y Figura 12, detallan las áreas geográficas en condiciones futuras bajo escenario de cambio climático RCP 8.5, con definiciones de IE para la presencia del mosquito *A. benarrochi* en la Amazonía peruana (área = 778 853.41 km<sup>2</sup>). En tal sentido, el IE con mayor predominancia del vector para el año 2050 representa el IE de supervivencia a largo plazo con extensión territorial de 302 314.82 km<sup>2</sup>, seguidamente IE poco adecuado con extensión de 180 378.66 km<sup>2</sup>, luego IE alto riesgo con extensión de 158 814.03 km<sup>2</sup>, IE no adecuado con un área de 69 017.29 km<sup>2</sup> y, por último, IE con riesgo secuencial con una extensión territorial de 68 328.60 km<sup>2</sup>.

**Tabla 10.**

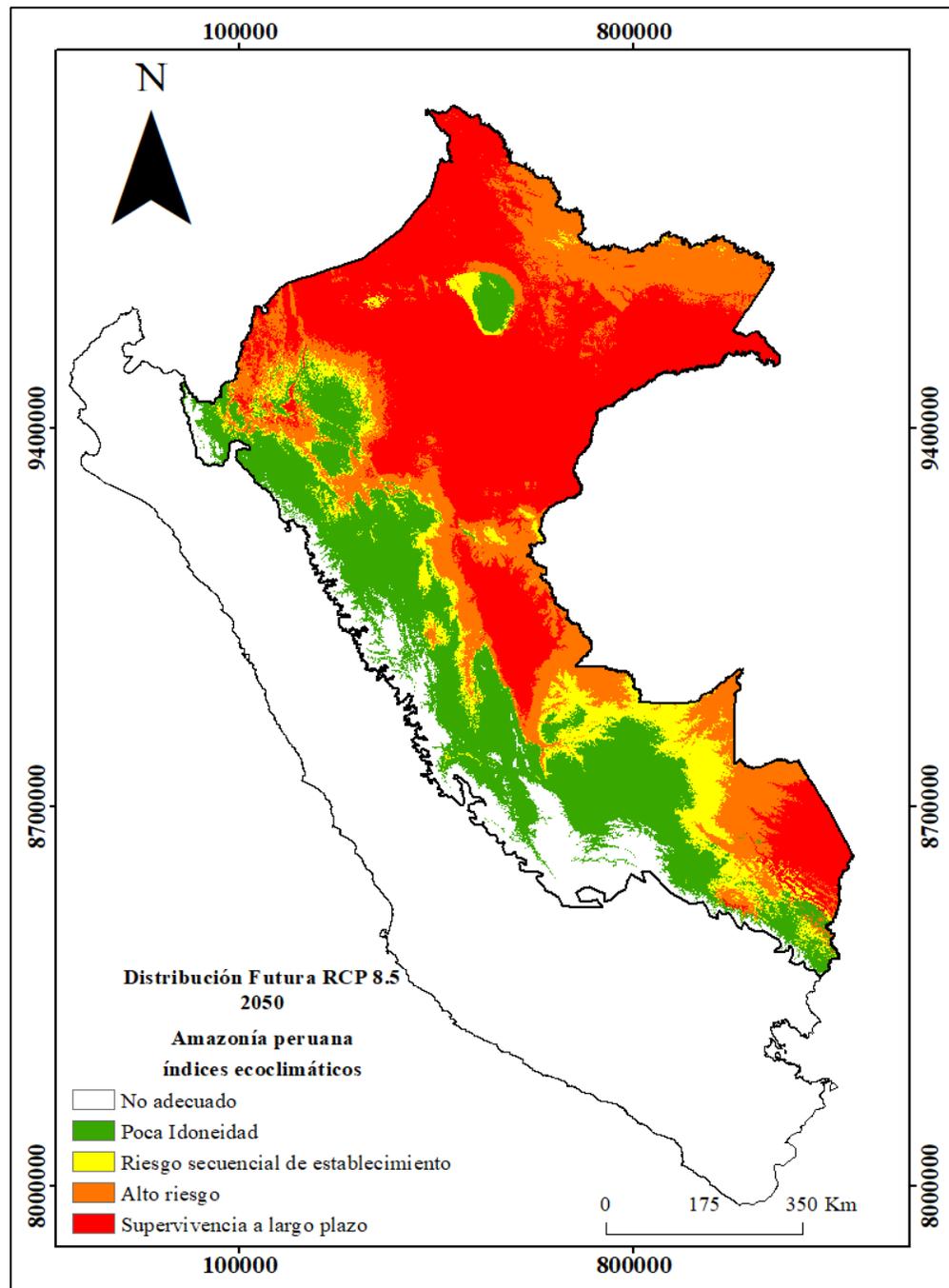
*Áreas de presencia potencial futura de A. benarrochi bajo escenarios de cambio climático RCP 8.5 a nivel de Amazonía peruana.*

Índices ecoclimáticos (IE)	Amazonía peruana	
	km <sup>2</sup>	%
No adecuado	69 017.29	8.9
Poco adecuado	180378.66	23.2
Riesgo secuencial	68 328.60	8.8
Alto riesgo	158 817.03	20.4
Supervivencia a largo plazo	302 314.82	38.8

Los índices ecoclimáticos reconocen la distribución potencial futura y probabilidad de presencia de *A. benarrochi* en la Amazonía peruana (Figura 12).

**Figura 12.**

*Áreas de distribución futura del mosquito *A. benarrochi* para el 2050 bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5*



En la Figura 12 se percibe que existe permutación de cambios en los índices ecoclimáticos en la Amazonía peruana para el 2050.

#### IV. DISCUSIÓN

Se determinó la distribución potencial actual de *A. benarrochi* en la Amazonía peruana en donde el índice con mayor extensión de área lo obtuvo el índice de supervivencia a largo plazo con 294 510.57 km<sup>2</sup> situándose en la parte norte y sur de Amazonía peruana, también en la parte este, centro y sur de la Amazonía comprende el índice ecoclimático de alto riesgo para la distribución de la especie con un área de 216 709.24 km<sup>2</sup> y el de menor área fue el índice ecoclimático no adecuado con extensión de área de 5 472.00 km<sup>2</sup> situándose al oeste de Amazonía peruana. En este contexto, las enfermedades transmitidas por vectores siguen en primera línea desafiando los retos en los sistemas de salud, y generando impactos negativos en la salud de las personas, principalmente en comunidades en condiciones de precariedad, como lo es la escases de agua potable, falta de energía eléctrica, ausencia de servicios básicos de saneamiento, y falta de acceso a redes viales o carreteras (Guti & Herbosa, 2008). En la Amazonía peruana las condiciones sociales económicas de estas comunidades son de bajos recursos. En la parte norte de la Amazonía peruana las comunidades víctimas de malaria desarrollan sus actividades en la agricultura, en la extracción de la madera y; pesca. En la parte sur de la Amazonía peruana las comunidades que se enferman por malaria se dedican a la minería aurífera (Torres et al., 2022). Entre las actividades socioeconómicas amazónicas que suman a la supervivencia de los *Anopheles* son los cultivos de arroz y las piscigranjas, por el espacio acuático en el que se desarrollan; siendo un peligro para la salud de las personas y beneficio para la expansión de la especie. Existen ciertos patrones en la distribución geográfica de los vectores de transmisión como la dispersión o migración de vectores a nuevos ambientes, el cambio de la dinámica de los hospedadores, el impacto de la ética antropogénica en la exposición de las enfermedades epidémicas causadas por vectores hematófagos (Gorla, 2021). Otro factor también es la movilidad antropogénica impulsada por la movilidad transfronteriza y el de las actividades económicas ya mencionadas, lo que permite a las personas estar en pleno movimiento (Torres et al., 2022). En el Perú *A. benarrochi* se caracteriza por tener gran afinidad a los humanos para alimentarse, es doméstico y desencadena su transmisión en el día y en la noche (Fernández et al., 2004). Aun así, el desarrollo de las comunidades de mosquitos vectores también dependen mucho del ambiente climático que les rodean, y en la actualidad el clima está sufriendo grandes transformaciones que repercuten potencialmente en la distribución

geográfica situados en nuevos territorios (Ochoa et al., 2017). El cambio climático refleja una probabilidad de posibles áreas ecoclimáticas futuras para el establecimiento y transmisión del mosquito. Transforma el ciclo de vida y el nicho ecológico de los vectores propiciando epidemiológicamente un riesgo en la salud de las personas principalmente en donde existe pobreza y ausencia de higiene (Britos, 2022). También refleja respuestas de desplazamiento en la distribución de especies a lugares con zonas calientes generando patrones de endemismo (Aguado & Bautista, 2015). La sensibilidad climática, hace que los GEI aumenten, disminuyan o se mantengan equilibrados (Ebi et al., 2005). En la última década con el aumento de una población globalizada se ha visto reflejada una sociedad muy consumista y generadora de elevados índices de emisiones de GEI afectando aceleradamente en los cambios en el clima, desencadenando elevadas temperaturas, reducción e incremento de precipitaciones, derretimiento de los polos, movimiento de especies, aumento del nivel del mar (Alonso et al., 2022; Sánchez et al., 2022).

Los registros de datos de ocurrencia de *A. benarrochi* para la modelación SDM fueron reportados en su mayoría en la región de Loreto en la cuenca Amazónica (Schoeler et al., 2003), el cual posee un clima tropical húmedo (Mousam et al., 2017). Asimismo, la Amazonía peruana presenta datos de presencia de *A. darlingi*, que este, a su vez, descontrola focos hiperendémicos de malaria al interior de la selva tropical principalmente en campamentos de trabajo, y áreas de cultivos poco distantes a las comunidades habitables (Moreno et al., 2014). Las comunidades son las más afectadas debido a que sus recursos de vivienda y saneamiento son limitados y carecen de presencia de profesionales de la salud (Castro et al., 2006; Pizzituti et al., 2019). Pizzituti et al. (2018) estudiaron las causas de transmisión y registros de la malaria en comunidades amazónicas, en donde se consideró como función principal el movimiento de los humanos que día a día realizan en sus funciones típicas. Existen puntos críticos de presencia de malaria estables e inestables por muchos años como predictores de futuras infecciones maláricas (Mosha et al., 2014). En efecto, es importante la actualización de los datos de ocurrencia y modelos de distribución para la malaria para que se aplique o tenga en cuenta en el “Plan hacia la eliminación de la malaria en el Perú 2022-2030”. Este plan aplicará los siguientes objetivos y/o estrategias de control contra la malaria como, por ejemplo, brindar acceso oportuno al diagnóstico y tratamiento de la malaria en los lugares de transmisión, fortalecer y optimizar el sistema de gestión,

información y vigilancia de la malaria para la producción de información oportuna y de calidad, implementar la vigilancia y control del vector transmisor de la malaria, promover estilos de vida saludable que disminuyan la transmisión de la enfermedad, desarrollar acciones de comunicación efectiva sobre aspectos de prevención y control de la malaria, desarrollar investigaciones operativas relacionadas a la efectividad de las intervenciones, asegurar el compromiso político multisectoriales en la eliminación de la malaria en el Perú, y establecer el monitoreo y supervisión del cumplimiento de las actividades del cumplimiento del presente plan (Carrasco-Escobar et al., 2017; Ministerio de Salud, 2022; Traverso et al., 2022).

Entre las variables ambientales con mayor importancia encontradas en la distribución actual y futura del vector malárico son precipitación y temperatura como Bio2 (Promedio de la temperatura mensual), Bio13 (Precipitación en el trimestre más frío), Bio15 (Precipitación en la estacionalidad), Bio 18 (Precipitación en el trimestre más cálido) y Bio19 (Precipitación en el trimestre más frío). Por lo que, ante el aumento de temperatura, el mosquito alarga su periodo vida, acelera su alimentación picando frecuentemente a los humanos y acelera su reproducción en comparación de las bajas temperaturas (Tonnang et al., 2014). Las precipitaciones mensuales, por medio del agua originan nuevos criaderos que ayudan en la eclosión de los huevos de los mosquitos y terminen su reproducción en larvas y adultos (Ebi et al., 2005; Hiwat & Bretas, 2011; Mousam et al., 2017). En contraste, la elevación también resultó ser un factor de gran importancia, ya que es un índice de probabilidad anticipada de hábitats idóneos para la localización de los *Anopheles* (AI-Ahmed et al., 2015). Por otro lado, la altitud a futuro puede afectar en los cambios en la temperatura y la presión del aire (Portilla & Selvaraj, 2020), siendo un factor que afecta directamente a las variables climáticas como lo son: la humedad, temperatura, radiación solar, nubosidad y precipitación. Esto ocurre a medida que se gana altura, la temperatura se reduce y la precipitación aumenta (Núñez & Higuera, 2018). Describe la variación del espacio y tiempo en diferentes altitudes. Para la Amazonía peruana Aramburu et al. (1999) estudiaron la correlación que comprendía la enfermedad de malaria en función de variables climáticas: temperatura, humedad y precipitación; siendo la correlación muy buena en estas variables para la transmisión de *Anopheles*.

La evaluación del modelamiento SDM en este estudio mostró un AUC de 0.92 para condiciones actuales y 0.93, 0.95 para condiciones futuras siendo un modelo excelente. Pakdak et al. (2017) estimaron el AUC para tres vectores de clase *A. stephensi*, *A. culicifaciens*, *A. fluviatilis* en Irán; obteniendo valores de 0.94, 0.97, 0.96 para cada vector para condiciones actuales, siendo algo superiores a este estudio. Los valores del AUC que demuestren ser mayores a 0.75 son ideales para predecir el hábitat adecuado de la especie bajo factores ambientales (Phillips & Dudik, 2008). Los SDM son muy comunes y utilizados en la distribución de especies de mosquitos, ya que utiliza datos de presencia de la especie con variables predictoras y finalmente construye el modelo de predicción de mosquitos, detallando la calidad de sus aspectos. Esta herramienta puede trabajar con pocos puntos de ocurrencia para calibrar el modelo (Gogol-Prokurat., 2011; Dickens et al., 2018). Se han estudiado a 116 especies de *Anopheles* empleando los SDM, los datos de presencia-antecedentes como variable de respuesta tienen más validez que sólo el uso de datos de presencia y las variables más utilizadas para la predicción en este modelo son las variables bioclimáticas, la elevación y cobertura de suelo urbano, y las de mayor importancia destacan la pendiente, elevación y áreas agrícolas. Por consiguiente, la resolución espacial debe ajustarse al diseño de muestreo de variables de respuesta para la obtención precisa entre especie y medio ambiente (Barker & Maclsaac, 2022).

Se estimó la distribución futura de *A. benarrochi*, en donde el escenario climático futuro RCP 2.6 (escenario de mínima emisión) a nivel de Amazonía peruana, demostró 315 372.37 km<sup>2</sup> de área de supervivencia a largo plazo y 167 104.86 km<sup>2</sup> de área con alto riesgo para la transmisión de *A. benarrochi* en el norte y este de Amazonía peruana, y RCP 8.5 (emisiones de máxima emisión) mostró 302 314.82 km<sup>2</sup> de área de supervivencia a largo plazo y 158 817.03 km<sup>2</sup> de área con alto riesgo para la localización de *A. benarrochi* concentrados en el norte de Amazonía peruana. Esto indica que los dos escenarios de mínima y máxima concentración de emisiones de Gases de Efecto Invernadero RCP 2.6 y RCP 8.5 predicen extensiones potenciales de áreas habitables para *A. benarrochi*. La investigación de Llamoca (2021) proyectó el cambio climático al 2070 para Perú bajo el escenario RCP 8.5, previéndose un aumento de temperatura debido a la alta demanda de concentraciones de gases de efecto de invernadero y forzamiento radiactivos, también se estimó una disminución en la precipitación anual para las zonas de selva baja y centro norte de la costa. Cabe

mencionar que el escenario climático RCP 2.6 según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC lo denomina un escenario optimista y menos realista ante los cambios bruscos de las políticas socioambientales; mientras que RCP 8.5 todo lo contrario (Molina et al., 2018). Por lo que se recomienda realizar estudios con escenarios climáticos viables como RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. Se prevee que para el 2050 el escenario RCP 2.6 representa un aumento de temperatura de 2 °C (García et al., 2022); mientras que el escenario RCP 8.5 un ascenso de temperatura mínima en la Amazonía peruana entre 1.9 a 3.6 °C, y de temperatura máxima de 2.1 a 4.7 °C (Senamhi, 2021). Existe la probabilidad de que el periodo de sequías se alargue y el de las lluvias de altere, desencadenando leves tormentas locales. Liu et al. (2019) en sus estudios de distribución actual y futura del vector del dengue *Aedes egipty* en China, prevén que para el año 2050 *A. egipty* abarcará mayor extensión de área habitable bajo escenario de RCP 8.5 recalcando que para este año la población expuesta será mayor.

## V. CONCLUSIONES

En la distribución actual para *A. benarrochi* se logró determinar las zonas de distribución potencial de esta especie donde la probabilidad mayor mostró ser el índice ecoclimático con área de supervivencia a largo plazo para la especie ocupando el 37.8% de área territorial, seguidamente el índice ecoclimático con alto riesgo con 27.8%, siguiéndole el índice ecoclimático poco adecuado con 15.8%, luego el índice ecoclimático con riesgo secuencial con 11.4% y, por último el índice ecoclimático no adecuado con 7.1% de área territorial siendo el índice más bajo para la presencia de *A. benarrochi*.

Las variables bioclimáticas que más contribuyeron en la presencia de *A. benarrochi* en la Amazonía peruana son: Promedio de la temperatura mensual, precipitación en el mes más lluvioso, precipitación en la estacionalidad, precipitación en el trimestre más cálido y precipitación en el trimestre más frío, con influencia mayor en el modelo de distribución de *A. benarrochi*. Con la evaluación del modelo, las curvas AUC resultaron ser aceptables y respondieron adecuadamente al modelo siendo los resultados mayores a 0.9.

En la distribución futura de *A. benarrochi* para el escenario RCP 2.6 se estimó que la zona norte de Amazonía peruana abarcó mayor porcentaje de índice ecoclimático de supervivencia a largo plazo con 40.5% y el índice de alto riesgo 21.5%, estos resultados se vieron influenciados por el promedio de la temperatura mensual. Por otro lado, bajo el escenario RCP 8.5 se estimó que las zonas con mayor distribución de presencia de *A. benarrochi* se encontró el índice de supervivencia a largo plazo con 38.8% y el índice de alto riesgo 20.4% estos superan el 50% del territorio de Amazonía peruana, estos resultados se debieron a la altitud, por lo que, a menor altitud, la temperatura aumenta y las precipitaciones disminuyen. Estos resultados designan a los *Anopheles* como poiquiloterms, es decir que se adaptan a las variabilidades de la temperatura.

Los mapas de distribución de la especie *A. benarrochi* modelado a partir de 574 registros de ocurrencia natural, mostró que *A. benarrochi* se distribuye en gran proporción en la parte norte y este de la Amazonía peruana representando como hábitats idóneos para el desarrollo de la malaria; probabilidad de los lugares que corren el riesgo de transmisión.

Se estima que para el 2050 según los índices ecoclimáticos encontrados para la localización de *A. benarrochi* demuestran permutaciones o cambios de estos índices a nivel de Amazonía peruana para la transmisión de malaria frente al cambio climático.

Desde la perspectiva ambiental se concluye que el cambio climático es un factor importante en la transmisión de vectores, debido a las transformaciones en la temperatura, las precipitaciones, y la humedad influyen en la reproducción acelerada del vector y su transmisión en el espacio geográfico.

## VI. RECOMENDACIONES

- Considerar en el modelamiento otras variables como la topografía, índices de vegetación, los cambios del uso del suelo, radiación para que el resultado sea más próspero como también los factores socioeconómicos, el desplazamiento y movimiento de las comunidades.
- La base de datos de ocurrencia es la data fundamental para los modelos de distribución, lo que no es confiable al 100% la base de datos de GBIF (<https://www.gbif.org/>) pueden contener datos georreferenciados repetitivos y errados. Se debe validar los datos de presencia para evitar superposición de puntos.
- Es importante uniformizar la resolución de los rásters, Modelos de Elevación Digital con una misma resolución espacial para evitar resultados erróneos o sesgos en los resultados.
- Se puede trabajar en Arcgis las ganancias y pérdidas de las áreas de presencia del vector mediante la herramienta Álgebra de mapas del ArcToolBox, que consiste en la diferencia de mapas futuros menos el actual y como producto obtener un mapa final para cada escenario futuro empleado.
- En el Perú los estudios de distribución de *A. benarrochi* son limitados, por lo que, se recomienda ampliar los estudios en las diferentes áreas biogeográficas a nivel de Perú y de Sudamérica. Empleando otros programas para la ejecución metodológica de esta investigación, como el programa Climex.
- Implementar y fomentar políticas de salud que involucren la participación comunitaria para prevenir y contrarrestar los casos y muertes por malaria causadas por el cambio climático a nivel de Amazonía peruana.

- Implementar, fomentar y cumplir medidas de mitigación ambiental por parte de las organizaciones políticas ambientales y no ambientales, en donde describan pautas y actividades que sumen en el cambio de vida de las personas y la generación mínima de la contaminación ambiental.
- Familiarizarse y contribuir con el cumplimiento de los estatutos o normas ambientales establecidas por los gobiernos nacionales y mundiales, siendo el cambio climático la consecuencia presente y futura de nuestras acciones humanas.
- Educar en temas de adaptación y resiliencia humana frente al cambio climático.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado-Bautista, Ó., & Escalante, T. (2015). Cambios en los patrones de endemismo de los mamíferos terrestres de México por el calentamiento global. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 99–110. <https://doi.org/10.7550/rmb.46637>
- Alonso, L., Ivanova, A., & Bermúdez, C. (2022). Efectos del cambio climáticos en las zoonosis y la regulación internacional. *Sociedad y Ambiente*, 25, 1-28. doi: 10.31840/sya.vi25.2577
- Aluche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Aramburú, J., Ramal, C., & Witzig, R. (1999). Malaria Reemergence in the Peruvian Amazon Region. *Emerging Infectious Diseases*, 5(2), 209-215
- Awine, T., Malm, K., Bart-plange, C., Silal, S. P., & Awine, T. (2017). Towards malaria control and elimination in Ghana: challenges and decision making tools to guide planning making tools to guide planning. *Global Health Action*, 00(00). <https://doi.org/10.1080/16549716.2017.1381471>
- Barker, J., & MacIsaac, H. (2022). Species distribution models applied to mosquitoes: Use, quality assessment, and recommendations for best practice. *Ecological Modelling*, 472, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2022.110073
- Bezirtzoglou, C., Dekas, K., & Charvalos, E. (2011). Climate changes, enviroment and infection: Fcats, scenarios and growing awareness from the public health community within Europe. *Anaerobe*, 17(1), 337-340. 10.1016/j.anaerobe.2011.05.016
- Botello, F., Sánchez-Cordero, V., & Ortega-Huerta, M. A. (2015). Disponibilidad de hábitats adecuados para especies de mamíferos a escalas regional (estado de Guerrero) y nacional (México). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 226–237. <https://doi.org/10.7550/rmb.43353>
- Britos, M. (2022). Implicancia del cambio climático en la aparición del riesgo de transmisión de dengue por *Aedes aegypti* y su adaptación a las condiciones ambientales. Una

revisión científica. *Rev. Soc. cient. Parag*, 27(1), 120-127.  
<https://doi.org/10.32480/rscp.2022.27.1.120>

Carmona, S., & García, J. (2018). Determinación de la distribución espacial de la especie arbórea *Astronium graveolens jacq.* y su importancia de conservación ambiental en Antioquia. *Biblioteca Digital del Sistema de Bibliotecas de la Universidad de Antioquia*, 41 (5). 1-14.

Carrasco-Escobar, G., Miranda-Albán, J., Fernández-Miñope, C., Fernández-Miñope, K., Torres, k., Calderón, M., Gamboa, D., Llanos-Cuentas, A., & Vinetz, J. (2017). High prevalence of very-low *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax* parasitaemia carriers in the Peruvian Amazon: insights into local and occupational mobility-related transmission. *Malaria Journal*, 16, 415. <https://doi.org/10.1186/s12936-017-2063-x>

Centers for Disease Control and Prevention. (2022). Life cycle of *Anopheles* species mosquitoes. <https://www.cdc.gov/mosquitoes/about/life-cycles/anopheles.html>

Conn, J. E., Moreno, M., Saavedra, M., Bickersmith, S. A., Knoll, E., Fernandez, R., Vera, H., Burrus, R. G., Lescano, A. G., Sanchez, J. F., Rivera, E., & Vinetz, J. M. (2013). Molecular taxonomy of *Anopheles* (Nyssorhynchus) *benarrochi* (Diptera: Culicidae) and malaria epidemiology in Southern Amazonian Peru. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 88(2), 319–324. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2012.12-0429>

Del Águila Tello, C., & Delgado, J. (2020). Control de la malaria en la gestión de la salud pública, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 4(2), 971-992. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v4i2.134](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.134)

Dickens, BL; Sun, H; Jit, M; Cook, AR; Carrasco, LR (2018) Determining environmental and anthropogenic factors which explain the global distribution of *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *BMJ global health*, 3 (4). <https://doi.org/10.1136/bmjgh2018-000801>

Ebi, K., Hartman, J., Chan, N., McConnell, J., Schlesinger, M., & Weyant, J. (2005). Climate suitability for stable malaria transmission in Zimbabwe under different climate change scenarios. *Climatic Change*, 73(3), 375–393. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-6875-2>

- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, *17*(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Espinoza-Gómez, F., Arredondo-Jiménez, J. I., Maldonado-Rodríguez, A., Pérez-Rentería, C., Newton-Sánchez, Ó., Chávez-Flores, E., & Gómez-Ibarra, E. (2013). Geographic distribution of adult mosquitoes (Diptera: Culicidae) in rainforest areas of Colima, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *84*(2), 685–689. <https://doi.org/10.7550/rmb.27184>
- Fernandez-Miñope, C., Delgado-Ratto, C., Contreras-Mancilla, J., Ferrucci, H. R., Llanos-Cuentas, A., Gamboa, D., & Van geertruyden, J. (2021). Towards one standard treatment for uncomplicated *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax* malaria: Perspectives from and for the Peruvian Amazon. *International Journal of Infectious Diseases*, *105*, 293–297. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.02.042>
- Fernández, R., Schoeler, G., & Stancil, J. (2004). Presencia de *Anopheles* ( *Nyssorhynchus* ) *benarrochi* en áreas de selva con transmisión malárica. *Medicina Experimentalis*, *21*(4), 217–222.
- Ferro, C., Fuya, P., Pérez, S., Lugo, L., & González, C. (2011). *Valoración de la ecoepidemiología de la leishmaniasis en Colombia a partir de la distribución espacial y ecológica de los insectos vectores. 31.*
- Fernandez, R., Vera, H., & Calderón, G. (2014). Distribución histórica de la distribución de *Anopheles* (*Nyssirhynchus*) *darlingi* (Diptera: Culicidae) en la amazonía peruana. *Rev. Perú. Med. Exp. Salud Pública*, *31*(2), 310-318.
- Flores-Mendoza, C., Fernández, R., Escobedo-Vargas, K. S., Vela-Perez, Q., & Schoeler, G. B. (2004). Natural Plasmodium infections in *Anopheles darlingi* and *Anopheles benarrochi* (Diptera: Culicidae) from eastern Peru. *Journal of Medical Entomology*, *41*(3), 489–494. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.3.489>
- García, L., Veneros, J., Chavez, S., Oliva, M., & Rojas, N. (2022). World historical mapping and potential distribution of *Cinchona spp.* in Peru as a contribution for its restoration and conservation. *Journal for Nature Conservation*, *70*, 126-290.

<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126290>

- García, L., Soplín, H., Orihuela, J., Rodríguez, A., Canto, M., Veneros, J., Vilatuña, R., & Salas, F. (2015). *Modelando a Ceratitis capitata Diptera: Thepritidae para Ecuador*. UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
[https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=es&user=L8x2jx8AAAAJ&citation\\_for\\_view=L8x2jx8AAAAJ:qjMakFHDy7sC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=L8x2jx8AAAAJ&citation_for_view=L8x2jx8AAAAJ:qjMakFHDy7sC)
- García, I., Bedón, H., & Durán, M. (2022). Proyección climática para el periodo 2006-2075 para el valle de Jauja, simulada por la intercomparación de modelos acoplados CSIRO Mk 3.0, MIROC-ESM y CNRM de fase 5 (CMIP5). *Ingeniería Industrial*, 1, 297-330  
<https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n.5813>
- Geobosques (2022). Bosque y no bosque 2000-Pérdida de bosque 2001-2021.  
<https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php?122345gxxe345w34gg>
- Ghakanyuy, B., Teboh-Ewungkem, M., Schneider, K., & Ngwa, G. (2022). Investigating the impact of multiple feeding attempts on mosquito dynamics via mathematical models. *Mathematical Biosciences*, 350. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2022.108832>
- Gil, L., Rodrigues, M., Lima, A., & Katsuragawa, T. (2015). Seasonal Distribution of Malaria Vectors (Diptera: Culicidae) in Rural Localities of Porto Velho, Rondônia, Brazilian Amazon. *Revista Do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 57(3), 263–267.  
<https://doi.org/10.1590/s0036-46652015000300014>
- Gogol-Prokurat, M. (2011). Predicting habitat suitability for rare plants at local spatial scales using a species distribution model. *Ecological Applications*, 21(1), 33-47.  
<https://doi.org/10.1890/09-1190.1>
- González, L., & Hernández, C. (2017). Malaria : vectores. *Ciencia*, 68(1), 50–53.
- Gorla, D. (2021). Cambio climático y enfermedades transmitidas por vectores en Argentina. *Medicina*, 81(3), 432–437. <http://www.scielo.org.ar/pdf/medba/v81n3/1669-9106-medba-81-03-432.pdf>
- Guisan, A., & Hofer, U. (2003). Predicting reptile distributions at the mesoscale: Relation to

- climate and topography. *Journal of Biogeography*, 30(8), 1233–1243. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00914.x>
- Guti, T., & Herbosa, R. O. (2008). Enfermedades tropicales transmitidas por vectores. *Farmacoterapia*, 27, 78–87
- Hao, Y., Luo, Z., Zhao, J., Gong, Y., Li, Y., Zhu, Z., Tian, T., Wang, Q., Zhang, Y., Zhou, Z., Hu, Z., & Li, S. (2022). Transmission Risk Prediction and Evaluation of Mountain-Type Zoonotic Visceral Leishmaniasis in China Based on Climatic and Environmental Variables. *Atmosphere*, 13(6), 964. <https://doi.org/10.3390/atmos13060964>
- Hirzel, A., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C., & Guisan, A. (2006). Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling*, 199(2), 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.017>
- Jácome, G., Vilela, P., & Yoo, C. (2019). Social-ecological modelling of the spatial distribution of dengue fever and its temporal dynamics in Guayaquil, Ecuador for climate change adaption. *Ecological Informatics*, 49, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.11.001>
- Jiménez-Valverde, A. (2011). Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), 498-507. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00683.x>
- Jones, C., Hughes, J, Bellouin, N., Hardiman, S., Jones, G., Knight, J., Liddicoat, S., O'Connor, F., Andres, R., Bell, C., Boo, K., Bozzo, A., Butchart, N., Cadule, P., Corbin, K., Doutriaux-Boucher, M., Friedlingstein, P., Gornall, J., Gray, L., Halloran, P., Hurtt, G., Ingram, W., Lamarque, J., Law, R., Meinshausen, M., Osprey, S., Palin, E., Parsons Chini, L., Raddatz, T., Sanderson, M., Sellar, A., Schurer, A., Valdes, P., Wood, N., Woodward, S., Yoshioka, M., and Zerroukat, M. (2011): The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geosci. Model Dev.*, 4, 543–570, <https://doi.org/10.5194/gmd-4-543-2011>
- Lafferty, K. (2009). The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*, 90(4), 888–900. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/08-0079.1>

- Liu, B., Gao, X., Ma, J., Jiao, Z., Xiao, J., Hayat, M., & Wang, H. (2019). Modeling the present and future distribution of arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* under climate change scenarios in Mainland China. *Science of the Total Environment*, 664, 203–214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.301>
- Llamocca, J. (2022). Regiobalización Estadística de Escenarios Climáticos con CMIP5 para el Perú. *Revista Geográfica*, 164, 99-111. DOI: <https://doi.org/10.35424/regeo.164.1085>
- Ministerio de Salud, MINSA (2022). Plan hacia la Eliminación de la Malaria en el Perú 2022-2030. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/fi-admin/RM-034-2022%20MINSA.pdf>
- Ministerio de Salud, MINSA (2023). Sala virtual de situación de salud, CDC Perú. Obtenido el 25 de julio de [https://www.dge.gob.pe/salasisituacional/sala/index/3\\_GraficoxSE/84](https://www.dge.gob.pe/salasisituacional/sala/index/3_GraficoxSE/84)
- Mohammed, K., Salifu, M., Batung, E., Amoak, D., Avoka, V., Kansanga, M., & Luginaah, I. (2022). Spatial analysis of climatic factors and *plasmodium falciparum* malaria prevalence among children in Ghana. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2022.100537>
- Molina, A. (2008). Sistemas de información geográfica para el análisis de la distribución espacial de la malaria en Colombia. *Revista EIA*, 5(9), 91–111. <http://repository.eia.edu.co/revistas/index.php/reveia/article/view/201>
- Molina, C., Castillo, A., & Samaniego, H. (2018). Evaluación del nicho ecológico ambiental de *Lycalopex fulvipes* (zorro de Darwin) y la incidencia del cambio climático sobre su distribución geográfica. *Gayana*, 82(1), 65-78. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382018000100065>
- Montenegro, C., Bustamante-Chauca, T., Pajuelo Reyes, C., Bernal, M., Gonzales, L., Tapia-Limonchi, R., Tejedo, J., & Chenet, S. (2021). *Plasmodium falciparum* outbreak in native communities of Condorcanqui, Amazonas, Perú. *Malaria Journal*, 20(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12936-021-03608-2>
- Morales Viteri, D., Herrera-Varela, M., Albuja, M., Quiroga, C., Diaz, G., Del Aguila

- Morante, C., Ramirez, D., Vinetz, J., Bickersmith, S., & Conn, J. (2021). New Records of *Anopheles benarrochi* B (Diptera: Culicidae) in Malaria Hotspots in the Amazon Regions of Ecuador and Peru. *Journal of Medical Entomology*, 58(3), 1234–1240. <https://doi.org/10.1093/jme/tjaa293>
- Moreno, M., Tong, C., Guzmán, M., Chuquiyaui, R., Llanos-Cuentas, A., Rodriguez, H., Gamboa, D., Meister, S., Winzeler, E., Maguina, P., Conn, J., & Vinetz, J. (2014). Infection of laboratory-colonized *Anopheles darlingi* mosquitoes by *Plasmodium vivax*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 90(4), 612–616. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.13-0708>
- Mousam, A., Maggioni, V., Delamater, P., & Quispe, A. (2017). Using remote sensing and modeling techniques to investigate the annual parasite incidence of malaria in Loreto, Peru. *Advances in Water Resources*, 108, 423–438. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.11.009>
- Naimi, B., & Araújo, M. (2016). sdm : a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(4), 368–375. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>
- Nigussie, T., Zewotir, T., & Muluneh, E. (2022). Effects of climate variability and environmental factors on the spatiotemporal distribution of malaria incidence in the Amhara national regional state, Ethiopia. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 40(October 2021), 100475. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2021.100475>
- Nosten, F., Richard-Lenoble, D., & Danis, M. (2022). A brief history of malaria. *Presse Medicale*, 51(3). <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2022.104130>
- Núñez, A., Higuera, E. (2018). Altitud, variables climáticas y tiempo de permanencia de las personas en plazas de Ecuador. *Rev. Bras. Gest. Urbana*, 10(2), 414-425. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.002.AO11>
- Ochoa, S., Vargas, K., Chavira, B., & Torres, L. (2017). Enfermedades transmitidas por vectores y cambio climático. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 25(72), 118–128. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201772229>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Informe mundial sobre la malaria 2021, Datos*

*regionales y tendencias.* 1–15. [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/malaria/world-malaria-reports/world-malaria-report-2021-regional-briefing-kit-spa.pdf?sfvrsn=338167b6\\_25&download=true](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/malaria/world-malaria-reports/world-malaria-report-2021-regional-briefing-kit-spa.pdf?sfvrsn=338167b6_25&download=true)

- Pakdad, K., Hanafi, A., Vatandoost, H., Mehdi, M., Raeisi, A., Salahi, A., & Rahimi, A. (2017). Predicting the potential distribution of main malaria vectors *Anopheles stephensi*, *An. culicifacies* s.l. and *An. fluviatilis* s.l. in Iran based on maximum entropy model. *Acta Tropica*, *169*, 93-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.02.004>
- Parra-henao, G. (2010). Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *2*, 75–89.
- Pérez-García, B., & Liria, J. (2013). Model of fundamental ecological niche for species of the genus *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *84*(2), 600–611. <https://doi.org/10.7550/rmb.32234>
- Phillips, S., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, *31*(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Pilar, K., & Solis, J. (2019). Caracterización del paludismo como enfermedad endémica en Ecuador Characterization of the malaria like endemic illness in Ecuador, *23*(4), 540–558.
- Pizzitutti, F., Mena, C., Feingold, B., & Pan, W. (2019). Modeling asymptomatic infections and work-related human circulation as drivers of unstable malaria transmission in low-prevalence areas: A study in the Northern Peruvian Amazon. *Acta Tropica*, *197*, 104909. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2019.01.022>
- Portilla Cabrera, C. V., & Selvaraj, J. J. (2020). Geographic shifts in the bioclimatic suitability for *Aedes aegypti* under climate change scenarios in Colombia. *Heliyon*, *6*(1), e03101. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03101>
- Sánchez, B., Flores, S., Rodríguez, E., Anaya, A., & Contreras, E. (2020). "Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal". *Revista Mexicana de ciencias pecuarias*, *11*, 126-145.

<https://doi.org/10.22319/RMCP.V11S2.4742>

- Sanchez-Castro, E., Cahuana, G., García-Ríos, C., Guerra-Duarte, C., Chauca, P., Tapia-Limonchi, R., Chenet, S., Soria, B., Chavez-Olortegui, C., & Tejedo, J. (2022). Health and economic burden due to malaria in Peru over 30 years (1990–2019): Findings from the global burden of diseases study 2019. *The Lancet Regional Health - Americas*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2022.100347>
- Selva, W., Rojas, C., Quispe, A., Wilma, C., & Rojas, C. (2022). Características espacio temporales de la transmisión de la malaria en la región Loreto entre los años 2000 y 2019. *An. Fac. Med.*, 83(4), 286–293. <https://doi.org/10.15381/anales.v83i4.23730>.
- Senamhi, (2021). Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1470>
- Shoeler, G., Florez-Mendoza, C., Fernández, R., Reyes, J., & Zyzak, M. (2003). Geographical distribution of *Anopheles darlingi* in the Amazon basin region of Peru. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 19(4), 286-296.
- Stein, M., Rossi, G. C., & Almirón, W. R. (2016). *Distribución Geográfica de Culicidae de Argentina*. 47–56.
- Tonnang, H., Kangalawe, R., & Yanda, P. (2010). Predicting and mapping malaria under climate change scenarios : the potential redistribution of malaria vectors in Africa. *Malaria Journal*, 9(111), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/1475-2875-9-111>
- Tonnang, H., Tchouassi, D., Juarez, H., Igweta, L., & Djouaka, R. (2014). Zoom in at African country level : potential climate induced changes in areas of suitability for survival of malaria vectors. *International Journal of Health Geographics*, 13(12), 1–14. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-13-12>
- Torres, K., Ferreira, M., Castro, M., Escalante, A., Conn, J., Villasis, E., Araujo, S., Almeida, G., Rodrigues, P., Corder, R., Fernandes, A., Calil, P., Ladeia, W., Garcia-castillo, S., Gomez, J., Ribeiro, L., Gazzinelli, R., Golenbock, D., Llanos-cuentas, A., & Vinetz, J. (2022). Malaria Resilience in South America : *Epidemiology , Vector Biology , and*

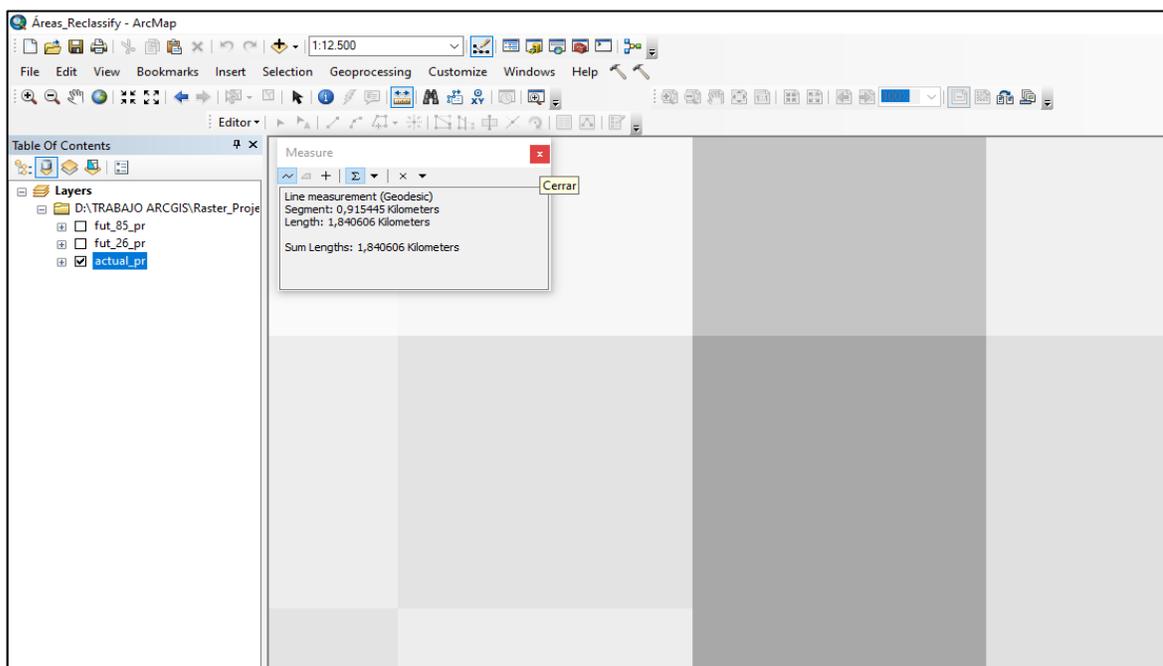
- Immunology Insights from the Amazonian International Center of Excellence in Malaria Research Network in Peru and Brazil. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 107(4), 168–181. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.22-0127>
- Traverso, C., Zegarra, A., & Castillo, M. (2022). Ámbito biológico, social, tecnológico, económico, normativo y político del plan hacia la eliminación de la malaria en el Perú 2022-2030. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 62(6), 1227-1236. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.626.014>
- Vargas, J. (2003). Prevención y control de la Malaria y otras enfermedades transmitidas por vectores en el Perú. *Rev. Peru. Epidemiol.*, 11(1), 16–17.
- Véliz-Mero, N., Macías-Cedeño, N., Piguave-Reyes, J., Moreira-Andrade, Y., Araujo-Reyna, F., & Sabando-Saltos, M. (2019). El cambio climático y su incidencia en enfermedades tropicales, *Domino De Las Ciencias*, 5(1), 459-487. <https://doi.org/10.23857/dc.v5i1.872>
- Veneros, J. (2023). Forecasting vertebrate species habitats suitability and ecoregion types under future climate change scenarios using Species Distribution Modeling (SDM). *Doctoral Thesis in Ecology & Environmental Science. montana State University.* p.190.
- Veneros, J. (2014). *Análisis de la distribución potencial de Phthorimaea operculella (Zeller) bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático.* UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA. [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=es&user=L8x2jx8AAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation\\_for\\_view=L8x2jx8AAAJ:u-x6o8ySG0sC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=L8x2jx8AAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=L8x2jx8AAAJ:u-x6o8ySG0sC)
- Zhang, K., Yao, L., Meng, J., & Tao, J. (2018). Science of the Total Environment Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. *Science of the Total Environment*, 634, 1326–1334. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.112>
- Villegas-Pingo, M., Zumaeta, J., Rojas, L., Gonzales, L., Tapia-Limonchi, R, Gonzáles, C., & Chenet, S. (2022). First molecular characterization of *Anopheline* mosquitoes circulating in native communities of Condorcanqui, Amazonas in Peru.

## VIII. ANEXOS

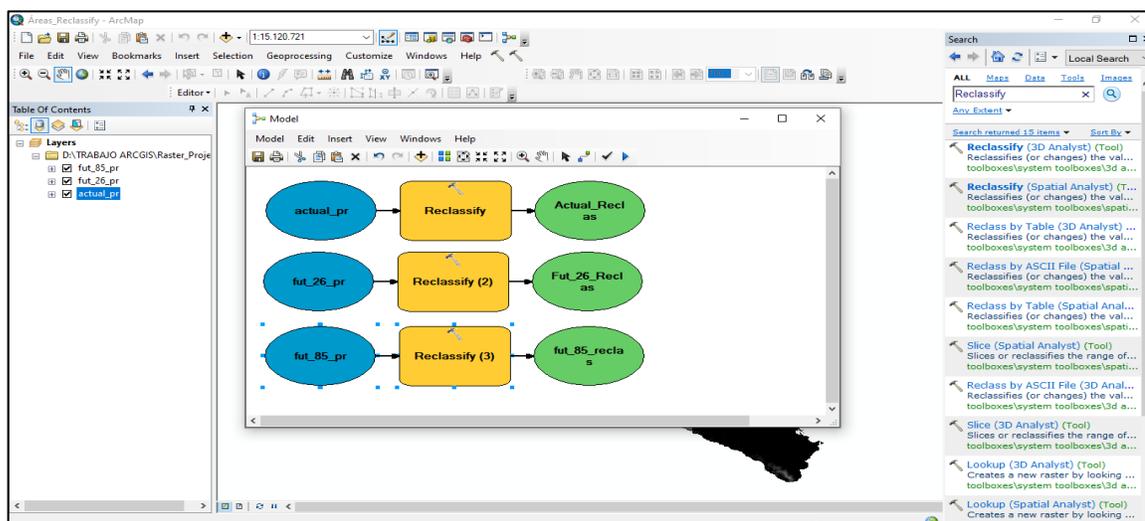
### Anexo 1. Base de datos de ocurrencia de *A. benarrochi*

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1aaFbA1wL7UNTYVgTgFHEtUUCKcV7Q2ByazFK0yqCqIE/edit?pli=1#gid=50241847>

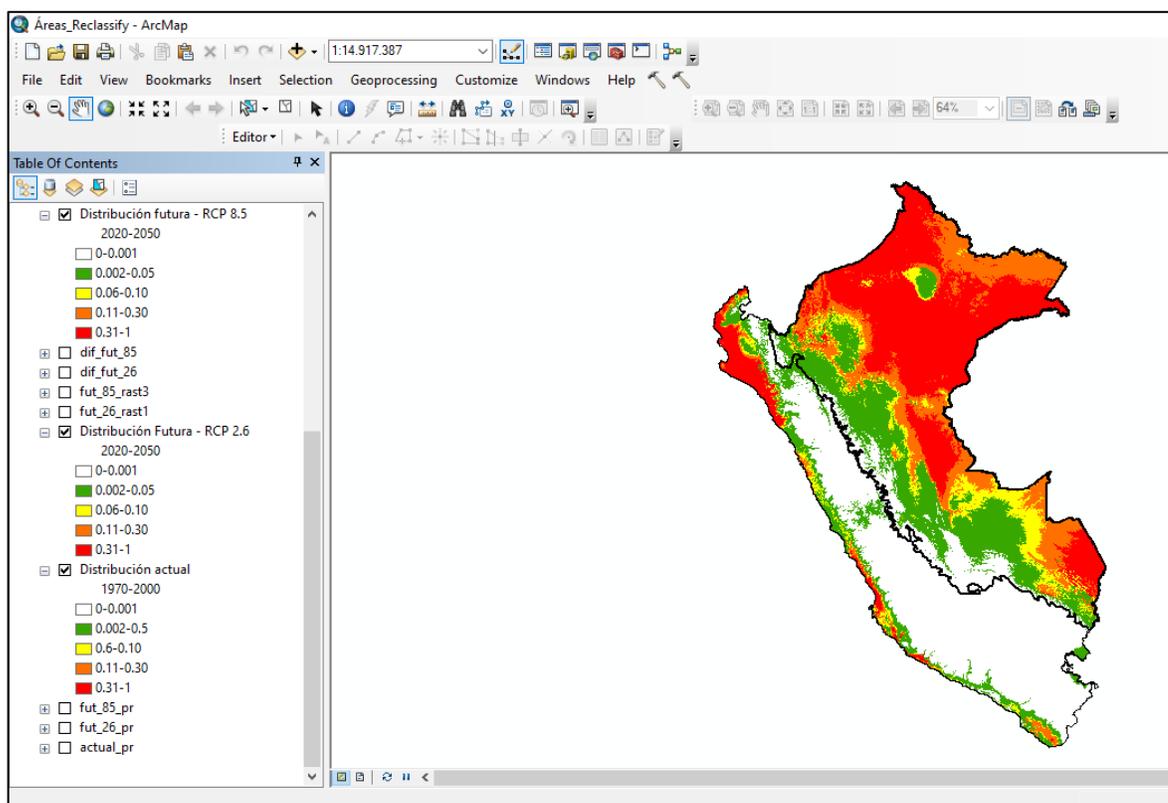
Anexo 2. Medida de píxel de los mapas actuales y futuros proyectados en sistema de coordenadas WGS 1984 para realizar la reclasificación.



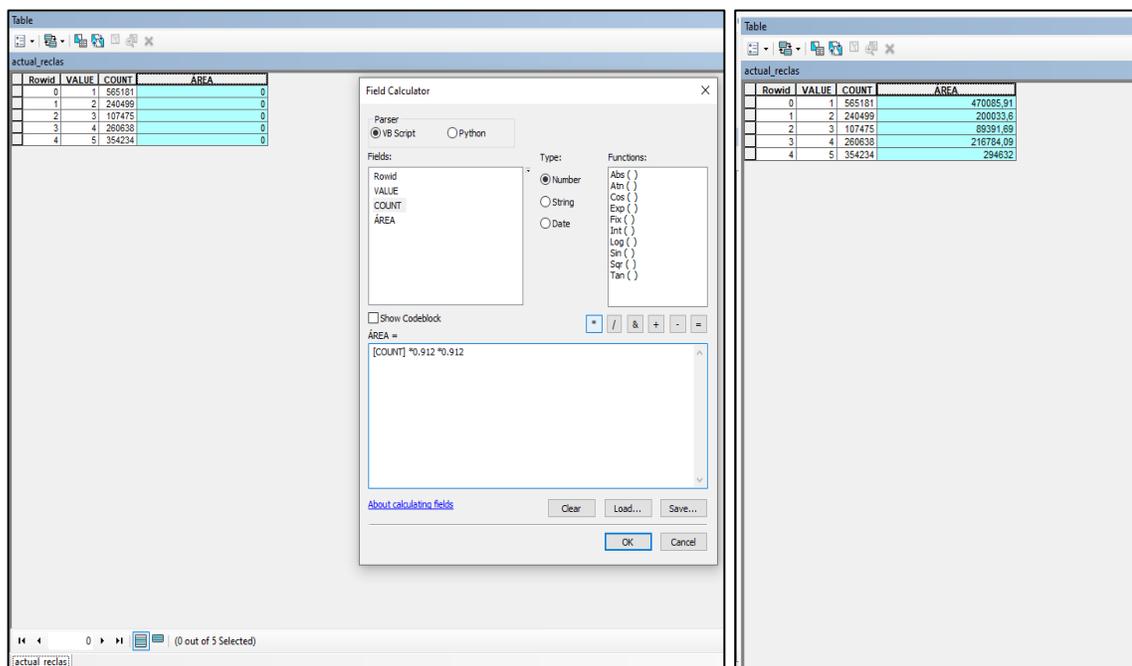
### Anexo 3. Reclasificación de los mapas actual y futuro RCP2.6 y RCP 8.5



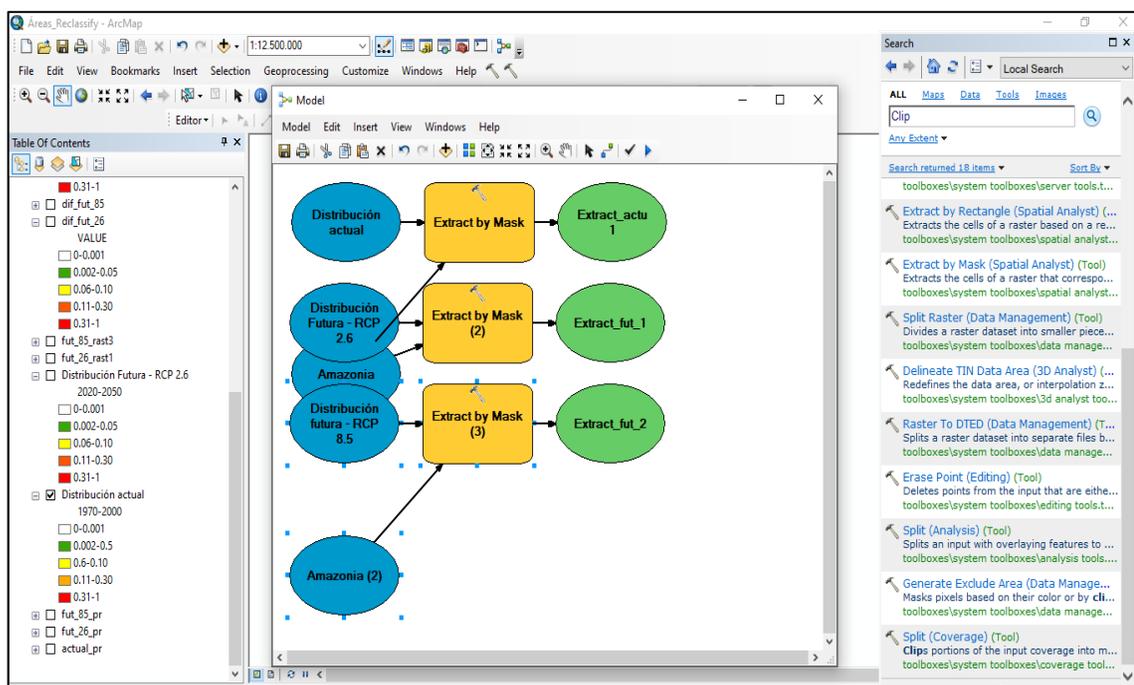
**Anexo 4.** Producto de los índices ecoclimáticos actual y futuro RCP2.6 y RCP8.5 reclasificados.



**Anexo 5.** Cálculo de los índices de las reclasificaciones en km<sup>2</sup> con Field Calculator.



## Anexo 6. Recorte del shapefile de Amazonía peruana para cada ráster actual, y futuro RCP 2.6 y RCP 8.5



## Anexo 7. Recorte de Amazonía peruana actual, y futuro RCP 2.6 y RCP 8.5

