



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Proyecto de Investigación previo a la  
obtención del título de Ingeniera en Gestión  
Ambiental.

**Título del Proyecto de Investigación**

**“ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO MÁS  
ALARMANTES PARA LA INVASIÓN POTENCIAL DEL CARACOL  
AFRICANO (*ACHATINA FULICA*) EN ECUADOR CONTINENTAL”**

**Autora:**

Jennifer Yajaira Sánchez Jaramillo

**Directora de Proyecto de Investigación**

Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.

**Codirector**

Ing. Pedro Damián Ríos Guayasamín, MSc.

**Quevedo – Los Ríos – Ecuador**

**2020**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, **Jennifer Yajaira Sánchez Jaramillo**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Jennifer Yajaira Sánchez Jaramillo**

**C.C. # 1723572457**

## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

La suscrita, **Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y el suscrito **Ing. Pedro Damián Ríos Guayasamín, MSc.**, perteneciente a la Universidad Estatal Amazónica y al Laboratorio de Ecología Tropical Natural y Aplicada, certifican que la estudiante **Jennifer Yajaira Sánchez Jaramillo**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO MÁS ALARMANTES PARA LA INVASIÓN POTENCIAL DEL CARACOL AFRICANO (*ACHATINA FULICA*) EN ECUADOR CONTINENTAL**”, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....  
**Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.**  
**DIRECTORA DEL PROYECTO DE  
INVESTIGACIÓN**

  
.....  
**Ing. Pedro Ríos Guayasamín, MSc.**  
**CODIRECTOR DEL PROYECTO DE  
INVESTIGACIÓN**

# CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** Tesis-Jennifer Sanchez.docx (D82622126)  
**Submitted:** 10/24/2020 4:54:00 PM  
**Submitted By:** yferrer@uteq.edu.ec  
**Significance:** 7 %

Sources included in the report:  
<https://quizlet.com/142667614/ecuador-geografia-flash-cards/>

Instances where selected sources appear:  
59

.....  
**Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.**  
**DIRECTORA DEL PROYECTO DE  
INVESTIGACIÓN**



.....  
**Ing. Pedro Ríos Guayasamín, MSc.**  
**CODIRECTOR DEL PROYECTO DE  
INVESTIGACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

**“ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO MÁS ALARMANTES PARA LA INVASIÓN POTENCIAL DEL CARACOL AFRICANO (*ACHATINA FULICA*) EN ECUADOR CONTINENTAL”**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental.

Aprobado por:

---

Ing. Francisca Contreras Mosquera  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

---

Blgo. Juan Pablo Urdánigo  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

---

Ing. Ángel Yépez Rosado  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR**

**2020**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme culminar mi carrera profesional, a mi familia por apoyarme en todo momento.

A mi tutora académica por brindarme su conocimiento y guiarme en mi investigación.

A todas las personas que me ayudaron a culminar mi proyecto, en especial al Ing. Pedro Ríos Guayasamín, MSc. perteneciente a la Universidad Estatal Amazónica por ser el codirector del proyecto.

Gracias al proyecto FOCICYT de la sexta convocatoria “Impacto potencial de diferentes escenarios de cambio climático sobre las especies exóticas invasoras en Ecuador: evaluación a partir de la modelación del nicho ecológico” como eje central de esta investigación y hacer posible mi proyecto.

## **Dedicatoria**

Todos mis logros se los dedico con mucho cariño y afecto a mis padres, por haber sacrificado muchas cosas y apoyarme incondicionalmente en todas mis facetas estudiantiles y son quienes me impulsan a seguir adelante para conseguir todo lo que me proponga, con la educación, principios y valores que me inculcaron siempre.

A mis hermanos y tía, que han estado junto a mí cuando más los he necesitado.

A mis abuelos en el cielo, quienes me cuidaron y me brindaron su sabiduría hasta sus últimos días de vida.

A mis verdaderos amigos que conocí en la universidad, gracias por su apoyo incondicional.

## Resumen

Las invasiones biológicas están causando graves afectaciones a la biodiversidad. Por su rápida propagación y adaptabilidad climática es difícil la erradicación de las especies invasoras. Uno de los casos más representativos es *Achatina fulica*, una de las 100 peores especies exóticas invasoras a nivel mundial y dentro de Ecuador continental ha tomado relevancia entre las especies más agresivas por su alta frecuencia y los impactos negativos que ocasiona en la biodiversidad, en la agricultura y salud humana. El objetivo de esta investigación fue evaluar la invasión potencial del caracol africano en Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Se utilizaron 1525 registros de coordenadas geográficas de la especie, obtenidos de varias fuentes como artículos científicos, bases de datos mundiales e investigaciones de la Universidad Estatal Amazónica. Estos registros se emplearon para la modelación de la distribución potencial de la especie mediante el método de máxima entropía (Maxent). Se seleccionaron cuatro laboratorios climáticos (IPSL-CM5ALR, MIROC-ESM, GISS-E2-R y NorESM1-ME) que mejor predicen el clima del país en el futuro y las tres variables bioclimáticas utilizadas fueron Bio5 (temperatura máxima del mes cálido), Bio12 (precipitación anual) y Bio16 (precipitación del trimestre más lluvioso). Se obtuvieron mapas binarios que fueron analizados en ArcGis, y permitieron identificar las zonas más susceptibles con una extensión de 121 747Km<sup>2</sup>. Las condiciones climáticas idóneas para el caracol africano en Ecuador estuvieron en zonas con climas tropicales, semiáridos cálidos y oceánicos templados, estas zonas tuvieron una temperatura máxima del mes más cálido desde 19,20°C a 32,30°C, la precipitación anual con valores de 147mm a 4477mm y la precipitación del trimestre más lluvioso tuvo un promedio de 119mm a 1824mm. La región Costa es más idónea climáticamente para la especie al igual que la región Amazónica en el futuro. La Sierra presenta poco riesgo por las bajas temperaturas y la altitud. Al aumentar la temperatura entre cada escenario de cambio climático, la propagación de *Achatina fulica* se reduce potencialmente en las zona Costera que actualmente fue más perjudicada pero lo contrario ocurre en nuevas áreas en las que la presencia de la especie podría ser más extensa como es el caso de la Amazonía. El RCP 2.6 fue el escenario más propenso a invasión con una extensión máxima de 75 557,09 Km<sup>2</sup>. Según las condiciones climáticas existentes, el caracol africano afectó a 36 áreas protegidas. Por lo tanto es importante aplicar medidas preventivas y de control para la invasión de esta especie.

**Palabras clave:** especie exótica invasora, MaxEnt, modelación, áreas protegidas.

## Abstract

Biological invasions are causing serious impacts on biodiversity. Because of their rapid spread and climatic adaptability, it is difficult to eradicate invasive species. One of the most representative cases is *Achatina fulica*, one of the 100 worst invasive exotic species worldwide. Within continental Ecuador, it has taken on relevance among the most aggressive species due to its high frequency and the negative impacts it causes on biodiversity, agriculture, and human health. The objective of this research was to evaluate the potential invasion of the African snail in continental Ecuador in the face of climate change scenarios. We used 1525 records of geographic coordinates of the species, obtained from various sources such as scientific articles, global databases and research from the Amazonian State University. These records were used to model the potential distribution of the species using the maximum entropy method (Maxent). Four climatic laboratories were selected (IPSL-CM5ALR, MIROC-ESM, GISS-E2-R and NorESM1-ME) that better predict the climate of the country in the future and the three bioclimatic variables used were Bio5 (maximum temperature of the warm month), Bio12 (annual precipitation) and Bio16 (precipitation of the rainiest quarter). Binary maps were obtained and analyzed in ArcGis, and allowed identifying the most susceptible areas with an extension of 121 747Km<sup>2</sup>. The ideal climatic conditions for the African snail in Ecuador were in zones with tropical climates, warm semiarid and temperate oceanic, these zones had a maximum temperature of the warmest month from 19.0°C to 32.30°C, the annual precipitation with values of 147mm to 4477mm and the precipitation of the rainiest quarter had an average of 119 mm to 1824 mm. The Costa region is more climatically suitable for the species as well as the Amazon region in the future. The Sierra presents little risk due to the low temperatures and altitude. As the temperature increases between each climate change scenario, the spread of *Achatina fulica* is potentially reduced in the Coastal areas that were currently most affected, but the opposite occurs in new areas where the presence of the species could be more extensive, as is the case in the Amazon. PCR 2.6 was the most invasion-prone scenario with a maximum extension of 75 557,09Km<sup>2</sup>. According to the existing climatic conditions, the African snail affected 36 protected areas. Therefore it is important to apply preventive and control measures for the invasion of this species.

**Keywords:** invasive alien species, MaxEnt, modeling, protected areas.

## TABLA DE CONTENIDO

Declaración de autoría y cesión de derechos .....	ii
Certificación de culminación del proyecto de investigación .....	iii
Certificado del reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico .....	iv
Agradecimiento .....	vi
Dedicatoria.....	vii
Resumen .....	viii
Abstract.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xx
Código Dublin.....	xxi
Introducción .....	1
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1. Problema de investigación .....	4
1.1.1. Planteamiento del problema .....	4
1.1.2. Formulación del problema.....	6
1.1.3. Sistematización del problema .....	6
1.2. Objetivos .....	7
1.2.1. Objetivo general.....	7
1.2.2. Objetivos Específicos.....	7
1.3. Justificación.....	8
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>10</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>10</b>
2.1. Marco conceptual .....	11
2.1.1. Invasiones biológicas .....	11
2.1.1.1. Proceso de invasión biológica .....	11
2.1.1.2. Los humanos y las invasiones biológicas .....	12

2.1.1.3. Consecuencias de las invasiones biológicas.....	13
2.1.2. Especies exóticas invasoras.....	13
2.1.3. Ecosistemas .....	14
2.1.3.1. Situación actual de los ecosistemas naturales .....	15
2.1.4. Servicios ecosistémicos.....	16
2.1.5. Cambio climático.....	17
2.1.5.1. Factores que causan el cambio climático .....	17
2.1.5.2. Gases de efecto invernadero.....	18
2.1.5.3. Efectos del cambio climático .....	18
2.1.6. Trayectorias de Concentración Representativas (RCPs).....	19
2.1.7. Modelo climático global (GCM) .....	20
2.1.8. Panel Intergubernamental de cambio climático (IPCC) .....	20
2.1.9. Nicho ecológico .....	21
2.1.10. Modelos de nichos ecológicos .....	22
2.1.10.1. Modelado de distribución de especies (SDM) y modelado de nicho ecológico (ENM).....	22
2.1.10.2. La Dualidad de Hutchinson.....	23
2.1.10.3. Diagrama biótico, abiótico y movimiento (BAM) .....	24
2.1.11. Herramientas de modelación .....	25
2.1.11.1. MaxEnt.....	26
2.1.11.2. Genetic Algorithm for Rule-set Prediction .....	26
2.1.11.3. Wallace.....	27
2.1.11.4. Niche A .....	27
2.1.11.5. Bioclim.....	28
2.1.12. Ecología del caracol gigante africano .....	28
2.1.12.1. Taxonomía.....	28
2.1.12.2. Biología .....	29

2.1.12.3. Ciclo biológico .....	30
2.1.12.4. Morfología.....	31
2.1.12.5. Distribución .....	32
2.2. Marco referencial.....	32
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>35</b>
<b>MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>35</b>
3.1. Localización .....	36
3.1.1. Clima .....	36
3.2. Tipo de investigación.....	36
3.2.1. Investigación Exploratoria .....	36
3.3. Métodos de investigación.....	37
3.3.1. Método Inductivo.....	37
3.3.2. Método Deductivo .....	37
3.3.3. Método Analítico .....	37
3.4. Fuentes de recopilación de información .....	37
3.5. Diseño de la investigación .....	38
3.5.1. Fuentes de información de la especie exótica invasora .....	38
3.5.2. Variables climáticas .....	39
3.5.3. Descripción climática de las condiciones ambientales de la zona de estudio con presencia de la especie.....	43
3.5.3.1. Clasificación climática de Köppen-Geiger .....	43
3.5.3.2. Análisis descriptivo y multidimensional de las variables bioclimáticas.....	44
3.5.4. Modelación de la distribución geográfica potencial del caracol africano.....	44
3.5.4.1. Modelación de nicho ecológico .....	44
3.5.5 Identificación de los escenarios de cambio climático con mayor riesgo de invasión.....	46
3.6. Instrumentos de investigación .....	47
3.7. Tratamiento de datos.....	48

<b>CAPÍTULO IV</b> .....	49
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	49
4.1. Descripción climática de las condiciones ambientales en los sitios de presencia de invasión de la especie .....	50
4.1.1. Clasificación climática según Köppen-Geiger de los sitios con presencia de la especie en la región nativa y de invasión en Ecuador .....	50
4.1.2. Descripción climática en los sitios con presencia de la especie .....	52
4.1.3. Variación climática de los sitios con presencia de la especie entre la región Costa, Sierra y Amazonía .....	53
4.1.5. Variación de la temperatura y precipitación, en sitios de presencia del caracol africano entre los Modelos de Circulación General para cada escenario de cambio climático.....	55
4.2. Nicho climático conocido del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en Ecuador continental.....	60
4.2.1. Modelación de la distribución geográfica potencial del caracol africano en el presente y ante escenarios de cambio climático .....	62
4.2.2. Validación del modelo de distribución geográfica potencial del caracol africano.....	66
4.3. Escenarios de cambio climático con mayor riesgo de invasión del caracol africano en Ecuador.....	68
4.3.1. Variación de la extensión geográfica de condiciones adecuadas para la distribución potencial del caracol africano ante escenarios de cambio climático .....	72
4.3.2. Identificación de áreas con riesgo de invasión del caracol africano en las provincias y en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.....	74
4.4. Discusión.....	83
<b>CAPÍTULO V</b> .....	86
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	86
5.1. Conclusiones .....	87
5.2. Recomendaciones .....	88
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	89
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	89

<b>CAPÍTULO VII</b> .....	100
<b>ANEXOS</b> .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Consecuencias ecológicas derivadas de la introducción de EEI. ....	16
<b>Figura 2.</b> La dualidad de Hutchinson.....	24
<b>Figura 3.</b> El diagrama de BAM. ....	24
<b>Figura. 4.</b> Variación de los promedios de temperatura en sitios con presencia confirmada del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) entre las regiones Costa, Sierra y Amazonía de Ecuador continental. ....	54
<b>Figura 5.</b> Variación de los promedios de precipitación en sitios con presencia confirmada del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) entre las regiones Costa, Sierra y Amazonía de Ecuador continental. ....	55
<b>Figura 6.</b> Variación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelo de distribución del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) entre el presente (línea roja) y hacia el futuro según los escenarios de cambio climático para cada laboratorio: A (IPSL-CM5ALR), B (MIROC-ESM), C (GISS-E2-R) y D (NorESM1-ME).....	59
<b>Figura 7.</b> Nicho climático conocido de <i>Achatina fulica</i> dentro de su rango de invasión en Ecuador continental. Se muestra el centroide del nicho conocido (asterisco azul). Bio 5: temperatura máxima del mes más cálido; Bio 16: precipitación del trimestre más lluvioso; Bio 12: precipitación anual.....	60
<b>Figura 8.</b> Clúster del nicho climático conocido del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) dentro de su rango de invasión en la región Costa (puntos negros), Sierra (puntos verdes) y Amazonía (puntos rojos) de Ecuador continental. Se muestra el centroide del nicho conocido en cada región (asterisco) y el elipsoide que encierra cada nicho. Bio 5: temperatura máxima del mes más cálido; Bio16: precipitación del trimestre más lluvioso; Bio12: precipitación anual. ....	61
<b>Figura 9.</b> Idoneidad de la distribución geográfica del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) para el laboratorio climático IPSL-CM5A-LR. ....	62
<b>Figura 10.</b> Idoneidad de la distribución geográfica del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) para el laboratorio climático MIROC-ESM. ....	63
<b>Figura 11.</b> Idoneidad de la distribución geográfica del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) para el laboratorio climático GISS-E2-R. ....	64

<b>Figura 12.</b> Idoneidad de la distribución geográfica del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) para el laboratorio climático NorESM1-ME. ....	65
<b>Figura 13.</b> Reconocimiento de las áreas con condiciones ambientales ideales para la distribución potencial del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en los escenarios de cambio climático del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR. ....	68
<b>Figura 14.</b> Establecimiento de las áreas con condiciones ambientales ideales para la distribución potencial del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en los escenarios de cambio climático del laboratorio MIROC-ESM. ....	69
<b>Figura 15.</b> Identificación de áreas que presentan condiciones ambientales idóneas para la distribución potencial del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en los escenarios de cambio climático del laboratorio climático GISS-E2-R. ....	70
<b>Figura 16.</b> Identificación de áreas que presentan condiciones ambientales idóneas para la distribución potencial del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en los escenarios de cambio climático del laboratorio climático NorESM1-ME. ....	71
<b>Figura 17.</b> Condiciones ambientales favorables para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las regiones de Ecuador continental pronosticadas por los laboratorios climáticos. ....	73
<b>Figura 18.</b> Variabilidad de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las provincias de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Laboratorio climático IPSL-CM5A-LR. ....	74
<b>Figura 19.</b> Variabilidad de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las provincias de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Laboratorio climático MIROC-ESM. ....	75
<b>Figura 20.</b> Variabilidad de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las provincias de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Laboratorio climático GISS-E2-R. ....	76
<b>Figura 21.</b> Variabilidad de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las provincias de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Laboratorio climático NorESM1-ME. ....	77
<b>Figura 22.</b> Porcentaje de la extensión territorial con condiciones adecuadas para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR. ....	79
<b>Figura 23.</b> Porcentaje de la extensión territorial con condiciones adecuadas para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático MIROC-ESM. ....	80

Figura 24. Porcentaje de la extensión territorial con condiciones adecuadas para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático GISS-E2-R.....	81
<b>Figura 25.</b> Porcentaje de la extensión territorial con condiciones adecuadas para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático NorESM1-ME.....	82
<b>Figura 26.</b> Comportamiento de las variables bioclimáticas de temperatura Bio 1 (temperatura media anual), Bio 2 (rango de temperaturas diurnas), Bio 3 (isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)), Bio 4 (estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)), Bio 6 (temperatura mínima del mes más frío), Bio 7 (rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)) del laboratorio IPSL-CM5A-LR en cada una de los escenarios de cambio climático 2050 y 2070 con respecto al presente. ....	103
<b>Figura 27.</b> Variación de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en los escenarios futuros de cambio climático de acuerdo a cada RCP en relación al presente, las variables de temperatura son Bio 8 (temperatura media del trimestre más lluvioso), Bio 9 (temperatura media del trimestre más seco), Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido), Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío) y las variables de precipitación son Bio 13 (precipitación del mes más lluvioso) y Bio 14 (precipitación del mes más seco) en el laboratorio IPSL-CM5A-LR .....	104
<b>Figura 28.</b> Versatilidad de la variables bioclimáticas de precipitación Bio 15 (estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) con respecto al presente y hacia el futuro para el laboratorio establecido IPSL-CM5A-LR. ....	105
<b>Figura 29.</b> Comportamiento de las variables bioclimáticas de temperatura Bio 1 (temperatura media anual), Bio 2 (rango de temperaturas diurnas), Bio 3 (isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)), Bio 4 (estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)), Bio 6 ((temperatura mínima del mes más frío), Bio 7 (rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)) del laboratorio MIROC-ESM en cada una de los escenarios de cambio climático 2050 y 2070 con respecto al presente.....	106
<b>Figura 30.</b> Variación de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en los escenarios futuros de cambio climático de acuerdo a cada RCP en relación al presente, las variables de temperatura son Bio 8 (temperatura media del trimestre más lluvioso), Bio 9 (temperatura media del trimestre más seco), Bio 10 (temperatura media del trimestre más	

cálido), Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío) y las variables de precipitación son Bio 13 (precipitación del mes más lluvioso) y Bio 14 (precipitación del mes más seco) en el laboratorio MIROC-ESM. .... 107

**Figura 31.** Versatilidad de la variables bioclimáticas de precipitación Bio 15 (estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) con respecto al presente y hacia el futuro del laboratorio MIROC-ESM. .... 108

**Figura 32.** Comportamiento de las variables bioclimáticas de temperatura Bio 1 (temperatura media anual), Bio 2 (rango de temperaturas diurnas), Bio 3 (isotermalidad (BIO2/BIO7) (\* 100)), Bio 4 (estacionalidad en la temperatura (desviación estándar \* 100)), Bio 6 (temperatura mínima del mes más frío), Bio 7 (rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)) del laboratorio GISS-E2-R en cada una de los escenarios de cambio climático 2050 y 2070..... 109

**Figura 33.** Variación de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en los escenarios futuros de cambio climático de acuerdo a cada RCP en relación al presente, las variables de temperatura son Bio 8 (temperatura media del trimestre más lluvioso), Bio 9 (temperatura media del trimestre más seco), Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido),Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío) y las variables de precipitación son Bio 13 (precipitación del mes más lluvioso) y Bio 14 (precipitación del mes más seco) en el laboratorio GISS-E2-R. .... 110

**Figura 34.** Versatilidad de la variables bioclimáticas de precipitación Bio 15 (estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) con respecto al presente y hacia el futuro del laboratorio GISS-E2-R. .... 111

**Figura 35.** Comportamiento de las variables bioclimáticas de temperatura Bio 1 (temperatura media anual), Bio 2 (rango de temperaturas diurnas), Bio 3 (isotermalidad (BIO2/BIO7) (\* 100)), Bio 4 (estacionalidad en la temperatura (desviación estándar \* 100)), Bio 6 (temperatura mínima del mes más frío), Bio 7 (rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)) del laboratorio NorESM1-ME en cada una de los escenarios de cambio climático 2050 y 2070 con respecto al presente..... 112

**Figura 36.** Variación de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en los escenarios futuros de cambio climático de acuerdo a cada RCP en relación al presente, las variables de temperatura son Bio 8 (temperatura media del trimestre más lluvioso), Bio 9 (temperatura media del trimestre más seco), Bio 10 (temperatura media del trimestre más

cálido), Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío) y las variables de precipitación son Bio 13 (precipitación del mes más lluvioso) y Bio 14 (precipitación del mes más seco) en el laboratorio NorESM1-ME. ....	113
<b>Figura 37.</b> Versatilidad de las variables bioclimáticas de precipitación Bio 15 (estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) con respecto al presente y hacia el futuro para el laboratorio establecido NorESM1-ME. ....	114
<b>Figura 38.</b> Proceso de invasión biológica de las especies. ....	131
<b>Figura 39.</b> Características morfológicas del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ). ....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Variables bioclimáticas que se utilizaron para la modelación de nicho ecológico de <i>Achatina fulica</i> (caracol africano) en Ecuador continental. ....	40
<b>Tabla 2.</b> Modelos de Circulación General (GCM) de donde se extrajeron las variables de temperatura y precipitación para la modelación a futuro del nicho ecológico de <i>Achatina fulica</i> (caracol africano) en Ecuador continental. ....	42
<b>Tabla 3.</b> Total de registros de datos del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en Ecuador continental obtenidos de diferentes fuentes. ....	43
<b>Tabla 4.</b> Clasificación climática de Köppen-Geiger para la región nativa del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en África. ....	50
<b>Tabla 5.</b> Clasificación climática de Köppen-Geiger para la región de invasión del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en Ecuador continental. ....	51
<b>Tabla 6.</b> Estadígrafos descriptivos de las variables bioclimáticas en los sitios con presencia confirmada del caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en Ecuador continental. ....	53
<b>Tabla 7.</b> Validación del modelo de la especie exótica invasora caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ). ....	67
<b>Tabla 8.</b> Descripción de la clasificación climática de Köppen-Geiger. ....	101
<b>Tabla 9.</b> Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las provincias de Ecuador continental para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR. ....	115

<b>Tabla 10.</b> Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las provincias de Ecuador continental para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático MIROC-ESM. ....	116
<b>Tabla 11.</b> Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las provincias de Ecuador continental para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático GISS-E2-R.....	118
<b>Tabla 12.</b> Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en las provincias de Ecuador continental para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático NorESM1-ME. ....	119
<b>Tabla 13.</b> Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR. ....	121
<b>Tabla 14.</b> Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático MIROC-ESM.....	123
<b>Tabla 15.</b> Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático GISS-E2-R.....	126
<b>Tabla 16.</b> Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano ( <i>Achatina fulica</i> ) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático NorESM1-ME.....	128

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Clasificación climática de Köppen-Geiger. ....	101
<b>Anexo 2.</b> Variaciones de las variables bioclimáticas en cada uno de los escenarios de cambio climático hacia el futuro con respecto al presente de los laboratorios. ....	103
<b>Anexo 3.</b> Variación porcentual de la idoneidad de <i>Achatina fulica</i> en Ecuador continental. ....	115
<b>Anexo 4.</b> Herramientas empleadas en el proyecto de investigación para la modelación de la especie. ....	131
<b>Anexo 4.1.</b> Plataforma internacional GBIF proporcionó registros de la especie exótica invasora en el país. ....	132
<b>Anexo 4.2.</b> NicheToolbox se utilizó para la validación del modelo y la obtención del análisis del nicho de la especie. ....	132
<b>Anexo 4.3.</b> Software Arcgis utilizado para el análisis de los mapas resultantes de la modelación y para generar los mapas finales con las respectivas representaciones de cada escenario de cambio climático. ....	133

## Código Dublin

Título:	“ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO MÁS ALARMANTES PARA LA INVASIÓN POTENCIAL DEL CARACOL AFRICANO ( <i>ACHATINA FULICA</i> ) EN ECUADOR CONTINENTAL”				
Autor:	Sánchez Jaramillo, Jennifer Yajaira				
Palabras clave:	Especie exótica invasora	Nicho ecológico	MaxEnt	modelación	Áreas protegidas
Fecha de publicación:					
Editorial:	Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2020.				
Resumen:	<p><b>Resumen.-</b> El objetivo de esta investigación fue evaluar la invasión potencial del caracol africano en Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Se utilizaron 1525 registros de coordenadas geográficas de la especie, obtenidos de varias fuentes como artículos científicos, bases de datos mundiales e investigaciones de la Universidad Estatal Amazónica. Estos registros se emplearon para la modelación de la distribución potencial de la especie mediante el método de máxima entropía (Maxent). Se seleccionaron cuatro laboratorios climáticos (IPSL-CM5ALR, MIROC-ESM, GISS-E2-R y NorESM1-ME) que mejor predicen el clima del país en el futuro y las tres variables bioclimáticas utilizadas fueron Bio5 (temperatura máxima del mes cálido), Bio12 (precipitación anual) y Bio16 (precipitación del trimestre más lluvioso). Se obtuvieron mapas binarios que fueron analizados en ArcGis, y permitieron identificar las zonas más susceptibles con una extensión de 121 747Km<sup>2</sup>. Las condiciones climáticas idóneas para el caracol africano en Ecuador estuvieron en zonas con climas tropicales, semiáridos cálidos y oceánicos templados, estas zonas tuvieron una temperatura máxima del mes más cálido desde 19,20°C a 32,30°C, la precipitación anual con valores de 147mm a 4477mm y la precipitación del trimestre más lluvioso tuvo un promedio de 119mm a 1824mm. La región Costa es más idónea climáticamente para la especie al igual que la región Amazónica en el futuro. La Sierra presenta poco riesgo por las bajas temperaturas y la altitud. Al aumentar la temperatura entre cada escenario de cambio climático, la propagación de <i>Achatina fulica</i> se reduce potencialmente en las zona Costera que actualmente fue más perjudicada pero lo contrario ocurre en nuevas áreas en las que la presencia de la especie podría ser más extensa como es el caso de la Amazonía. El RCP 2.6 fue el escenario más propenso a invasión con una extensión máxima de 75 557,09Km<sup>2</sup>. Según las condiciones climáticas existentes, el caracol africano afectó a 36 áreas protegidas. Por lo tanto es importante aplicar medidas preventivas y de control para la invasión de esta especie.</p>				
Descripción:	156 Hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM				
URI:					

## Introducción

Las especies exóticas invasoras son consideradas como el segundo motivo de extinción de especies, después de la pérdida de hábitat. Esto se debe a que pueden causar graves daños a los ecosistemas y provocar desequilibrios ecológicos entre las poblaciones de especies silvestres, cambios en la composición de especies y en la estructura trófica, desplazamiento de las especies nativas, pérdida de biodiversidad y la posible transmisión de enfermedades (1).

La mayor parte de la dispersión, una vez introducida una especie ocurre a corto plazo, y su única limitación son las barreras naturales como las montañas, los mares, las cuencas hidrográficas, los desiertos y otros ambientes desfavorables. Sin embargo, ocasionalmente cuando la especie logra vencer estas barreras naturales, puede producirse una invasión de nuevos territorios como resultado de su dispersión natural, y de su aumento numérico poblacional en un ambiente favorable, lo cual se puede cuantificar por la tasa de expansión poblacional en km/año (2).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) en el año 2004 efectuó la declaratoria de las 100 especies alienígenas invasoras más dañinas a nivel mundial, reportando ocho microorganismos; cuatro plantas acuáticas; 32 plantas terrestres; ocho invertebrados acuáticos; 18 vertebrados terrestres; tres anfibios; ocho peces; tres aves; dos reptiles y 14 mamíferos (3). Este tipo de especies afectan a las especies autóctonas y hábitats nativos. La magnitud de estos impactos es evidente y se las considera como un factor clave en la extinción del 54% de todas las especies conocidas (4). Según el Libro Rojo de la UICN del 2004, las especies exóticas invasoras (EEI) son responsables de poner en peligro al 5,4 % de las especies con algún grado de amenaza, precisamente en las categorías de mayor amenaza (5).

Las EEI han recibido hasta el momento poca consideración en el contexto del cambio climático, enfatizando más el peligro de extinción de las especies autóctonas. Con un gran nivel de certeza se puede afirmar que el cambio climático podrá alterar la estructura y composición de las comunidades nativas y como consecuencia, el funcionamiento de los ecosistemas y acrecentará el riesgo de invasiones biológicas (6). Se espera que la mayoría de las EEI sean capaces de sobrevivir y colonizar zonas actualmente inaccesibles debido

a las limitaciones impuestas por el clima. De hecho, algunas especies exóticas ya establecidas que no generaban mayores problemas, podrían volverse invasoras si el cambio climático incrementa su capacidad competitiva o su tasa de propagación (7).

*Achatina fulica* (caracol africano) es una de las especies exóticas e invasoras con mayor importancia, considerada como una de las 100 especies más perjudiciales del planeta (8). Es originaria de la costa este de África (Kenia y Tanzania) (9) y por su fácil adaptación a los cambios bruscos del clima actualmente ha llegado a distribuirse en diferentes regiones tropicales y subtropicales del mundo (10). Ataca a cultivos, es una amenaza para la agricultura, los ecosistemas nativos y la fauna silvestre. Además, actúa como vector de enfermedades transmisibles a humanos (11). Esta especie exótica se ha distribuido rápidamente en el continente Americano y en Ecuador se reportó su presencia en el 2005, principalmente en las provincias de la costa (12).

El Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) en el año 2011, registró 44 especies tanto animales como vegetales consideradas como exóticas invasoras y mediante la publicación de la “Lista preliminar de especies exóticas introducidas e invasoras del Ecuador Continental” priorizó al caracol gigante africano por su mayor frecuencia de aparición e impacto negativo sobre la salud humana, agricultura, biodiversidad, daño en plantas al destruir los tejidos y por ser un hospedero intermediario del parásito *Angiostrongylus cantonensis*, causante de la meningitis eosinofílica (13).

Por lo tanto, es evidente la limitada disponibilidad de información en cuanto a esta problemática. Únicamente es posible encontrar literatura específica para invasiones biológicas en las islas Galápagos (19). Es por ello que ante los acontecimientos actuales del cambio climático y la propagación de especies exóticas en el país este proyecto de investigación pretende evaluar la invasión potencial del caracol africano en Ecuador continental ante escenarios de cambio climático con la finalidad de contribuir en el estudio y la solución de la problemática existente.

**CAPÍTULO I**  
**CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Problema de investigación**

### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Dentro de las especies exóticas invasoras que ha tenido un gran desarrollo en el continente Americano, *Achatina fulica* destaca por ser una de las especies más dañinas. Se propaga fácilmente y se adapta en diversos ecosistemas con diferentes condiciones climáticas, ocasionando graves afectaciones en la flora y fauna. El sector agrícola también sufre alteraciones por parte de la especie ya que destruye los cultivos y genera pérdidas económicas significativas. El caracol africano es considerado como un vector que puede transportar enfermedades a los seres humanos, por lo tanto es importante que se controle la propagación de esta especie (20).

La situación es alarmante para muchos países en Latinoamérica, y particularmente en Ecuador la invasión del caracol africano fue reportada desde el 2005. A partir de este momento, la dispersión de esta plaga se ha dirigido a todo el territorio continental, pero no se tiene suficiente conocimiento de las regiones más afectadas ni de los daños que ha estado ocasionando a los diferentes sectores productivos y a la biodiversidad. Esta problemática se puede intensificar ante escenarios de cambio climático, donde se predice que las especies exóticas podrían expandir su distribución debido a la mayor disponibilidad de condiciones climáticas adecuadas que estarían disponibles al seguir aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero (15).

Si por un lado algunas especies exóticas e invasoras podrán sucumbir bajo los efectos del cambio climático, otras podrán volverse capaces de sobrevivir y colonizar volviéndose invasivas e incrementando su capacidad competitiva si el cambio climático aumenta, mientras que otras ya invasoras podrán expandir su distribución en zonas donde actualmente no pueden sobrevivir debido a las limitaciones impuestas por el clima (6).

Ante esta situación, la escasa información e investigaciones sobre el caracol africano en Ecuador continental, incide negativamente en las estrategias nacionales de mitigación de amenazas y en la toma de decisiones para controlar o erradicar las especies exóticas invasoras. Esto limita la capacidad de manejo de las entidades responsables y el alcance de los programas de restauración de ecosistemas que se estén llevando a cabo para

conservar y recuperar los ecosistemas degradados por diferentes acciones antropogénicas y por las invasiones biológicas.

### **Diagnóstico**

En base al análisis de la especie exótica invasora en cuestión se considera que es altamente nociva, origina alteraciones en los diversos ecosistemas por ser invasiva afectando a la variedad de especies nativas del Ecuador continental. Originaria de África, fue introducida por el ser humano en diversas partes del mundo lo que ocasionó que esta se propague rápidamente, debido a la fácil adaptabilidad de la especie a cualquier ecosistema ha resultado difícil poder erradicarla y aún más por la intervención de las actividades antropogénicas en los recursos naturales producen condiciones aceptables para que la especie se mantenga y forme los nichos ecológicos (9).

Estos organismos actúan en los ecosistemas que invaden aprovechando las oportunidades que el medio les proporciona, incluidas las antrópicas. Suelen ser especies oportunistas, que ocupan nichos ecológicos vacíos o no poseen suficientes depredadores. Encuentran en las actividades humanas un gran apoyo para sus mecanismos naturales de dispersión y propagación (21).

### **Pronóstico**

La escasa gestión de control para *Achatina fulica* ocasionará que se propague con mayor intensidad y esta problemática se agudice en el transcurso del tiempo, tornándose difícil su erradicación. El cambio climático ha contribuido a la propagación de la especie generando condiciones climáticas favorables para su permanencia. Debido a la fácil adaptabilidad en gran cantidad del territorio, perturbará las zonas con mayor diversidad biológica, como también a las de mayor vulnerabilidad, alterando grandes extensiones de ecosistemas protegidos y afectando en su mayoría a la agricultura, ya que se convertiría en una plaga localizada en gran porcentaje de extensión del país. Inevitablemente se afectará el factor económico en el sector agrícola por las cuantiosas pérdidas y a su vez los costos para erradicar o controlar la plaga aumentará.

Por otra parte, tampoco se realizarán suficientes investigaciones del peligro que representa la especie ante la humanidad aumentando el riesgo de la propagación de enfermedades en la población de las zonas más favorables para que la especie se reproduzca. Tampoco se comunica a la ciudadanía de la problemática suscitada.

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿Cómo cambia la distribución potencial del caracol africano ante los diferentes escenarios de cambio climático?

### **1.1.3. Sistematización del problema**

¿Cuáles son las condiciones ambientales climáticas favorables en los sitios con presencia de invasión del caracol africano?

¿Cómo es la distribución geográfica potencial del caracol africano en el presente y en escenarios futuros de cambio climático?

¿Cuáles serían los escenarios de cambio climático favorables para la expansión del caracol africano en Ecuador continental?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Evaluar la invasión potencial del caracol africano en Ecuador continental ante escenarios de cambio climático.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Describir climáticamente las condiciones ambientales en los sitios de presencia de invasión de la especie.
- Modelar la distribución geográfica potencial del caracol africano en el presente y ante escenarios de cambio climático.
- Estimar los escenarios de cambio climático con mayor riesgo de invasión del caracol africano en Ecuador.

### 1.3. Justificación

Actualmente, en Ecuador continental es muy escaso el estudio y el registro de las invasiones de especies exóticas que se han distribuido en la biodiversidad que posee el país. Además, se han presentado pocas estrategias de control pertinentes dentro de la nación para subsanar esta problemática, lo que conlleva a generarse severas afectaciones a los múltiples ecosistemas generando pérdidas de especies.

Una de las especies exóticas invasoras más peligrosas que se ha propagado desmedidamente en el país es la *Achatina fulica* que origina un sinnúmero de problemas en varios aspectos como son en el sector agrícola, en la biodiversidad, causante de propagación de enfermedades y pérdidas económicas. La carencia de investigaciones de la especie ha sido un impedimento para poder erradicarla, a pesar de ser catalogada como una de las 100 especies exóticas más peligrosas a nivel mundial y aún más siendo considerado en el país como una de las cinco especies exóticas invasoras con mayor propagación y por el gran impacto que produce, es importante que se promueva el estudio de esta especie con el propósito de aportar significativamente en el proceso de erradicación e incrementando el uso de nuevas herramientas que permitan obtener mejores resultados (3).

El cambio climático es uno de los acontecimientos más importantes que se producen en las últimas décadas manteniendo un desequilibrio constante de las condiciones ambientales por el incremento de gases de efecto invernadero y acarreado un sinnúmero de problemas que pueden llegar a ser irremediables. En base a las diversas investigaciones a nivel mundial, manifiestan que el cambio climático puede originar condiciones climáticas que favorezcan el mantenimiento y distribución de especies invasoras en un futuro aumentando la dificultad para su eliminación (15).

Para el análisis de este tipo de sucesos se emplean actualmente herramientas de modelación ecológica las cuales son utilizadas para predecir este tipo de situaciones ante el cambio climático en un futuro. Ofrecen múltiples ventajas proporcionando datos confiables en los resultados al emplear la variedad de modelos climáticos. Una de las fuentes principales que ha utilizado esta metodología para realizar las predicciones

climáticas a nivel mundial es el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (22).

El desarrollo de este proyecto de investigación está en concordancia con la Agenda Nacional de Investigación sobre la Biodiversidad 2030 (23). Esta es una herramienta que impulsa la investigación básica y aplicada. Este proyecto se enfoca en la meta dos de la agenda “El estudio de la diversidad funcional y respuesta de la biodiversidad frente a impulsores de cambio”. A su vez, está conformada por varios objetivos, de los cuales el que abarca la investigación es el objetivo 2.5 que estudia el impacto de las especies exóticas en la salud de los ecosistemas y biodiversidad nativa a una escala local, nacional y regional, dirigido principalmente al modelamiento de hábitat de especies invasoras con la finalidad de identificar potenciales zonas de invasión y colonización.

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. Marco conceptual**

### **2.1.1. Invasiones biológicas**

Se trata de invasiones biológicas cuando especies de origen remoto alcanzan un nuevo territorio y se propagan a gran velocidad, alterando la estructura y funcionamiento del ecosistema receptor y causando daños ecológicos y socioeconómicos (24). Las invasiones biológicas pueden ocurrir cuando los organismos son transportados a áreas nuevas y a menudo distantes, donde sus descendientes proliferan, dispersan y persisten (25).

En un sentido estricto, las invasiones no son un fenómeno nuevo ni provocado exclusivamente por los humanos. Sin embargo, la magnitud geográfica, la frecuencia y el número de especies involucradas han crecido enormemente como consecuencia directa de la expansión del transporte y el comercio en los últimos 500 años y en particular en los últimos 200 años. Pocos hábitats en la Tierra permanecen libres de especies introducidas por los humanos y muchos menos pueden considerarse inmunes a esta dispersión (25).

Las invasiones biológicas han sido objeto de investigación por más de 50 años. Se han estudiado principalmente sus efectos sobre las especies nativas y en el funcionamiento de los ecosistemas. Hoy sabemos, por ejemplo, que las especies invasoras pueden competir con las nativas por los recursos disponibles en los sitios invadidos, y esto puede causar extinciones locales de plantas y animales. Las especies invasoras también pueden alterar la estructura de las redes tróficas en los ecosistemas mediante la adición o eliminación de un depredador superior, desregulando así las dinámicas poblacionales de las especies nativas (26).

#### **2.1.1.1. Proceso de invasión biológica**

El proceso de invasión biológica implica la siguiente serie de etapas sucesivas (Figura 38):

- a. **Transporte:** El proceso comienza cuando una especie es transportada con éxito desde su área de origen hasta un territorio nuevo; en ese momento la especie será catalogada como exótica.
  
- b. **Asentamiento:** Si esta especie encuentra condiciones favorables para sobrevivir y reproducirse en el nuevo ambiente, podrá formar poblaciones por sus propios medios. Entonces decimos que la especie exótica se ha naturalizado o asilvestrado. Como media, sólo una décima parte de las especies transportadas con éxito son capaces de naturalizarse.
  
- c. **Propagación:** Aunque la mayoría de especies asilvestradas permanecen en el territorio formando pequeñas poblaciones, aproximadamente un 10% de ellas muestra una capacidad de propagación muy superior a la de las especies nativas, lo que lleva a la alteración del ecosistema invadido. Sólo entonces podemos calificar a la especie como invasora (27).

#### **2.1.1.2. Los humanos y las invasiones biológicas**

Las invasiones biológicas también pueden tener impactos importantes sobre la salud humana, como ocurre cuando son vectores de enfermedades que invaden una región. Por este motivo, son consideradas como uno de los principales factores que contribuyen al cambio ambiental global y sus impactos ecológicos son un grave problema que afecta el desarrollo económico y social de muchos países (26).

El papel que desempeñamos los humanos en las invasiones biológicas se deriva por la capacidad de modificar los ecosistemas, que han permitido la dispersión de numerosas especies de seres vivos. Algunas de estas especies se han convertido en invasoras, causando impactos en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas invadidos (28). No obstante, no somos los únicos organismos con esta habilidad. Sin embargo, a diferencia de otras especies, nuestro impacto sobre los ecosistemas es extremadamente profundo y complejo; genera cambios irreversibles, a gran velocidad y con consecuencias globales. Esto se halla ligado a nuestra percepción de la naturaleza, ya que somos la única especie capaz de modificar integralmente nuestro entorno para obtener alimentos, combustibles, refugio y otros beneficios (26).

### 2.1.1.3. Consecuencias de las invasiones biológicas

Los procesos de transporte de especies tienen como consecuencia que las especies tanto las exóticas como las del ecosistema receptor se enfrentan a situaciones ambientales nuevas, para las que no han sufrido un proceso de adaptación por selección natural. Aunque muchas de las especies introducidas desaparecen, la persistencia de algunos ejemplares puede desencadenar una serie de efectos, a menudo difíciles de predecir, tales como:

- **Desplazamiento de especies nativas.** Esto sucede cuando la especie introducida es resistente a plagas o enfermedades que puede haber traído ella misma u ocupa el mismo nicho ecológico que una especie nativa, pero con mayor eficacia.
- **Hibridación y contaminación genética.** Ciertas especies exóticas que llegan a naturalizarse pueden intercambiar material genético con especies nativas, pudiendo amenazar la persistencia de estas últimas. Esto es particularmente destacable en el caso de algunas especies endémicas o relictas.
- **Alteraciones de las redes de interacción entre especies de la comunidad.** A menudo las nuevas especies interfieren en las interacciones establecidas entre las especies nativas de una comunidad. las nuevas especies pueden servir de alimento o alimentarse de especies nativas, alterando sus proporciones y su dinámica poblacional (29).
- **Alteración de las condiciones del ecosistema nativo:** las especies introducidas alteran el régimen de las perturbaciones (30).

### 2.1.2. Especies exóticas invasoras

Está definida por la Convención sobre Diversidad Biológica (31), como: “Especies no nativas que son introducidas deliberadamente o de manera accidental por fuera de su hábitat natural donde éstas se establecen, proliferan y dispersan de tal forma que causan daños a los intereses del hombre”.

**Especie exótica** para la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) es: “Una especie, subespecie o taxón inferior fuera de su área de distribución natural (pasada o presente) y potencial de distribución (fuera del área que ocupa naturalmente o que pudiera ocupar sin introducción directa o cuidado por parte del hombre), e incluye cualquier parte, gametos o propágulos de tal especie que puede sobrevivir y luego reproducirse”. En este mismo sentido se utilizan los términos: foránea, introducida, no nativa, no indígena, alóctona o alienígena (32).

El Florida Exotic Pest Plant Council (1995) posee una catalogación o clasificación de las especies exóticas en cuatro categorías de acuerdo con su poder invasor:

- Categoría I: especies ampliamente distribuidas con un potencial establecido de invadir y destruir comunidades vegetales.
- Categoría II: especies con distribución local, pero con poblaciones en rápida expansión o que muestran potencial para destruir comunidades vegetales en otras áreas.
- Categoría III: especies con distribución local, con abundancia moderada o amenazas para hábitats particulares.
- Categoría IV: especies a niveles de abundancia variados, que necesitan una mayor disponibilidad de recursos y posibilidades para convertirse en invasoras (32).

### **2.1.3. Ecosistemas**

Unidad funcional compuesta por todos los organismos vivos (plantas, animales y microbios) de una zona determinada y todos los factores físicos y químicos de su medio que no están vivos, relacionados por el ciclo de los nutrientes y el flujo de energía. Un ecosistema puede tener cualquier tamaño pero siempre funciona como una unidad completa. Los ecosistemas se suelen definir en función del tipo principal de vegetación (es decir, bosque, rodal viejo o ecosistema de pastoreo) (33).

### **2.1.3.1. Situación actual de los ecosistemas naturales**

En América Latina y el Caribe (ALC) existen diferentes sistemas de clasificación utilizados por cada país, dificultado así el reconocimiento de la situación actual de los ecosistemas a nivel regional. La mayoría de estas clasificaciones ha sido el resultado de diferentes criterios, en los cuales prima la caracterización biogeográfica y muchas veces no se consideran los procesos ecológicos de cada ecosistema (34).

No obstante, América Latina y el Caribe es una de las regiones que más ha transformado y degradado las áreas naturales debido a la implementación de modelos de desarrollo que basan su crecimiento en la extracción de los recursos naturales (Figura 1) (35).

Las diferentes amenazas que se ciernen sobre los ecosistemas en la región han provocado que aproximadamente 74 sistemas ecológicos de bosque estén bajo algún grado de amenaza (8 en peligro crítico, 38 en peligro y 28 vulnerables), entre ellos destaca el bosque seco tropical estacional (36).

Entre 2001 y 2011, las mayores pérdidas de bioma terrestre ocurrieron en bosques húmedos tropicales y subtropicales y en praderas, sabanas y matorrales tropicales y subtropicales; el 48% del área de bosques transformada pasó a convertirse en pasturas, mientras que, en el caso de las sabanas, el cambio se realizó principalmente para sembrar cultivos (53%) (37).

El desarrollo costero, especialmente debido al crecimiento demográfico, el turismo, la urbanización, los desechos y el transporte marítimo, ha generado la contaminación y degradación de hábitats críticos y de los recursos naturales (35).



**Figura 1.** Consecuencias ecológicas derivadas de la introducción de EOI.

**Fuente:** (38)

#### 2.1.4. Servicios ecosistémicos

Procesos o funciones ecológicas que tienen un valor, monetario o no, para los individuos o para la sociedad en general. Generalmente se clasifican en 1) servicios de apoyo; 2) servicios de aprovisionamiento; 3) servicios de regulación y 4) servicios culturales (39). Los ecosistemas sustentan todas las actividades y la vida de los seres humanos. Los bienes y servicios que proporcionan son vitales para el bienestar, el desarrollo económico y social en el futuro. Pese a ello, las actividades humanas están destrozando la biodiversidad y alterando la capacidad de los ecosistemas para suministrar los bienes y servicios (40).

Los expertos han determinado cuatro tipos diferentes de servicios, todos ellos vitales para la salud y el bienestar de los seres humanos:

- Servicios de aprovisionamiento de los bienes en sí, como alimentos, agua, madera y fibras.
- Servicios de regulación del clima y las precipitaciones, del agua (por ejemplo, las inundaciones), de los residuos y de la propagación de enfermedades.

- Servicios culturales que proporcionan la belleza, inspiración y los valores recreativos que contribuyen a nuestro bienestar espiritual.
- Servicios esenciales, como la formación del suelo, la fotosíntesis y el ciclo de los nutrientes, que son el sustento del crecimiento y la producción (40).

Dada la interconexión de ciertas funciones ecológicas y los servicios ecosistémicos asociados se destaca la necesidad de desarrollar modelos dinámicos que tomen en cuenta la interdependencia entre las funciones, los bienes y servicios (41). Los autores ofrecen una clasificación de 23 funciones básicas de los ecosistemas agrupadas en cuatro categorías principales, de las cuales se derivan diferentes bienes y servicios: funciones de regulación, funciones de hábitat, funciones de producción, funciones de información (42).

### **2.1.5. Cambio climático**

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en el artículo 1 define el “cambio climático” como un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a las actividades antropogénicas que alteran la composición de la atmósfera mundial y a la variabilidad natural del clima durante períodos de tiempo comparables. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos (43).

Sin embargo (Miller, 2007), sostiene que el cambio climático global se refiere a las modificaciones en cualquier aspecto del clima del planeta, tales como la temperatura, precipitación e intensidad y las rutas de las tormentas.

#### **2.1.5.1. Factores que causan el cambio climático**

Los factores que afectan los cambios de temperatura media de la tierra y el cambio climático son los cambios en el desnivel del mar, los efectos de las nubes, la emisión de

aerosoles a la atmósfera, aumento en las emisiones de dióxido de carbono, gas metano, hidratos de metano. los cambios de reflexión terrestres y los cambios en el campo magnético exterior, otros factores son la contaminación del aire, los cambios en el hielo polar, el contenido en vapor de agua y la cantidad de cobertura de nubes y la cantidad de energía solar que alcanza la Tierra (44). Los informes del IPCC resaltan que las causas del cambio climático son de origen natural y antropogénicas (43).

Entre 1970 y 2004, el aumento más importante de las emisiones de GEI proviene de los sectores de suministro de energía, transporte e industria, mientras que la vivienda y el comercio, la silvicultura (incluida la deforestación) y la agricultura han crecido más. Las actividades humanas generan emisiones de cuatro GEI de larga permanencia: CO<sub>2</sub>, metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y halocarbonos (grupo de gases que contienen flúor, cloro o bromo). Los modelos muestran que el dióxido de carbono ocupa el 56.5 % (43).

#### **2.1.5.2. Gases de efecto invernadero**

Los gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como también ocasionados por las actividades antropogénicas, que absorben y emiten radiación del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. En la atmósfera de la Tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>) (39).

Globalmente, la causa principal del incremento en las emisiones de éstos GEI son las actividades relacionadas con el sector energético que representan 26% de las emisiones, seguido del sector industrial (19%), forestal (17%), agrícola (14%), residencial y comercial (8%) y de manejo de desechos (3%) (45).

#### **2.1.5.3. Efectos del cambio climático**

La magnitud del problema es tal que el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC) señala que de las especies que se han estudiado, alrededor del 50% ya se han visto afectadas por el cambio climático (46).

En definitiva, se prevé la posible desaparición de algunas especies, la proliferación de otras, ya sean autóctonas como alóctonas (de fuera) y muchos sectores económicos se resentirían, además de aumentar los riesgos para la salud. El cambio climático está afectando a procesos esenciales de muchos organismos, como el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de las primeras fases vitales, pudiendo llegar a comprometer la viabilidad de algunas poblaciones. Todos estos cambios provocan también una importante pérdida de biodiversidad y diversidad genética (47).

No hay duda de que los efectos del cambio climático se sufrirán en todas las esferas de la vida, incluyendo a las generaciones futuras y su manera de entender y vivir la vida. Porque el cambio climático es, sobre todo, un hecho social, por sus causas y sus consecuencias sociales. No es un problema solo del medioambiente, por lo que debe ser resuelto por la sociedad, por los agentes políticos, sociales, económicos y la ciudadanía en general. El desafío del Cambio Climático es un desafío a todo el modelo productivo conocido hasta la fecha (47).

### **2.1.6. Trayectorias de Concentración Representativas (RCPs)**

Escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre (48). La palabra “representativa” significa que cada trayectoria de concentración ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. La trayectoria hace hincapié en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo, pero también indica el camino a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión (49).

Las trayectorias de concentración representativas generalmente hacen referencia a la parte de la trayectoria de concentración hasta el año 2100, para las cuales los modelos de evaluación integrados han generado los correspondientes escenarios de emisiones. Las trayectorias de concentración describen ampliaciones de las trayectorias de concentración representativas entre 2100 y 2500 calculadas mediante normas sencillas generadas a partir de las consultas con las partes interesadas (39).

El Informe de Evaluación del IPCC se han seleccionado de la literatura publicada las siguientes cuatro trayectorias de concentración representativas elaboradas a partir de modelos de evaluación integrados como base para las predicciones climáticas y las proyecciones climáticas presentadas en GTI IE5 capítulos 11 a 14 (IPCC, 2013b):

- **RCP 2,6** Trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo aproximadamente a 3 W/m<sup>2</sup> antes de 2100 y posteriormente disminuye (en el supuesto que las emisiones sean constantes después de 2100).
- **RCP 4,5 y RCP 6,0** Dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza a aproximadamente 4,5 W/m<sup>2</sup> y 6,0 W/m<sup>2</sup> después de 2100 (en el supuesto de que las concentraciones sean constantes después de 2150).
- **RCP 8,5** Trayectoria alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores >8,5 W/m<sup>2</sup> en 2100 y sigue aumentando durante un lapso de tiempo (en el supuesto de que las emisiones sean constantes después de 2100 y las concentraciones sean constantes después de 2250) (39).

### **2.1.7. Modelo climático global (GCM)**

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) “los GCM (GCM, por sus siglas en inglés) representan procesos físicos en la atmósfera, océano, criosfera y en la superficie de la Tierra, son las herramientas más avanzadas actualmente disponibles para simular la respuesta del sistema climático global al incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero”. Los GCM actuales utilizan un mallado tridimensional global con una resolución horizontal de aproximadamente 1 a 2 grados para el componente atmosférico y de alrededor de 1 grado para el océano. (50).

### **2.1.8. Panel Intergubernamental de cambio climático (IPCC)**

Es el órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. Fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial

(OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para facilitar a las instancias normativas evaluaciones periódicas sobre la base científica del cambio climático, sus repercusiones y futuros riesgos, así como las opciones que existen para adaptarse al mismo y atenuar sus efectos. El IPCC es una organización de gobiernos que son miembros de las Naciones Unidas o la OMM. El IPCC tiene actualmente 195 miembros (22).

Las evaluaciones del IPCC proporcionan una base científica a los gobiernos, a todos los niveles, para la formulación de políticas relacionadas con el clima, y sirven de apoyo para las negociaciones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Si bien esas evaluaciones revisten importancia política, no poseen carácter preceptivo, es decir, pueden servir para presentar proyecciones sobre el cambio climático futuro basadas en varias hipótesis, los riesgos que conlleva el cambio climático y las repercusiones de las posibles medidas de respuesta al mismo, pero no para determinar las medidas que deben adoptar las instancias normativas (22).

### **2.1.9. Nicho ecológico**

El Nicho es la suma de todos los factores ambientales que actúan sobre un organismo; el nicho es una región sobre un espacio multidimensional. Por lo tanto, un nicho es una variedad de particularidades ambientales o ecológicas necesarias para que un organismo pueda sobrevivir (51). Por otro lado, el nicho ecológico es restringido por las condiciones ambientales que existen en el planeta. Además, se pueden diferenciar en el espacio ecológico regiones ambientales con presencia de aquellos ambientes que solo son potenciales para la vida de la especie (51).

De esta manera es como surgen las siguientes definiciones. El nicho fundamental es definido como las condiciones ambientales bióticas y abióticas bajo las cuales una especie tiene la capacidad de subsistir; mientras que el nicho potencial se define como la parte del nicho fundamental cuyos factores ambientales ocurren en el planeta. En otras palabras, el nicho potencial es la intersección del nicho fundamental con el espacio ecológico disponible sobre el planeta Tierra. Por último, el nicho realizado es denominado como la parte del espacio ecológico donde existe la especie.

Equivalentemente, el nicho realizado es un subconjunto del nicho potencial donde se encuentra presente la especie (52).

### **2.1.10. Modelos de nichos ecológicos**

Los modelos de nicho ecológico son modelos usados para desarrollar relaciones entre los valores ambientales y los datos de presencia, presencia-ausencia y/o abundancia conocidos de las especies (53). Es por ello que, el modelado de especies fundamentado en nichos ecológicos se ha convertido en la principal herramienta para intentar predecir la futura distribución de especies por cambios ambientales (54). Los modelos predictivos sobre el nicho ecológico de las especies se basan en el análisis de las condiciones ambientales de los sitios con presencias conocidas (55).

Existen varios supuestos ecológicos en las variables ambientales que se usan para la generación de estos modelos: primero, debe existir una correspondencia temporal entre las localidades de ocurrencia de las especies y las variables medioambientales (56); segundo, las variables deben afectar la distribución de las especies a una escala relevante, determinada por la extensión geográfica y el tamaño (57).

La elección apropiada de las variables ambientales para el modelado de nicho, afecta también el grado en el cual el modelo se pueda generalizar a otras regiones fuera del área de estudio o a otros periodos de tiempo (54). Finalmente, la exactitud de los datos de presencia-ausencia repercute en los resultados del modelo (58).

#### **2.1.10.1. Modelado de distribución de especies (SDM) y modelado de nicho ecológico (ENM)**

Para la actividad de modelar áreas de distribución se usan los términos environmental niche modeling (ENM) (modelado de nicho ecológico), species distribution modeling (SDM) (modelado de distribución de especies), habitat preference modeling, entre otros. (59). SDM se refiere a modelar objetos en  $G$ . Estos pueden ser considerados áreas potenciales ( $A$  o  $G_I$ ). A su vez, ENM se refiere a modelar condiciones ambientales. La razón por la cual SDM y ENM son diferentes, es que las áreas de distribución son subconjuntos del espacio  $G$ , mientras que los nichos son objetos en  $E$ . Cuando exista una

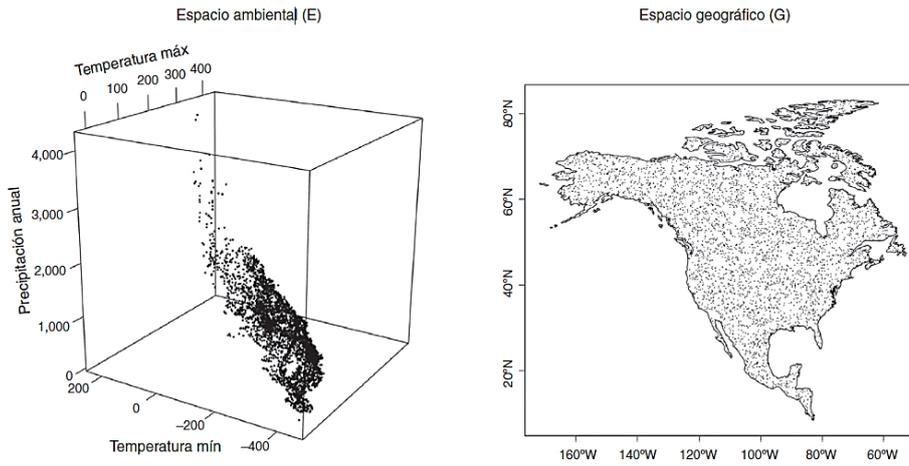
relación 1:1 entre G y E, se trata de objetos esencialmente diferentes, que «habitan» espacios muy distintos, con propiedades topológicas diferentes (60).

#### **2.1.10.2. La Dualidad de Hutchinson**

Una forma clara y gráfica de discutir la diferencia entre ENM y SDM es utilizar la llamada «dualidad de Hutchinson» (61), que es una hipótesis propuesta por Hutchinson en 1957 sobre la correspondencia entre el espacio geográfico y el espacio de nicho, abstracto y multidimensional. En la figura 2 se ilustra esta dualidad (60).

Esta correspondencia se hace evidente y se puede operacionalizar cuando se impone una retícula de resolución dada, con una proyección específica, sobre la región de interés y se procede a obtener los valores de las variables usadas para el espacio de nicho mediante coberturas ambientales en formato «raster» (62) (63). Si bien a cada punto de la retícula geográfica (que llamaremos G) corresponde un único punto del espacio ambiental (que llamaremos E), lo contrario puede haber 2 regiones del planeta con valores de las variables ambientales iguales o similares. Esta posibilidad en la práctica desaparece cuando se usan suficientes variables, con la precisión adecuada (64).

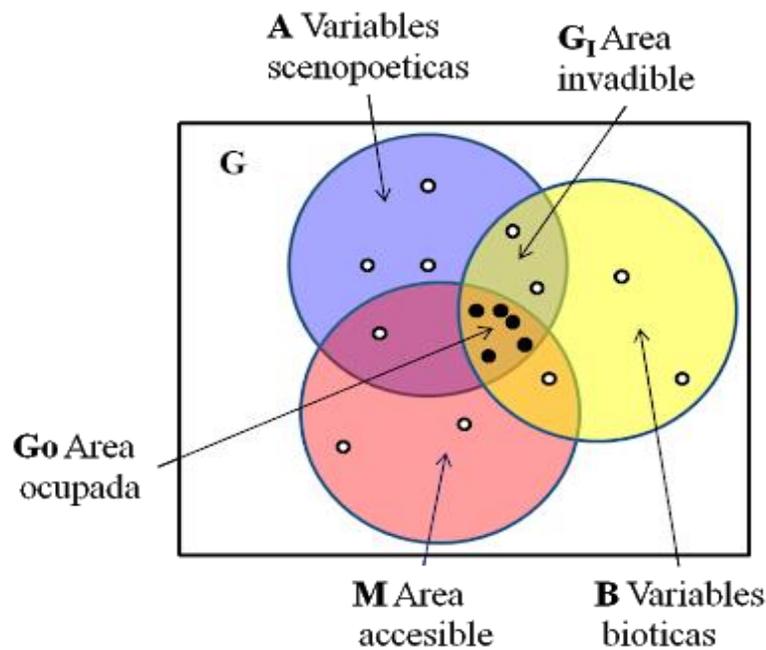
En este caso se establece una relación 1:1 entre los puntos del espacio G y los del espacio E. La modelación correlativa de nichos permite entonces crear un objeto en E que es posteriormente «proyectado» a G, como se describe abajo. Es importante reconocer, no obstante, que estos espacios tienen topologías muy diferentes, que puntos muy lejanos en el espacio geográfico pueden ser muy similares en el espacio ambiental y que puntos muy cercanos en el espacio geográfico pueden ser muy diferentes en el ambiental (60).



**Figura 2.** La dualidad de Hutchinson.  
**Fuente:** (60)

**2.1.10.3. Diagrama biótico, abiótico y movimiento (BAM)**

El área de distribución de una especie, en un tiempo dado, es el resultado de una combinación de factores, tres de los cuales son de particular importancia (Figura 3), llamado el diagrama BAM (65), representado por una figura abstracta del *espacio geográfico G*:



**Figura 3.** El diagrama de BAM.  
**Fuente:** (66)

1. La región del mundo donde se encuentran las condiciones ambientales que permiten la sobrevivencia y reproducción de la especie (este conjunto de condiciones se llama el Nicho Fundamental de la especie). Se denota con la letra **A** en el diagrama de la derecha, y se mide usando variables scenopoéticas.
2. La región del mundo que contiene el ambiente biótico adecuado para la especie, son sitios donde no hay competidores capaces de excluir a la especie, ni depredadores o enfermedades que exterminen las poblaciones, y existen los mutualistas (polinizadores, dispersores de semillas...) necesarios. Se denota con la letra **B**.
3. El conjunto de sitios que la especie ha tenido tiempo de visitar, o "explorar" desde una fecha dada (origen, la última glaciación, su introducción a un nuevo continente), Se denota con la letra **M**.

El área ocupada  $G_0$  es la parte del mundo que cuenta con condiciones ambientales y bióticas favorables y que ha estado accesible a la especie. El área invadible  $G_1$  es una zona con condiciones ambientales y bióticas favorables, pero no accesible a la especie (existencia de barreras, falta de tiempo para expandirse) (66).

### **2.1.11. Herramientas de modelación**

Las herramientas de modelado, permiten crear un simulacro del sistema, a bajo costo y riesgo mínimo. A bajo costo porque, al fin y al cabo, es un conjunto de gráficos y textos que representan el sistema, pero no son el sistema físico real (el cual es más costoso). Además, minimizan los riesgos, porque los cambios que se deban realizar (por errores o cambios en los requerimientos), se pueden hacer de manera más fácil y rápidamente sobre el modelo, que sobre el sistema ya implementado (67).

Se establecen cinco características básicas que debe poseer cualquier herramienta de modelado y automatización de procesos, a saber: facilitar la comprensión y la comunicación humanas, dar soporte para la mejora del proceso, dar soporte para la gestión del proceso, brindar una guía automatizada en la realización del proceso y dar soporte para la ejecución automatizada de procesos (68). Actualmente se pueden encontrar varios

programas para el modelado de especies por distintos métodos y datos para desarrollar las predicciones (69).

#### **2.1.11.1. MaxEnt**

Está fundamentado en el concepto de máxima entropía, utilizando una aproximación mecanicista para realizar predicciones a partir de información incompleta, estima la distribución más uniforme (de ahí el concepto de máxima entropía) a lo largo del área de estudio con la restricción de que el valor esperado para cada variable ambiental en una distribución concuerda con su promedio empírico (valores promedio para el conjunto de datos de ocurrencia) (54).

Presenta mejoras en relación con otros programas, requiere datos georreferenciados y sus algoritmos son eficientes, avalando la óptima distribución de la probabilidad de máxima entropía (54). Aunque, si los datos son sesgados, programas de modelación como Bioclim tienen un mejor desempeño que MaxEnt (70).

#### **2.1.11.2. Genetic Algorithm for Rule-set Prediction**

GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction, por sus siglas en inglés) utiliza un algoritmo genético para la búsqueda de asociaciones entre variables ambientales y la ocurrencia conocida de las especies, contrastándola con las características ambientales a lo largo de toda el área de estudio. El algoritmo remuestrea automáticamente los datos para crear una población de puntos de presencia. Un número equivalente de puntos se remuestrea en el resto del área de estudio, en donde la especie no ha sido registrada. Esto crea un total de puntos que serán utilizados para realizar los modelos y validarlos (71).

GARP genera una serie de reglas: en la primera iteración genera la primera regla y evalúa los errores de omisión y comisión del modelo, luego se crean más reglas que son incluidas o excluidas de acuerdo al ajuste del modelo y al final el algoritmo se suspende cuando no se consiguen crear mejores modelos o alcanza el máximo de iteraciones (58).

### **2.1.11.3. Wallace**

*Wallace* es una plataforma modular para el modelado reproducible de nichos y distribuciones de especies, escrita en R con el paquete de desarrollo de aplicaciones web shiny. La aplicación guía a los usuarios a través de un análisis completo, desde la adquisición de datos hasta la visualización de predicciones de modelos en un mapa interactivo, agrupando así flujos de trabajo complejos en una única interfaz optimizada. Además, está diseñado para crecer a través de contribuciones de la comunidad de nuevos módulos para expandir la funcionalidad. Todos los resultados se pueden descargar, junto con el código para reproducir el análisis (72).

Esta plataforma es abierta: el código es de uso y modificación gratuitos (GPL 3.0), y brinda a los usuarios acceso a algunas de las mayores bases de datos públicas de biodiversidad en línea. La aplicación es expandible, ya que los usuarios pueden crear y contribuir con módulos que permitan nuevas opciones metodológicas, hay opciones flexibles para las cargas y descargas de resultados de los usuarios. La sesión es interactiva, con un mapa con zoom incorporado, tablas ordenables y una variedad de visualizaciones de resultados. *Wallace* es instructivo, con textos de orientación que educan a los usuarios sobre los aspectos teóricos y analíticos de cada paso del flujo de trabajo. Por último, es reproducible, ya que los usuarios pueden descargar un archivo R Markdown que vuelve a ejecutar el análisis (72).

### **2.1.11.4. Niche A**

Es una aplicación multiplataforma de código abierto lanzada bajo una Licencia Pública GNU (GPL). NicheA está escrito en Java, combinando varios juegos de herramientas. La plataforma es una aplicación fácil de usar basada en ventanas que se ejecuta en los sistemas operativos más comunes, incluidos Microsoft Windows, Mac OS X y algunas versiones de Linux, como Ubuntu (73).

Los usuarios pueden usar NicheA (1) para mostrar espacios E de datos ambientales en bruto o dimensiones de componentes principales transformados, (2) visualizar las distribuciones de especies en espacios E y G vinculados, (3) diseñar barreras para la

dispersión en G, (4) estimar y muestra nichos de Grinnell en E, (5) objetos de mapa entre G y E, junto con funciones adicionales (73).

#### **2.1.11.5. Bioclim**

BIOCLIM utiliza lo que se denomina envoltura climática (climatic envelop) para encontrar una regla única que identifique todas las áreas con clima similar al de la localidad de las especies. El algoritmo básico de BIOCLIM encuentra el intervalo climático en el que se encuentran los puntos para cada variable climática involucrada en el análisis. Las suposiciones principales utilizadas en modelos de envoltura climática son: (1) la distribución de las especies está determinada por el clima, (2) la distribución estadística de las variables climáticas es normal, y (3) todas las variables con intervalos restringidos influyen a la especie de interés (74) (75) (76).

A partir de los puntos ambientales generados por las presencias, se determina la media y desviación típica por cada variable. Asumiendo una distribución normal, se definen máximos y mínimos por cada variable que incluyen un percentil alto de la especie (Por ejemplo, el valor de la media menos 3 veces la desviación se utiliza como un mínimo que considera un percentil del 99%). De esta manera se genera un hipercono en el espacio ambiental, y se define el nicho como el conjunto de ambientes contenidos dentro de este hipercono. Una desventaja del método es que no toma en cuenta las posibles relaciones entre las variables (51).

### **2.1.12. Ecología del caracol gigante africano**

#### **2.1.12.1. Taxonomía**

**Nombre Científico:** *Achatina fúlica*

**Sinonimia:** *Lissachatina fulica*

**Nombres comunes:** caracol gigante africano, caracol gigante africano de la tierra, giant african snail (GAS).

## **Nomenclatura taxonómica:**

**Phylum:** Mollusca

**Clase:** Gastropoda

**Subclase:** Pulmonata

**Orden:** Stylommatophora

**Familia:** Achatinidae

**Género:** *Achatina*

**Especie:** *Achatina fulica* (Bowdich, 1822) (77).

### **2.1.12.2. Biología**

*Achatina fulica* es una especie que puede adaptarse a un amplio rango de ambientes, modificando su ciclo de vida a las condiciones locales. Es una de las mayores amenazas para la agricultura y el medio ambiente en todo el mundo, debido a su capacidad reproductiva, destrucción de plantas, amenaza para la salud humana y su gran tamaño. Tiene hábitos nocturnos y prefiere los sitios húmedos y sombríos, debajo de piedras, bloques, restos de cosecha, arbustos y hojas secas en descomposición entre otros (78), su actividad comienza al atardecer y gradualmente se incrementa hasta alcanzar un pico a las 4-6 horas después de oscurecer (79).

El período de estivación (presente en nuestro país) se desarrolla en las épocas de máximo calor y menor humedad, los caracoles buscan un lugar protegido que les sirva de refugio, donde se sitúan con la parte abierta de la concha hacia el exterior del refugio, eliminan todo el contenido del tubo digestivo, se recogen en el interior de la concha y crean una capa mucilaginosa rica en calcio con la que tapa la abertura y se endurece con el aire para proteger al caracol y lo impermeabiliza, esta capa se la conoce como epifragma. Cuando las condiciones ambientales de temperatura y humedad se tornan favorables, rompen el epifragma, salen de su letargo y comienzan a alimentarse; buscan plantas tiernas para poder seguir viviendo (79).

*Achatina fulica* se mantiene activo en un rango de temperatura de 9°C a 29°C, y sobrevive a temperaturas de 2°C por la hibernación y 30°C por estivación (80). La actividad del caracol está condicionada esencialmente por tres parámetros climáticos, humedad, temperatura y fotoperiodo, la humedad ambiental diurna: 75-80% y nocturna: 85-90% no mayor a 95% y la temperatura óptima: diurna: 20-22 °C y nocturna: 16-18 °C (79).

Las temperaturas de 0 °C inducen la muerte del caracol por congelamiento del agua de sus tejidos y temperaturas de 30 °C son inocuas siempre y cuando el grado de humedad sea idóneo (81). El hecho de que sean animales lucífugos (que huye de la luz) junto con el mayor grado higrométrico, les lleva a desarrollar su actividad principalmente durante la noche, buscando zonas de penumbra u oscuras durante el día. El viento, por sus efectos sobre la evaporación de la humedad tegumentaria tiene un efecto desfavorable para los caracoles y por eso buscan lugares protegidos de las fuertes corrientes de aire (82).

### **2.1.12.3. Ciclo biológico**

Los caracoles terrestres viven entre tres y cuatro años, estando en condiciones de reproducirse generalmente al año o año y medio. La edad de madurez sexual depende esencialmente de la humedad, temperatura, luminosidad ambiental y de la época de nacimiento, por lo general alcanzan su madurez a los 5 meses (81). Es una especie hermafrodita, lo cual significa que posee dentro de un mismo individuo el sistema reproductor masculino y femenino, con capacidad de generar óvulos y espermatozoides simultáneamente. Sin embargo, para reproducirse necesita copular con otro individuo de su misma especie (realiza cópulas simultáneas y recíprocas), pues no posee capacidad de autofecundación (77).

Los huevos son depositados en el suelo a modo de nidos, en lugares que ofrezcan refugio, como por ejemplo debajo de la hojarasca, y, por lo general, suelen estar enterrados a unos pocos centímetros de la superficie. En cada oviposición (puesta), en promedio suelen observarse hasta 600 huevos, que miden medio centímetro de diámetro y son de color amarillento y de forma ovalada. Durante el año, *A. fulica* puede realizar múltiples posturas, los estadios juveniles presentan hábitos gregarios, una alta tasa de crecimiento y comportamiento de alimentación voraz (77).

La postura en los caracoles terrestres se efectúa después de la cópula, período que oscila entre 10 y 50 días, debiendo transcurrir un tiempo variable según la especie, los individuos y las condiciones ambientales. Se comprobó que el tiempo de incubación está comprendido entre 7 y 12 días. La eclosión ocurre generalmente en un día húmedo, lluvioso o por la noche, después que el embrión se ha desarrollado y ocupa todo el espacio interior del huevo. Una vez liberado del huevo, el caracol juvenil permanece 5 a 10 días en la cámara de incubación alimentándose de los restos de la cubierta calcárea y del detritus orgánico (79).

#### **2.1.12.4. Morfología**

Los huevos son de color blanco amarillento, de forma ovalada con un tamaño aproximadamente de 6 mm de largo por 4 mm de ancho, su cascara es delgada y quebradiza, la temperatura idónea para la eclosión de los huevos debe ser superior a los 15°C. El *Achatina fulica* puede distinguirse de otros caracoles, debido a su gran tamaño; cuando está adulto, el caracol puede alcanzar hasta 30 cm de largo con un diámetro de 10 cm, con un peso de hasta 32 gramos (80).

La concha de *Achatina fulica* es en forma de cono y tiene una altura que es el doble de la anchura, cuando el caracol es maduro la cáscara normalmente consta de siete a nueve espirales. Los colores del caracol difieren dependiendo del medio ambiente, ya que algunos son principalmente de color marrón o de color oscuro, con rayas oscuras, mientras que otros son de color marrón rojizo con manchas verticales de color amarillo pálido (Figura 39) (83) (80).

El cuerpo, es de color negro pardusco moderado, con piel húmeda semejante al caucho. La superficie frontal es de textura granulosa, recorrida por muchas marcas longitudinales a lo largo del cuello. La cabeza tiene dos pares de tentáculos; el par inferior es corto y encima de ellos aparecen los dos tentáculos grandes o pedúnculos, en cuyos extremos están colocados los ojos redondos y bulbosos. La boca está armada de una mandíbula córnea detrás de la cual hay más de 80 mil dientes fuertes. Cada diente está construido como un bloque oblongo que sostiene un gancho fuerte y puntiagudo. Los dientes están dispuestos en filas a lo largo de un borde de aspecto de lengua (84).

### **2.1.12.5. Distribución**

El *Achatina fulica* se distribuye de forma natural en toda la zona costera y las islas del este de África que van desde Mozambique en el sur, a Kenia y el norte de Somalia (9). Es considerado una de las plagas más perjudiciales del mundo (86), debido a su alta resistencia a variables ambientales, dieta polífaga y un alto potencial reproductivo que favorece su dispersión (12). Además del impacto que puede ocasionar sobre la flora y la fauna nativas, *Achatina fulica* puede actuar como vector de parásitos de importancia médica y veterinaria (79). Asimismo, se deben considerar las pérdidas económicas por la amenaza que esta plaga representa para más de 200 tipos de cultivos alimenticios, ornamentales y forestales (87).

En consecuencia, *Achatina fulica* se encuentra en muchos lugares diferentes de aquellos de su distribución natural en diversos países del África, Asia, América, Europa, Oceanía y el Caribe (88), la mayoría ubicados sobre la franja tropical y subtropical. Su introducción en el continente americano se inició en Hawái en 1939, a fines de la Segunda Guerra Mundial, a través de California y fue registrada en Florida a inicios de la década del 70. En Sudamérica, existen antecedentes de su presencia en el Ecuador, Colombia, Venezuela, Paraguay, Argentina, Perú y en Brasil se encuentra ampliamente distribuida (77).

## **2.2. Marco referencial**

Mediante la revisión bibliográfica acerca de la distribución geográfica de la especie exótica invasora caracol africano, se encontraron algunas investigaciones científicas relevantes a nivel mundial, como es la efectuada en la India que tuvo la finalidad de investigar los efectos del cambio climático en el riesgo de invasión de la especie ya que está considerada como una de las 100 peores especies exóticas invasoras del mundo (89). El caracol africano tiene un impacto negativo en la biodiversidad nativa y en los cultivos agrícolas y hortícolas. Se sabe que se alimenta de más de 50 especies de plantas nativas y cultivos agrícolas y también supera a los caracoles nativos. Se introdujo en la India en 1847 y desde entonces se ha extendido por todo el país (89).

En este estudio usaron la modelación de nicho ecológico para evaluar el patrón de distribución de *Achatina fulica* en diferentes escenarios de cambio climático. Los resultados de la modelación de nichos indicaron que bajo el escenario climático actual, la India oriental, la India peninsular y las islas Andamán y Nicobar corren un alto riesgo de invasión. Los tres diferentes escenarios climáticos futuros muestran que no hay un cambio significativo en la distribución geográfica de las zonas propensas a la invasión. Sin embargo, ciertas zonas actualmente invadidas serán más propensas a la invasión en el futuro. Estas regiones incluyen partes de Bihar, el sur de Karnataka, partes de Gujarat y Assam. Las islas de Andamán y Nicobar, Lakshadweep son altamente vulnerables a la invasión bajo un clima cambiante. La región de la India Central está en bajo riesgo debido a la alta temperatura y las escasas precipitaciones. La comprensión del patrón de invasión puede ayudar a una mejor gestión de esta especie invasora y también a formular políticas para su control (89).

De la misma forma se realizó un estudio usando modelos bioclimáticos para identificar áreas Sudamericanas susceptibles para la invasión, con el propósito de crear modelos de distribución para el gasterópodo invasor *Achatina fulica*, 1822 en América del Sur, a fin de evaluar su posible distribución geográfica e identificar las zonas de posible riesgo. Este molusco, es objeto de una intensa preocupación debido a sus repercusiones en la agricultura, la salud humana y la fauna autóctona. Probaron dos métodos de modelación de nichos ecológicos comúnmente utilizados: Algoritmo genético para la predicción del conjunto de reglas (GARP) y la entropía máxima (MaxEnt) (16). Ambos modelos tuvieron desempeños consistentes con áreas similares pronosticadas como susceptibles, incluyendo áreas ya afectadas y nuevas áreas potencialmente susceptibles tanto en regiones tropicales como templadas de América del Sur (16).

Investigaciones similares se realizaron en Ecuador con datos sobre la presencia de *Achatina fulica* obtenidos de los organismos de lucha contra las plagas y de una encuesta de posibles localidades distribuidas al azar en todas las provincias de Ecuador (17). El 86,2% de las localidades estudiadas tenían poblaciones de la especie. Se comprobó que el caracol se propagaba mucho más rápido de lo previsto y que estaba presente en zonas en las que no se sospechaba anteriormente que hubiera riesgo de invasión. Las zonas más amenazadas e infestadas eran las regiones costeras y amazónicas del país. Según los informes de control de plagas de los organismos gubernamentales, *A. fulica* afectaba con

mayor frecuencia a las plantaciones de cacao (24,8% de las localidades), plátano (11,8%) y banana (11,2%), pero también se sabía que se alimentaba de otras 56 especies de plantas cultivadas (17).

El estudio de los probables hábitats en localidades aleatorias mostró una alta tasa de infestación; los sitios urbanos y rurales resultaron ser importantes pero en gran medida no fueron considerados como puntos calientes de dispersión de la especie. Las observaciones periódicas de dos poblaciones en la ciudad de Puyo (provincia de Pastaza, Amazonía) mostraron que la tasa de crecimiento y la densidad de la población eran elevadas: alcanzar el tamaño adulto llevaba un promedio de cuatro semanas (17).

Por otra parte para Correoso & Coello (15) las principales localidades de distribución biogeográfica actual del molusco son en Sudamérica y en Ecuador, con un alto potencial de distribución en la costa ecuatoriana y algunas zonas de baja altura; fundamentalmente en localidades rurales y urbanas, además de algunos sitios de alta biodiversidad como el Bosque Protector de Pacoche. Ha tenido una rápida expansión desde el 2005 hasta la fecha.

Se fundamenta una correlación positiva entre la precipitación, humedad, temperatura elevadas y alturas menores a 1500 msnm con la presencia del caracol; lo que se corresponde con los brotes de infección parasitológica en las localidades muestreadas. Se confirma al caracol como vector de *A. cantonensis* en Ecuador y uno de los primeros países en presentar la enfermedad en Sudamérica. El molusco constituye una importante plaga con severos impactos ambientales en todos los ámbitos: salud, agricultura y ecología (15). Se destaca la importancia de modelar la distribución de esta especie exótica con ayuda de métodos informáticos que apoyen las hipótesis de distribución propuestas y permitan tomar decisiones ambientales.

**CAPÍTULO III**  
**MÉTODOLÓGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Localización**

La República de Ecuador es uno de los países más pequeños de América del Sur. Limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico, atravesado por la Línea Equinoccial o paralelo que divide a Ecuador en dos Hemisferios quedando la mayor parte en el Sur. Su extensión es de 283 560 km<sup>2</sup> y está conformado por cuatro regiones incluyendo a las Islas Galápagos (90).

Ecuador posee un relieve que permite la presencia de variados ecosistemas, los relieves colinados corresponden a la región litoral, los relieves de llanuras y penillanuras pertenecen a la región Amazónica, los relieves montañosos y escarpados se debe a que la Cordillera de los Andes atraviesa el país de Norte a Sur (91), dividiéndolo en tres regiones naturales: la Costa, Sierra y Oriente. Además, integra también el territorio ecuatoriano la región Insular formada por las islas Galápagos (92).

#### **3.1.1. Clima**

En Ecuador existe variedad de climas debido a la presencia de la Cordillera de los Andes que atraviesa el país de Norte a Sur. A pesar de no tener marcadas las cuatro estaciones, los climas son agradables sin cambios drásticos en todo el año. En Ecuador influyen dos corrientes marinas: la corriente cálida del Niño y la corriente fría de Humboldt. Cuenta con nueve zonas climáticas que son: clima seco, tropical, mesotérmico, mesotérmico semihúmedo, mesotérmico seco, del páramo, tropical húmedo y clima ecuatorial en las Islas Galápagos (92).

### **3.2. Tipo de investigación**

En base a la revisión bibliográfica de la temática propuesta en la presente investigación se desarrolló una investigación exploratoria.

#### **3.2.1. Investigación Exploratoria**

Se aplicó con el propósito de recopilar información bibliográfica pertinente de varias fuentes confiables y priorizar los aspectos más relevantes para conocer y analizar un poco

más acerca de la especie exótica invasora *Achatina fulica* en Ecuador, siendo uno de los problemas que afectan gravemente a todo un país, aún más cuando esta problemática no ha tenido suficiente atención en el territorio existiendo escasos de estudios similares.

### **3.3. Métodos de investigación**

#### **3.3.1. Método Inductivo**

En la investigación se empleó el método inductivo debido a que se observó y registró la información acerca de la especie exótica en el país. Existe poca información de la temática y escasas medidas de solución para la gestión del problema, lo que conlleva a la formulación de hipótesis y objetivos de trabajo para los cuales se buscó la información relacionada a través de la presente investigación.

#### **3.3.2. Método Deductivo**

Se aplicó el método deductivo en la investigación desarrollando un análisis de la autenticidad de la información recopilada de estudios similares de las especies exóticas invasoras, que ayudarían a determinar las posibles causas de distribución masiva de las especies y efectos que lleguen a suscitarse a causa de las propagaciones dentro de la zona de estudio, aplicando los procesos pertinentes para alcanzar los resultados deseados.

#### **3.3.3. Método Analítico**

El método analítico permitió estudiar todos los elementos de la investigación y comprender la relación entre ellos, desde las posibles causas del problema y los efectos que se manifiestan en la zona de estudio por la presencia de la especie. Asimismo, cuales son los factores influyentes para la permanencia de la especie exótica invasora en escenarios futuros.

### **3.4. Fuentes de recopilación de información**

Para la investigación se utilizaron fuentes de información secundaria de literatura científica, artículos, revistas digitales, documentos de tesis, informes, libros, entre otras,

que permitió analizar y establecer la información necesaria dentro de la investigación. Los registros de datos de la especie exótica invasora se obtuvieron de plataformas internacionales como es el Global Biodiversity Information Facility (GBIF) que proporcionó acceso libre a datos de todo tipo de especies y también se obtuvo información de presencia de la especie en base a la literatura científica (93). Otra de las herramientas que facilitó la obtención de registros de la especie a nivel mundial fue NicheToolBox (94) y además Worldclim suministró datos climáticos globales utilizados para la modelación a futuro en base a los laboratorios y variables climáticas elegidas, que se explican en el numeral 3.5.2 (95).

### **3.5. Diseño de la investigación**

#### **3.5.1. Fuentes de información de la especie exótica invasora**

La especie seleccionada para la investigación es el caracol africano (*Achatina fulica*) debido a que es considerada como una de las 100 especies invasoras más peligrosas a nivel mundial determinado por la UICN. Además, se ha documentado que en Ecuador está causando graves estragos en la agricultura y se ha dispersado rápidamente desde el primer registro reportado en el 2005. Además, *Achatina fulica* es capaz de aumentar rápidamente el tamaño de sus poblaciones ya que dadas sus características biológicas pueden llegar a ser hermafroditas, por lo que se ha convertido en una plaga que destruye cultivos y se alimenta de la vegetación autóctona produciendo severas afectaciones al sector agrícola y sanitario. A menudo supone un problema para la conservación del medio ambiente, ya que altera el hábitat y compite con éxito con otros caracoles (96).

Para establecer la base de datos de la especie se revisaron varias fuentes de información científica confiables que ayudaron a obtener los registros de presencia (coordenadas geográficas), las cuales son: Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (93), Literatura científica (artículos, (17) (15)), NicheToolbox (94), iNaturalist (plataforma digital, (97)). Además, en colaboración con la Universidad Estatal Amazónica se obtuvieron datos de la especie provenientes de investigaciones realizadas por dicha institución (17).

Luego de conformar la base de datos que se obtuvieron de las fuentes mencionadas, se utilizó la herramienta NicheToolbox para hacer una depuración de los mismos, con la finalidad de eliminar registros duplicados y erróneos que no aporten al modelo, también, se excluyeron todos aquellos que estuvieron muy próximos dentro de un mismo pixel menor a un 1km de distancia. Inicialmente se recopiló 247 datos, pero esta cantidad aumentó a medida que se encontró la información científica y se obtuvo un total de 1525 registros de presencia para la especie *Achatina fulica*.

### 3.5.2. Variables climáticas

Para la modelación del nicho ecológico del caracol africano se usaron los registros de presencia de la especie y las 19 variables bioclimáticas disponibles en el WorldClim 1.4, con una resolución de 30 arc-segundos (~1 km<sup>2</sup>) (95) (Tabla 1). WorldClim tiene una cobertura temporal de 1961-1990 para el presente. Existe una versión actual y mejorada del WorldClim v2.1 que estuvo disponible desde enero 2020; sin embargo, carece hasta el momento de datos con resolución espacial de ~ 1km<sup>2</sup> para los escenarios futuros (98). La información climática se extrajo de cada punto de presencia de la especie con el uso del sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS v10.5 (99).

Previa selección de las variables para incluir en el modelo, se eliminaron las variables de temperatura media del trimestre más lluvioso (Bio 8), temperatura media del trimestre más seco (Bio9), precipitación del trimestre más cálido (Bio 18) y precipitación del trimestre más frío (Bio19), que constituyen artificios matemáticos y no tienen una relación directa y/o natural con las especies.

Para la selección de las restantes variables bioclimáticas a incluir en la modelación de nicho ecológico (climático en este caso) de *Achatina fulica*, se realizaron cuatro procedimientos: 1. análisis de correlación de Spearman; 2. modelo de nicho ecológico empleando todas las variables bioclimáticas; 3. análisis de componentes principales y; 4. información ecológica de la especie. Con el análisis de correlación se identificaron las variables altamente correlacionadas ( $r > 0,7$ ) y se eligió entre los pares de variables aquella con mayor significado ecológico para la especie y evitando redundancia de la información. Del modelo de nicho ecológico se eligieron las variables con mayor porcentaje (>50%) de contribución e importancia de la permutación individualmente al

modelo, en el análisis de componentes principales se eligieron aquellos componentes que sumados alcanzaran el 70% de varianza acumulada, con valores propios  $> 1$ . Entre estos componentes seleccionados se identificaron las variables con pesos  $> 0.7$ . Por último se analizaron las investigaciones científicas sobre la especie, las cuales aportaron información sobre variables de clima donde se distribuye y reproduce la especie.

Finalmente, se integraron los resultados de los cuatro procedimientos y se eligieron las variables coincidentes en al menos dos métodos y que tuvieran relevancia ecológica para la especie. Estas fueron las variables que se incluyeron en el modelo final del caracol africano para Ecuador continental. Las variables seleccionadas fueron las siguientes: temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5), precipitación anual (Bio 12), precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 16).

**Tabla 1.** Variables bioclimáticas que se utilizaron para la modelación de nicho ecológico de *Achatina fulica* (caracol africano) en Ecuador continental.

Siglas	Variables	Descripción
BIO 1	Temperatura media anual (°C)	Temperatura promedio de cada mes, son las entradas totales de energía de un ecosistema.
BIO 2	Rango de temperaturas diurnas (°C)	Diferencia entre la temperatura máxima y mínima de un mes, fluctuación de la temperatura para cada especie.
BIO 3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)	Cuantifica temperaturas de día y noche en relación con las oscilaciones de verano-invierno, es la división de BIO2 y BIO7.
BIO 4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)	Cantidad de variación de la temperatura durante un determinado año (o años promedio) basado en la desviación estándar (variación) de los promedios mensuales de temperatura.
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido	Temperatura máxima mensual durante un tiempo, año o período promedio de años.
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío	Temperatura mínima mensual durante un tiempo, año o período promedio de años.
BIO 7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	Variación de temperatura durante un período determinado. Es la resta de BIO5 y BIO6.
BIO 8	Temperatura media del trimestre más lluvioso	Determinación del trimestre más húmedo del año para calcular la temperatura media de este período.

BIO 9	Temperatura media del trimestre más seco	Cálculo de la temperatura media de este período mediante la determinación del trimestre más seco del año.
BIO 10	Temperatura media del trimestre más cálido	Índice trimestral de aproximación a temperaturas medias que prevalecen durante el trimestre más cálido.
BIO 11	Temperatura media del trimestre más frío	Índice trimestral de aproximación a temperaturas medias que prevalecen durante el trimestre más frío.
BIO 12	Precipitación anual	Suma de todos los valores totales mensuales de precipitación.
BIO 13	Precipitación del mes más lluvioso	Precipitación total que prevalece durante el mes más lluvioso.
BIO 14	Precipitación del mes más seco	Precipitación total que prevalece durante el mes más seco.
BIO 15	Estacionalidad en la precipitación (Coeficiente de variación)	Variaciones totales mensuales de precipitación a lo largo del año.
BIO 16	Precipitación del trimestre más lluvioso	Precipitación total que prevalece en el trimestre más húmedo.
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco	Precipitación total que prevalece en el trimestre más seco.
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido	Cálculo de la precipitación total mediante la determinación del trimestre más cálido del año.
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío	Se determina el trimestre más frío del año (al mes más cercano) y se calcula la precipitación total durante este período.

Para conocer el potencial invasivo actual y futuro del caracol africano en Ecuador continental, el modelo se proyectó a un escenario climático actual para el país (1961-1990) y a escenarios climáticos futuros, uno cercano con su centro en 2050 (2041-2060) y otro lejano centrado en 2070 (2061-2080), bajo tres escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno de mitigación (RCP 2.6), uno cauteloso (RCP 4.5) y otro extremo (RCP 8.5). Cada RCP (*Representative Concentration Pathways*, por sus siglas en inglés) contiene una serie de suposiciones socioeconómicas, tecnológicas y biofísicas diferentes (45).

Los valores de las variables en escenarios futuros se obtuvieron de cuatro laboratorios que simularon los Modelos de Circulación General (GCM por su sigla en inglés). Estos GCM son una representación numérica multidimensional de la dinámica atmosférica, y por lo tanto de la circulación general alrededor del planeta. Los modelos buscaron representar procesos físicos en la atmósfera, los océanos, la criósfera y en la superficie

terrestre, y en la actualidad son la herramienta disponible más avanzada que se tiene para simular la respuesta futura del sistema climático global a los aumentos en los gases de efecto invernadero (45). Los cuatro laboratorios que se eligieron fueron identificados previamente como los que simulan de mejor forma el clima para Ecuador (100) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Modelos de Circulación General (GCM) de donde se extrajeron las variables de temperatura y precipitación para la modelación a futuro del nicho ecológico de *Achatina fulica* (caracol africano) en Ecuador continental.

GCM	Código	País	Institución
IPSL-CM5A-LR	IP	China	IPSL-Institut Pierre-Simon Laplace
MIROC-ESM	SEÑOR	Japón	MIROC-Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
GISS-E2-R	GS	USA	NASA-GISS-NASA Goddard Institute for Space Studies
NorESM1-ME	NO	Noruega	NCC-Norwegian Climate Centre

El área de accesibilidad de la especie (zona M) determinada para esta investigación fue Ecuador continental, ya que la especie ha encontrado características ambientales adecuadas para mantenerse y a la vez expandirse en cada región del país según se evidencia en el número de registros obtenidos en cada región de Ecuador continental (Tabla 3). En función de la zona M establecida se procedió a realizar el recorte de las variables bioclimáticas seleccionadas para modelar. Este proceso se realizó para los cuatro laboratorios GCM considerados en la investigación tomando en cuenta también el presente y los años propuestos en las predicciones 2050 y 2070. Otro elemento importante para el recorte de las variables son los RCP definidos con concentraciones de gases de efecto invernadero de 2.6, 4.5 y 8.5 para cada escenario respectivamente que se obtuvo de la plataforma digital WorldClim.

**Tabla 3.** Total de registros de datos del caracol africano (*Achatina fulica*) en Ecuador continental obtenidos de diferentes fuentes.

<b>Fuentes de información</b>	<b>Región</b>	<b>N° de datos</b>
Literatura científica	Costa	349
NicheToolbox	Sierra	232
iNaturalist	Amazonía	944
GBIF	<b>Total</b>	1525

### **3.5.3. Descripción climática de las condiciones ambientales de la zona de estudio con presencia de la especie**

#### **3.5.3.1. Clasificación climática de Köppen-Geiger**

Se empleó la clasificación climática de Köppen-Geiger (101) para identificar las condiciones ambientales en las que está presente el caracol africano (*Achatina fulica*) tanto en la zona de estudio, como en el área nativa. Esta clasificación climática fue concebida a través de la idea de que las plantas constituyen indicadores climáticos y su distribución define las regiones climáticas. Basándose en el uso de la temperatura media y la precipitación acumulada, definieron cinco grandes clases climáticas que se distinguen por el uso de letras mayúsculas: A (climas tropicales lluviosos), B (climas secos), C (climas templados o mesotermiales), D (climas boreales) y E (climas de nieves perpetuas) (102). A su vez, grupo está subdividido en otros, mediante el uso de varios índices (como el de Lang), lo que da por resultado 13 tipos fundamentales de climas que a su vez pueden dividirse en otros subgrupos, lo que detalla aún más los distintos climas. Este sistema de clasificación climática es uno de los más usados a nivel mundial (102).

A través del programa Google Earth se visualizó la información climática digital de esta clasificación de Köppen-Geiger y se superpuso la capa georreferenciada de registros de presencia del caracol. De esta manera se pudo observar directamente y obtener la clasificación climática asociada a cada registro de presencia en la zona nativa y en Ecuador continental.

### **3.5.3.2. Análisis descriptivo y multidimensional de las variables bioclimáticas**

Los análisis descriptivos de las variables y el multidimensional se realizaron mediante el complemento XLSTAT de Excel. Dichos análisis permitieron identificar tendencias en los datos y describir las diferencias más representativas entre los valores promedios de las variables bioclimáticas en Ecuador para el presente y los escenarios futuros, y entre cada región del país, agrupando las variables de temperatura y las variables de precipitación. De la misma forma, el análisis descriptivo fue aplicado para las variables bioclimáticas escogidas para la modelación de la especie en cada RCP.

Además, se ejecutó la prueba estadística paramétrica multidimensional Mahalanobis para las 19 variables bioclimáticas de acuerdo a cada las región del país, con la finalidad de obtener la similitud de las variables entre regiones y las diferencias significativas, para así determinar si las condiciones son ideales.

### **3.5.4. Modelación de la distribución geográfica potencial del caracol africano**

La herramienta NicheToolBox brinda múltiples funciones para el análisis de datos y modelación del nicho ecológico de una especie. Mediante esta herramienta se graficó el nicho conocido del caracol africano según los registros de presencia en Ecuador continental y las tres variables climáticas (Bio 5: temperatura del mes más cálido; Bio 12: precipitación anual; Bio 16: precipitación del trimestre más lluvioso) seleccionadas para modelar el nicho climático.

#### **3.5.4.1. Modelación de nicho ecológico**

El algoritmo de máxima entropía Maxent 3.4.0 (103) se empleó para el modelo del nicho ecológico de la especie. Para este proceso se necesitó únicamente datos de presencia de la especie y variables climáticas con la finalidad de obtener un modelo de escenarios ambientales propicios para la especie. Este modelo fue proyectado al espacio geográfico para generar un mapa que representa la distribución de las condiciones favorables para la especie, o su distribución potencial (63). El modelo de nicho también pudo ser proyectado en escenarios de cambio climático (104). Las proyecciones geográficas de estos modelos

se pueden utilizar como insumos en la búsqueda de estrategias para monitorear el riesgo de invasión en condiciones ambientales actuales y futuras (105).

En la calibración de los modelos se usaron registros de presencia adquiridos de bases de datos internacionales como también de literatura científica para Ecuador continental y se proyectaron en el espacio geográfico. Para evitar resultados erróneos por efectos estadísticos en el modelo se corrieron 50 réplicas y se utilizó como método de remuestreo el *bootstrap*. Para calibrar el modelo de la especie se empleó el 75% de los datos de presencia y el otro 25% para validarlo internamente. La función de *jackknife* que realiza Maxent a los datos de calibración permitió obtener valores que se compararon para determinar la significación de las variables climáticas en el modelo, en el momento de correr el modelo con variables individuales. La prueba ROCparcial evaluó al modelo final promedio de las 50 réplicas (94).

Para conocer el potencial invasivo actual y futuro de esta especie en Ecuador continental, el modelo fue proyectado a un escenario climático actual para el país (1961-1990; a una resolución de 1 km<sup>2</sup>) y a escenarios climáticos futuros, uno cercano con su centro en 2050 (2041-2060) y otro lejano centrado en 2070 (2061-2080), bajo tres escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno de mitigación con un aumento menor a 2°C en la temperatura (RCP 2,6), uno cauteloso con la probabilidad de que la temperatura acreciente más de 2°C (RCP 4,5) y otro extremo en el que la temperatura incremente 3°C (RCP 8,5). Los escenarios futuros se obtuvieron de cuatro laboratorios mencionados previamente como los que mejor representan el clima de Ecuador según estudios de Armenta *et al* (100).

Para la validación de los datos, se procedió a realizar análisis estadísticos en la plataforma digital NicheToolbox (94), en estos análisis se utilizó el resultado del modelo sencillo ejecutado en Maxent, además de ello se requirió los registros seleccionados para validar el modelo, en este caso es el 10% del total de los datos.

Las pruebas estadísticas que se realizaron para evaluar el modelo fueron el ROCparcial y matriz de confusión, en la cual se requirió de los datos de ausencia-presencia según el formato de esta prueba para poder obtener los resultados y se seleccionó un rango de umbral para buscar el mejor corte de los datos, en este caso es de 0.5 y además se ingresa

el 10 percentil presencia de entrenamiento del resultado del modelo de Maxent para el paso de partición del rango. Dentro de esta validación también se incluye la prueba TSS que es la diferencia entre la tasa de aciertos y de errores, finalmente el índice kappa.

### **3.5.5 Identificación de los escenarios de cambio climático con mayor riesgo de invasión**

Se transformaron los mapas continuos de adecuación a mapas binarios de presencia-ausencia, utilizando como umbral de corte el *minimum training presence* de los datos de calibración. Con los mapas binarios se realizaron comparaciones entre la distribución actual y futura para identificar expansiones, estabilidad o contracción en la distribución geográfica potencial de la especie, usando la herramienta SDMToolBox (SDM Tools- Maxent Tools- Distribution Changes Between Binary) en ArcGis. A partir de este análisis se obtuvo la extensión del área en km<sup>2</sup> para cada escenario y se visualizó el rango de expansión, contracción o si la especie no presenta cambios hacia el futuro.

Los mapas vectoriales de las zonas importantes como áreas protegidas se utilizaron para analizar el alto riesgo de invasión actual y hacia el futuro que pudiese originarse. Este proceso consiste en superponer los mapas de polígonos con los mapas de distribución geográfica para analizarlos en el presente y en escenarios de cambio climático. Se calculó la extensión dentro las áreas protegidas. Se podrán elaborar mapas de riesgo de invasión actual y futura de la especie en base al análisis espacial, destacando las zonas con mayor grado de expansión potencial.

Al mismo tiempo se calculó la extensión geográfica con condiciones ambientales adecuadas para la especie en la zona de estudio, en este caso por regiones (Costa, Sierra y Amazonía) tanto para el escenario actual como para los escenarios climáticos futuros. Para ello se usaron los mapas binarios resultantes del modelo junto con la capa geográfica de cada región y a través de la herramienta SDMToolBox (extraction) de ArcGis se realizaron las extracciones de la extensión de condiciones adecuadas por regiones, el mismo proceso se lo efectuó para cada provincia con la finalidad de establecer la extensión de territorio idónea para la especie.

De igual manera, con la ayuda de la herramienta Spatial Analyst Tools Extraction se calculó la extensión para determinar el porcentaje de afectación en las áreas protegidas. Este proceso se realizó con la información en shapefile de la cartografía de las áreas protegidas del Ecuador y comprobar el grado de afectación causada por la distribución de la especie exótica invasora.

### **3.6. Instrumentos de investigación**

Durante el desarrollo de la investigación se empleó herramientas que permitieron obtener información necesaria para alcanzar los resultados deseados, los instrumentos que se utilizaron para establecer la base de datos, los programas y literatura son los siguientes.

- Computadora con capacidad eficiente para el procesamiento del modelado
- Literatura científica, informes, libros, revistas digitales y páginas web de la especie seleccionada.
- Worldclim (95) proporcionó información climática de las variables bioclimáticas y los laboratorios de modelación globales seleccionados.
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (93) proveyó datos de registros de presencia de la especie (coordenadas geográficas) que sirvieron para modelar los nichos ecológicos.
- NicheToolbox (94) es una plataforma que facilitó obtener registros de coordenadas geográficas de presencia de la especie para el análisis de validación del modelo.
- Los mapas vectoriales sirvieron para los análisis espaciales de la dispersión que alcance la especie.
- Maxent 3.4.0 (algoritmo de máxima entropía) se usó en la modelación del nicho ecológico de la especie y ArcGis con su herramienta SDMTToolBox (SDM Tools-

Maxent Tools- Distribution Changes Between Binary) correspondieron para valorar los mapas resultantes.

### **3.7. Tratamiento de datos**

Todos los datos de las variables bioclimáticas fueron sometidos a las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza. Los datos que no cumplieron con los supuestos de la estadística paramétrica fueron sometidos al análisis no paramétrico. En este caso se extrajeron los valores de las variables en cada localidad de presencia confirmada de la especie y se compararon con los valores de estas variables en el futuro en las mismas localidades. Para esto se usó la prueba Kruskal Wallis (106) y como prueba *a posteriori* se emplearon pruebas de MonteCarlo. Los valores bioclimáticos en las localidades de presencia también fueron comparados entre las regiones Costa y Amazonía a través de la prueba U de Man Whitney (107).

Todos los valores de las variables que describen las zonas con condiciones adecuadas para la especie fueron expresados con sus valores medios (como medida de tendencia central) y las desviaciones estándares (como medida de dispersión).

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1. Descripción climática de las condiciones ambientales en los sitios de presencia de invasión de la especie

### 4.1.1. Clasificación climática según Köppen-Geiger de los sitios con presencia de la especie en la región nativa y de invasión en Ecuador

Las condiciones climáticas idóneas para la máxima reproducción del caracol africano en el continente africano, de donde es nativo, son de humedad y una temperatura media. En esta región nativa varios climas son aptos para la distribución de la especie, mayormente climas tropicales, subtropicales, cálidos y templados en los que el caracol africano puede adaptarse. Los climas identificados en la región nativa, según la clasificación Köppen-Geiger, variaron desde el ecuatorial o tropical húmedo hasta el clima templado de montaña con invierno seco (Tabla 4; ver Anexo 1 para la descripción de estos climas).

**Tabla 4.** Clasificación climática de Köppen-Geiger para la región nativa del caracol africano (*Achatina fulica*) en África.

<b>Condiciones climáticas de las zonas nativas en África del caracol africano según la clasificación climática de Köppen-Geiger</b>			
	<b>País</b>	<b>Clima</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Región Costera de África</b>	Madagascar	Ecuatorial o tropical húmedo	Af
	Kenia		
	Uganda		
	Comores		
	Sierra Leona	Tropical monzónico o Subecuatorial	Am
	Madagascar		
	Uganda		
	Kenia	Tropical de sabana con verano seco	As
	Madagascar	Tropical de sabana con invierno seco	Aw
	Tanzania		
	Gabón		
	Ghana		
	Nigeria		
	Benín		
Uganda			
Burkina Faso			
Mozambique			

	Kenia	Semiárido cálido	BSh
	Tanzania		
	Somalia		
	Mali	Árido cálido	BWh
	Madagascar	Subtropical húmedo o sin estación seca (verano cálido)	Cfa
	Madagascar	Oceánico templado (verano suave)	Cfb
	Kenia		
	Madagascar	Subtropical con invierno seco (verano cálido)	Cwa
	Madagascar	Templado de montaña con invierno seco (verano suave)	Cwb
	Tanzania		

En el caso de la zona invadida en Ecuador continental, también se identificaron la mayor parte de climas presentes en el área nativa. Coincidieron los climas tropicales, semiáridos cálidos y oceánicos templados (Tabla 5). La región Costa fue identificada como la de mejores condiciones climáticas para el caracol, ya que se tabuló la mayor cantidad de provincias del país con climas similares a los presentes en la región nativa (Tabla 5). Los climas subtropicales, árido cálido y templado de montaña presentes en la zona nativa, no estuvieron representados en Ecuador, a partir de los registros de presencia confirmada que se tienen de la especie. No se identificaron tipos de clima en Ecuador continental, que no estuviesen representados en la región nativa africana del caracol.

**Tabla 5.** Clasificación climática de Köppen-Geiger para la región de invasión del caracol africano (*Achatina fulica*) en Ecuador continental.

<b>Condiciones climáticas en los sitios de presencia de invasión del caracol africano en Ecuador continental</b>			
<b>Región</b>	<b>Provincia</b>	<b>Clima</b>	<b>Abreviatura</b>
Región Amazónica	Sucumbíos	Ecuatorial o tropical húmedo	Af
	Orellana		
	Pastaza		
	Zamora Chinchipe		
	Napo		
Región Sierra	Cañar	Semiárido cálido	BSh
	Chimborazo		

	Pichincha	Océánico templado (verano suave)	Cfb
		Tropical de sabana con verano seco	As
	Bolívar	Tropical de sabana con invierno seco	Aw
Región Costa	Pichincha	Tropical monzónico o Subecuatorial	Am
	Santo Domingo de los Tsáchilas		
	Manabí	Semiárido cálido	BSh
	Santa Elena		
	Manabí		
	El Oro	Tropical de sabana con verano seco	As
	Manabí	Tropical de sabana con invierno seco	Aw
	Los Ríos		
	Esmeraldas		
	Manabí		
	Santa Elena		
Guayas			
El Oro			

#### 4.1.2. Descripción climática en los sitios con presencia de la especie

Según el análisis descriptivo realizado, las zonas con presencia del caracol africano en Ecuador tuvieron una temperatura media anual (Bio 1) que varía desde un mínimo de 12,60 °C hasta una máxima de 26°C. La temperatura media del trimestre más frío (Bio11) tuvo un mínimo de 12,10°C y un valor máximo de 25,60°C (Tabla 6). De las variables usadas en la modelación, la temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5) mostró valores que oscilan entre una temperatura mínima de 19,20°C y una máxima de 32,30°C.

En el caso de la precipitación anual (Bio 12), el valor mínimo y máximo en promedio fue de 147 mm y 4477 mm respectivamente (Tabla 6). La precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 16) tuvo un promedio de precipitación mínima de 119 mm y un máximo de 1824 mm como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Estadígrafos descriptivos de las variables bioclimáticas en los sitios con presencia confirmada del caracol africano (*Achatina fulica*) en Ecuador continental.

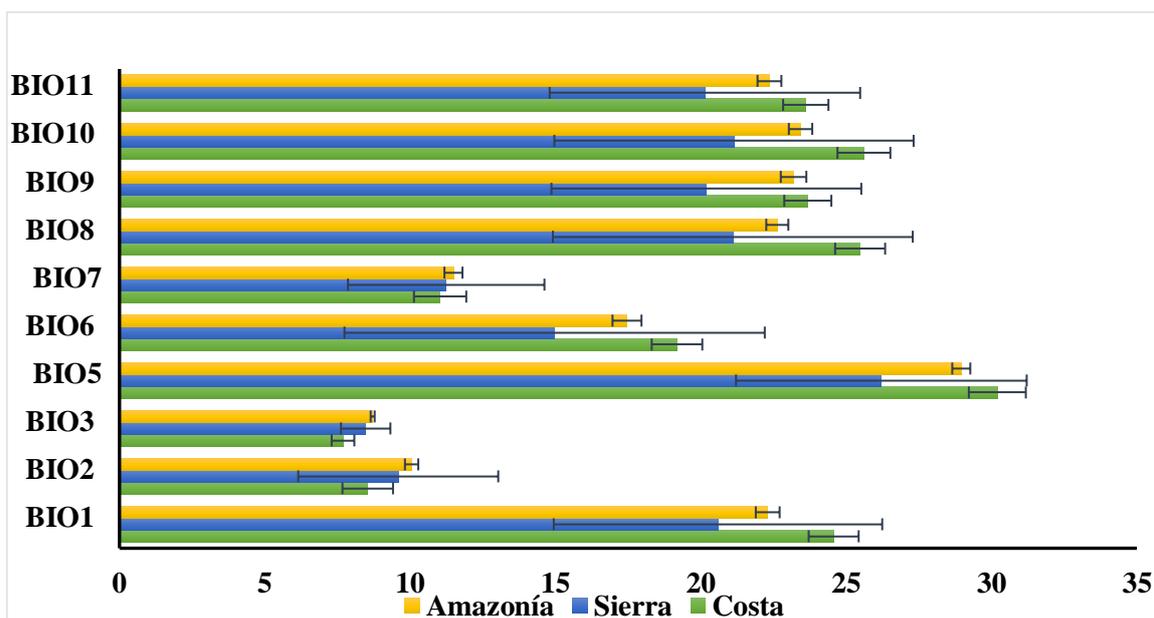
<b>Variables (T=temperatura; P=precipitación)</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar (%)</b>
Temperatura media anual (Bio1)	12,60	26,00	23,12	16,80	0,43
Rango de temperaturas diurnas (Bio2)	5,20	14,90	9,67	11,56	0,30
Isotermalidad (Bio3)	5,00	9,30	8,24	6,42	0,16
Estacionalidad en la temperatura (Bio4)	12,60	171,90	59,67	271,12	6,94
T. máxima del mes más cálido (Bio5)	19,20	32,30	29,18	15,06	0,39
T. mínima del mes más frío (Bio6)	5,70	21,70	17,52	19,71	0,50
Rango anual de temperatura (Bio7)	7,70	16,90	11,66	10,44	0,27
T. media del trimestre más lluvioso (Bio8)	12,80	26,80	23,29	19,96	0,51
T. media del trimestre más seco (Bio9)	12,10	26,30	22,86	16,14	0,41
T. media del trimestre más cálido (Bio10)	12,80	27,00	23,82	18,82	0,48
T. media del trimestre más frío (Bio11)	12,10	25,60	22,32	15,87	0,41
Precipitación anual (Bio12)	147,00	4477,00	2744,93	1388,69	35,57
Precipitación del mes más lluvioso (Bio13)	53,00	656,00	361,37	148,24	3,80
Precipitación del mes más seco (Bio14)	0	300,00	138,43	103,45	2,65
Estacionalidad de precipitación (Bio15)	12,00	153,00	45,70	36,53	0,94
P. del trimestre más lluvioso (Bio16)	119,00	1824,00	1011,36	427,23	10,94
P. del trimestre más seco (Bio17)	1,00	948,00	454,44	329,35	8,44
P. del trimestre más cálido (Bio18)	108,00	1824,00	807,78	374,45	9,59
P. del trimestre más frío (Bio19)	2,00	1374,00	669,59	538,29	13,79

#### **4.1.3. Variación climática de los sitios con presencia de la especie entre la región Costa, Sierra y Amazonía**

El análisis multidimensional de Mahalanobis entre las tres regiones identificó diferencias significativas, para la integración de las 19 variables, entre las regiones Costa y Sierra y entre Costa y Amazonía ( $\Lambda = 0,18$ ;  $p < 0,0001$ ). La distancia de Mahalanobis entre el vector multidimensional Costa-Sierra fue menor (52,83) que entre Costa-Amazônia (259,98) y Amazônia-Sierra (194,95). Lo mismo sucedió con la distancia de Fisher entre Costa y Sierra (52,52;  $p < 0,0001$ ) respecto a las regiones Costa y Amazônia (1340,70;  $p < 0,0001$ ) y Sierra y Amazônia (211,86;  $p < 0,0001$ ).

En la Amazônia los registros de la temperatura media del trimestre más lluvioso (Bio8) tuvieron un valor promedio de  $22,63^{\circ}\text{C} \pm 0,38$  con diferencias significativas en relación a la región Costa ( $25,48^{\circ}\text{C} \pm 0,86$ ) y la región Sierra ( $21,10^{\circ}\text{C} \pm 6,19$ ); en este último caso

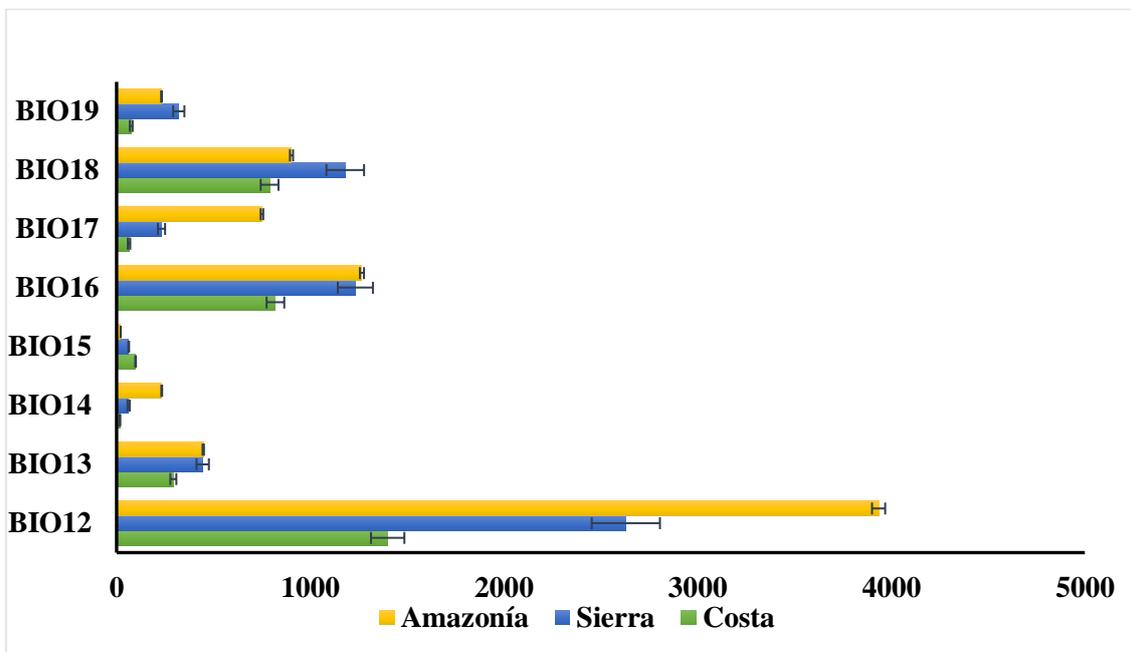
debido a que existieron pocos registros de presencia en la zona (Figura 5). Así mismo, la mayoría de las variables de temperatura (Bio 1, Bio 5, Bio 8, Bio 9, Bio 10, Bio 11) registraron los valores más altos para la región Costa con una temperatura promedio de  $23,61^{\circ}\text{C} \pm 0,39$  hasta el máximo de  $30,21^{\circ}\text{C} \pm 0,98$  registrado para la temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5). Sin embargo, el rango de temperaturas diurnas (Bio2) para la región Costa tuvo un comportamiento diferente con un valor más bajo  $8,54^{\circ}\text{C}$  en relación a la región de la Amazonía ( $10,05^{\circ}\text{C} \pm 0,23$ ). Lo mismo sucedió con la Isotermalidad (Bio3), la Amazonía tuvo un valor alto  $8,71 \pm 0,07$  (Figura 4).



**Figura. 4.** Variación de los promedios de temperatura en sitios con presencia confirmada del caracol africano (*Achatina fulica*) entre las regiones Costa, Sierra y Amazonía de Ecuador continental.

Entre las variables de precipitación, la precipitación anual (Bio 12) fue más alta en la región de la Amazonía ( $3935,02 \pm 34,01$  mm), seguido de la región Sierra ( $2629,64 \pm 176,22$  mm) y finalmente la región Costa ( $1399,82 \pm 86,32$  mm) (Figura 6). Además, la precipitación del trimestre más cálido (Bio 18) tuvo diferencias significativas entre las regiones con los valores más altos para la región Sierra ( $1180,59 \pm 97,30$  mm). La precipitación del trimestre más frío (Bio 19) también tuvo los valores más altos en la región Sierra ( $321,05 \pm 29,01$  mm) en comparación con las regiones Costa y Amazonía (Figura 5).

Lo más destacado fue la diferencia de la precipitación media anual entre las regiones ya que es mucho mayor en la región de la Amazonía con respecto a la Sierra y Costa, prediciendo que la especie tiene un amplio rango de tolerancia con respecto a altas cantidades de precipitaciones porque puede estar presente en sitios muy húmedos o sitios con escasas de precipitaciones dentro de su rango de distribución.



**Figura 5.** Variación de los promedios de precipitación en sitios con presencia confirmada del caracol africano (*Achatina fulica*) entre las regiones Costa, Sierra y Amazonía de Ecuador continental.

#### 4.1.5. Variación de la temperatura y precipitación, en sitios de presencia del caracol africano entre los Modelos de Circulación General para cada escenario de cambio climático

Cada variable utilizada en la modelación de nicho ecológico del caracol africano fue comparada y representada su variación entre los escenarios de cambio climático, por laboratorio. Se representaron los valores medios de cada variable para el presente con una línea roja (Figura 6; ver Anexo 2 gráficos de todas las variables).

En el laboratorio climático IPSL CM5A LR la temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5) en el presente tuvo un valor promedio de  $29,18^{\circ}\text{C}$  y en relación a los escenarios futuros se observó que en cada RCP la temperatura aumentó, principalmente en el RCP 8.5 para los escenarios 2050 con un promedio de  $32,01^{\circ}\text{C} \pm 0,40$  y en el escenario 2070 la temperatura promedio fue  $33,4^{\circ}\text{C} \pm 0,40$  como lo demuestra la Figura 6A

En cambio la precipitación anual (Bio12) en el presente registró un promedio de 2744,93mm y los RCP de escenarios futuros lograron un valor mayor al presente, los valores más altos destacaron en el RCP 8.5 con  $2976,41 \pm 38,35$  mm para el 2050 y  $3259,6 \pm 42,16$  mm en 2070 como se observa en la (Figura 7A). Igualmente, la precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 16) en el presente demostró un valor promedio de 1011,36 mm y en escenarios futuros los valores fueron similares en RCP 4.5 y 8.5 con promedios de  $1127,79 \pm 12,48$  mm y  $1131,74 \pm 12,6$  mm, mientras que en escenarios 2070 la mayor diferencia se observó en el RCP 8.5 con  $1311,56 \pm 15,46$  mm (Figura 6A).

Asimismo, en el laboratorio climático MIROC-ESM la temperatura del mes más cálido (Bio5) en relación al presente y escenarios futuros, se observó una diferencia mínima entre cada RCP pero superó al promedio del presente ( $29,18^{\circ}\text{C}$ ). El RCP 4.5 tuvo valores similares para cada escenario de cambio climático con un promedio de  $31,15^{\circ}\text{C} \pm 0,40$ , en el 2070 el valor más alto fue RCP 8.5 con  $32,39^{\circ}\text{C} \pm 0,38$  (Figura 6B).

En cuanto a la precipitación anual (Bio 12) se identificó que el valor del RCP 2.6 en escenarios 2050 tuvo un promedio de  $2678,76 \pm 34,02$  mm, siendo el único escenario que está por debajo del valor promedio del presente (2744,93 mm). Para los escenarios del 2070 el mayor valor se encontró en el RCP 8.5 con un promedio de  $3163,64 \pm 41,08$  mm (Figura 6B). Finalmente, en la variable de precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 16) en escenarios futuros, todos los valores superan al promedio del presente (1011,36 mm), la precipitación aumentó notablemente en el RCP 8.5 para los escenarios 2050, con un valor de  $1238,93 \pm 13,43$  mm y para el escenario 2070 la precipitación promedio fue  $1415,77 \pm 15,96$  mm como lo demuestra la figura 6B.

La variabilidad de temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5) del laboratorio climático GISS-E2-R en el presente fue de  $29,18^{\circ}\text{C}$  y en relación a los escenarios futuros se observó que la temperatura incremento en cada RCP. Principalmente en el RCP 8.5

para los escenarios 2050 con un valor de  $31,26^{\circ}\text{C} \pm 0,38$  y en el escenario 2070 la temperatura promedio fue  $31,96^{\circ}\text{C} \pm 0,38$  como lo demuestra la figura 6C.

En cambio, en la precipitación anual (Bio 12) la media para el presente fue de 2744,93 mm y en cada RCP de los escenarios futuros obtuvieron un valor promedio mayor al presente, los valores que destacaron fueron el RCP 4.5 con  $2971,27 \pm 38,71$  mm para el 2050 y  $3062,50 \pm 39,82$  mm para el 2070. En el RCP 8.5 los escenarios 2050 y 2070 fueron los promedios más bajos ( $2831,15 \pm 35,35$  mm y  $2855,18 \pm 35,71$  mm) (Figura 6C). Por otra parte, en la precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 16) el presente evidenció un promedio de 1011,36 mm y en relación a los escenarios futuros existió poca diferencia entre los RCP 2.6 y 8.5 con promedios similares de  $1055,88 \pm 11,34$  mm a  $1056,06 \pm 11,37$  mm para el 2050. Mientras que el RCP 4.5 tuvo un mayor promedio  $1108,75 \pm 12,23$  mm para el escenario 2050 y en 2070 fue  $1142,60 \pm 12,67$  mm (Figura 6C).

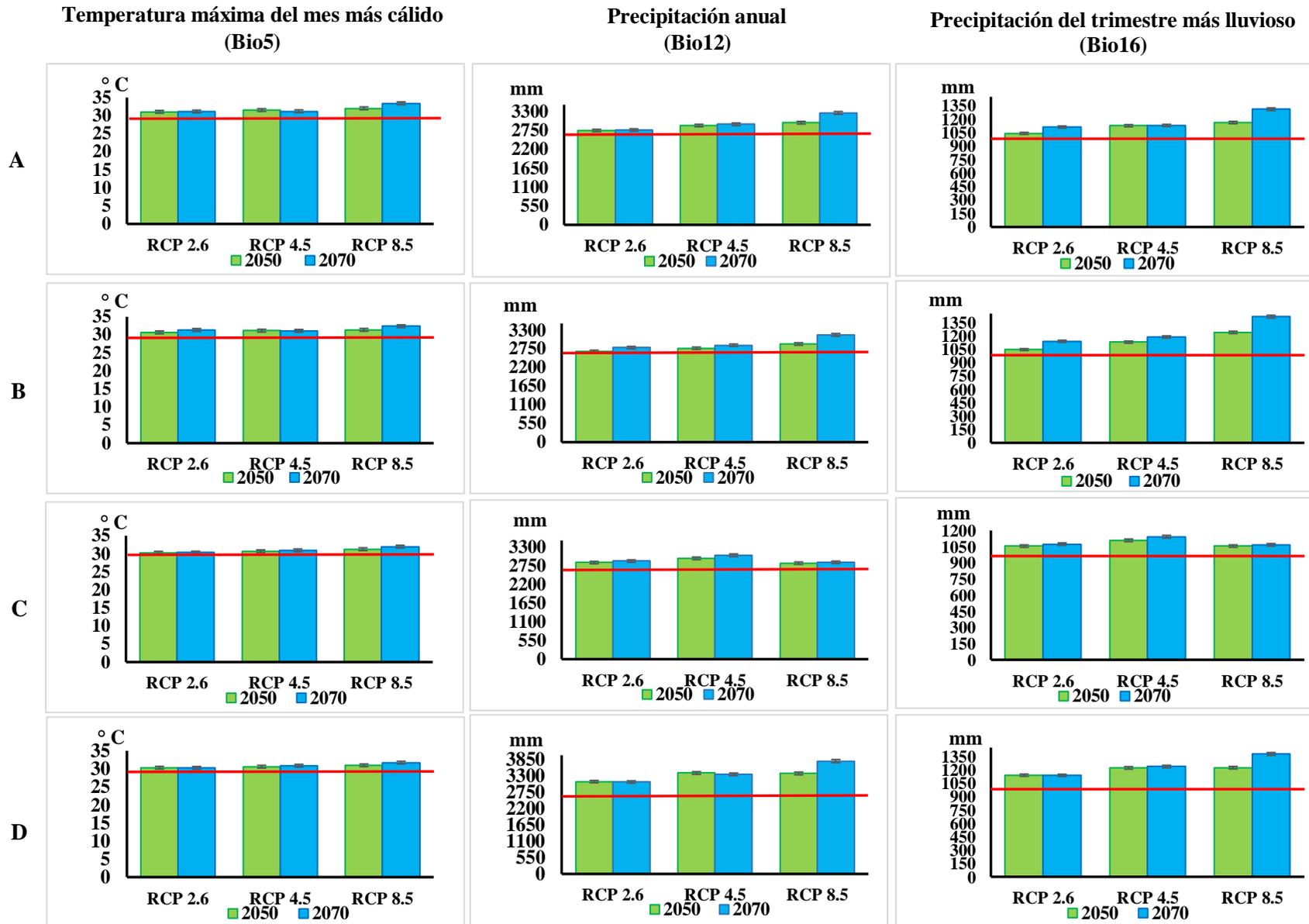
De la misma forma, en el laboratorio climático NorESM1-ME los resultados alcanzados en relación al presente y comparándolos con los escenarios futuros tuvo una diferencia mínima de temperatura que superó al valor promedio del presente ( $29,18^{\circ}\text{C}$ ) y entre los RCP en escenarios 2050 existió un intervalo de  $30,30^{\circ}\text{C} \pm 0,39$  a  $30,97^{\circ}\text{C} \pm 0,38$  y para escenarios 2070 la temperatura promedio fue de  $30,24^{\circ}\text{C} \pm 0,39$  a  $31,71^{\circ}\text{C} \pm 0,38$  como representa la figura 6D.

Además, en la precipitación anual (Bio 12) se observó que todos los valores superan al valor promedio del presente (2744,93 mm), en escenarios futuros la precipitación aumentó principalmente en el RCP 4.5 para 2050 con un valor de  $3401,14 \pm 46,53$  mm y de la misma forma para el escenario 2070 del RCP 8,5 con el mayor valor de precipitación de  $3801,44 \pm 52,61$  mm como lo demuestra la figura 6D.

En cambio en la precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 16) el valor promedio para el presente fue de 1011,36 mm y de la misma forma cada RCP en los escenarios futuros obtuvo un promedio mayor al presente, los valores más altos que destacaron fue en el RCP 8.5 en los dos escenarios futuros con valores de  $1224,18 \pm 14,38$  mm para el 2050 y  $1377,72 \pm 16,05$  mm para el 2070 (Figura 6D).

El comportamiento de las variables bioclimáticas en los laboratorios demostró que la temperatura del mes más cálido (Bio 5) mantuvo la misma tendencia en todos los laboratorios, superaron los registros de la media en el presente e incrementaron en los escenarios futuros en la mayoría de los RCP 8.5.

Por otra parte, la precipitación anual (Bio 12) presentó una variabilidad de comportamiento en los registros de escenarios futuros, en donde el RCP 2.6 (2050) en el laboratorio MIROC-ESM tuvo un promedio menor en comparación a la media del presente, lo contrario ocurrió en los escenarios 2050 y 2070 en los que la mayoría de laboratorios tuvieron resultados superiores al presente, principalmente en los RCP 4.5 y 8.5. En cambio, en la precipitación del trimestre más lluvioso (Bio 16) todos los escenarios futuros superaron el presente, reflejaron que los RCP 4.5 y 8.5 de los dos escenarios futuros mantuvieron promedios mayores a los demás (Figura 6).

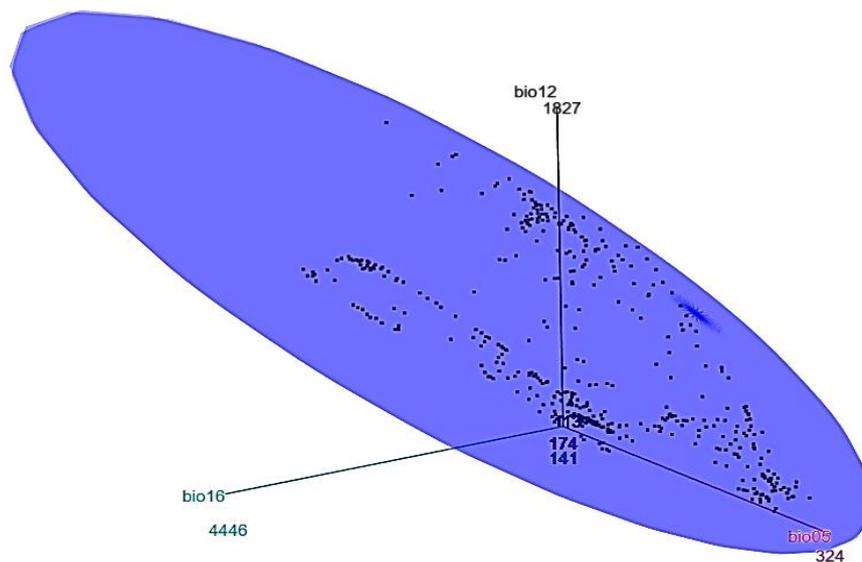


**Figura 6.** Variación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelo de distribución del caracol africano (*Achatina fulica*) entre el presente (línea roja) y hacia el futuro según los escenarios de cambio climático para cada laboratorio: A (IPSL-CM5ALR), B (MIROC-ESM), C (GISS-E2-R) y D (NorESM1-ME).

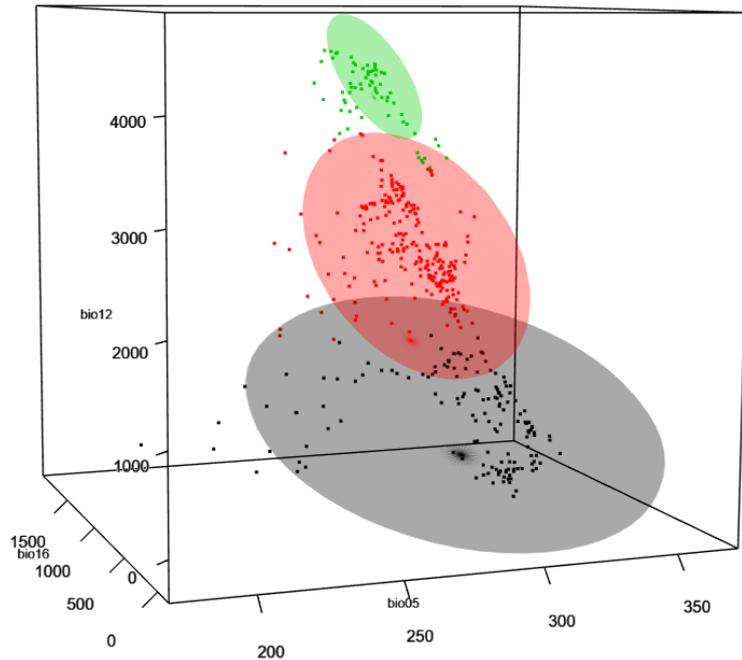
## 4.2. Nicho climático conocido del caracol africano (*Achatina fulica*) en Ecuador continental

En la figura 7 se representa el nicho conocido del caracol africano en Ecuador continental, partiendo de sus registros de presencia. El centroide del nicho estuvo más orientado hacia la precipitación anual y la temperatura máxima del mes más cálido, pero de forma general el nicho mostró amplitud en las condiciones climáticas en las que aparece la especie.

Al realizar el análisis Clúster se distinguieron las tres regiones dentro de Ecuador continental; la Costa donde existen muchos registros de presencia al igual que en la región Amazónica (Figura 8). Estas regiones mostraron mayor variabilidad en la distribución de los puntos, mayor dispersión. En la región Sierra, se observó menor cantidad de registros y mucho más concentrada la distribución de los mismos en el espacio climático, esta zona es menos favorable para la especie (Figura 8).



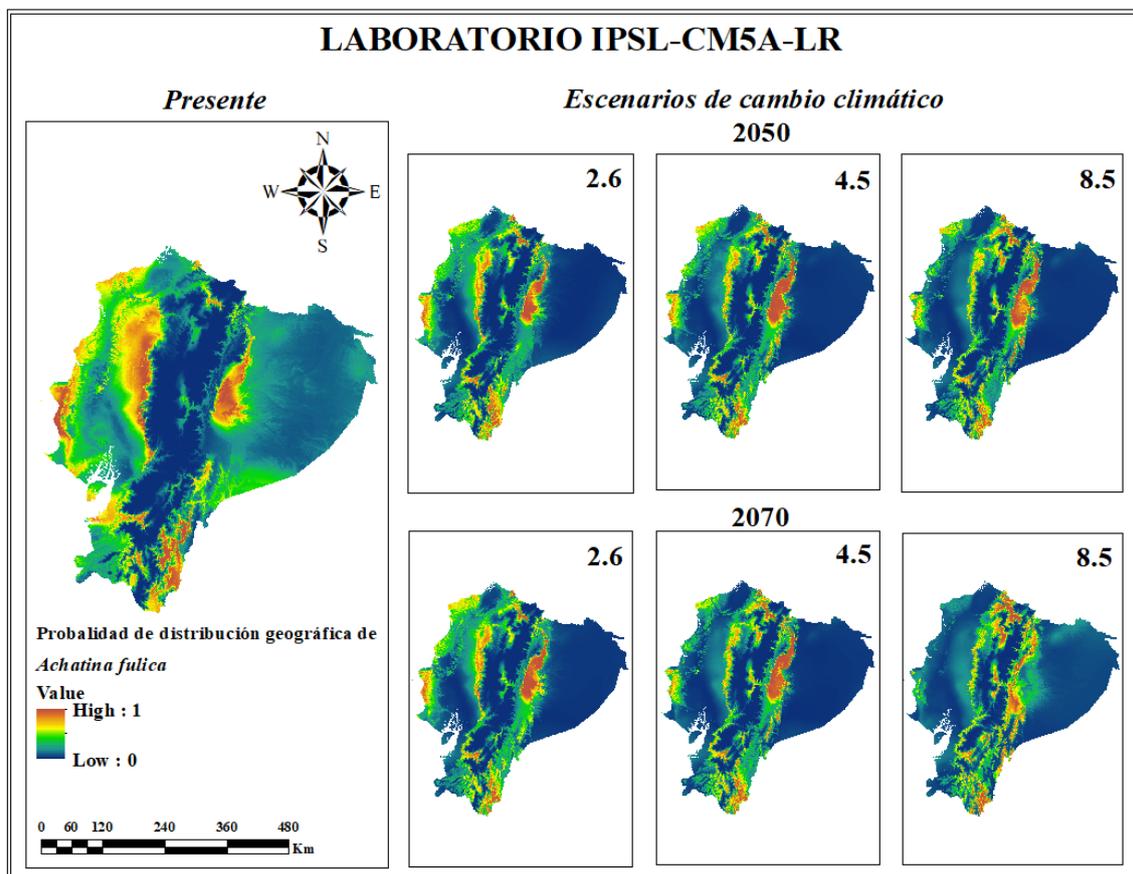
**Figura 7.** Nicho climático conocido de *Achatina fulica* dentro de su rango de invasión en Ecuador continental. Se muestra el centroide del nicho conocido (asterisco azul). Bio 5: temperatura máxima del mes más cálido; Bio 16: precipitación del trimestre más lluvioso; Bio 12: precipitación anual.



**Figura 8.** Clúster del nicho climático conocido del caracol africano (*Achatina fulica*) dentro de su rango de invasión en la región Costa (puntos negros), Sierra (puntos verdes) y Amazonía (puntos rojos) de Ecuador continental. Se muestra el centroide del nicho conocido en cada región (asterisco) y el elipsoide que encierra cada nicho. Bio 5: temperatura máxima del mes más cálido; Bio16: precipitación del trimestre más lluvioso; Bio12: precipitación anual.

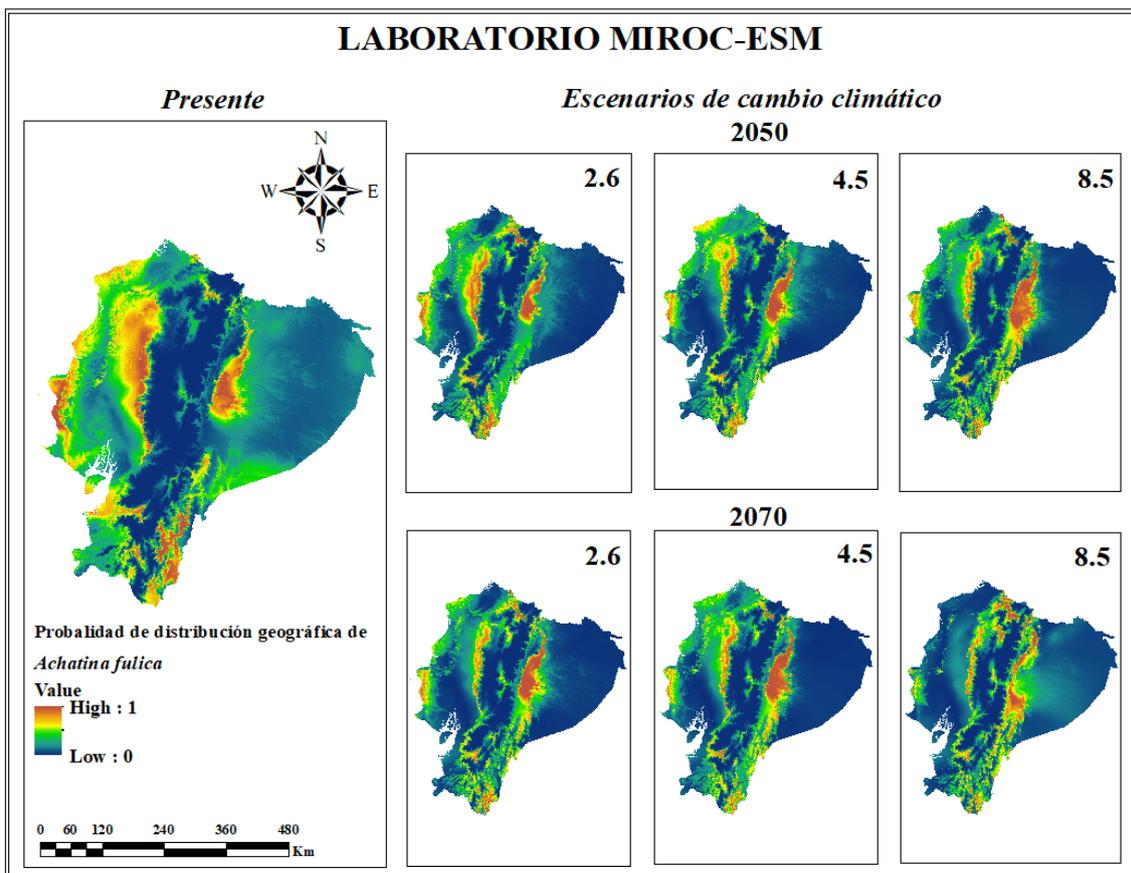
#### 4.2.1. Modelación de la distribución geográfica potencial del caracol africano en el presente y ante escenarios de cambio climático

Los resultados obtenidos en el modelado de los registros de presencia confirmada de la especie indicaron que para el presente las condiciones ambientales favorables se situaron en la región Costa y Amazonía, en los escenarios futuros sucedió algo similar en cada uno de los RCP 2.6, 4.5 y 8.5, pero resaltando que en comparación con el presente se redujo la idoneidad de nicho ecológico de la especie en la Costa pero en la Amazonia fue lo contrario, esta representación se identificó de color café con tendencia hacia amarillo cuando hay presencia de condiciones idóneas y los colores azul con tendencia a verde demostraron escasas condiciones ambientales (Figura 9).



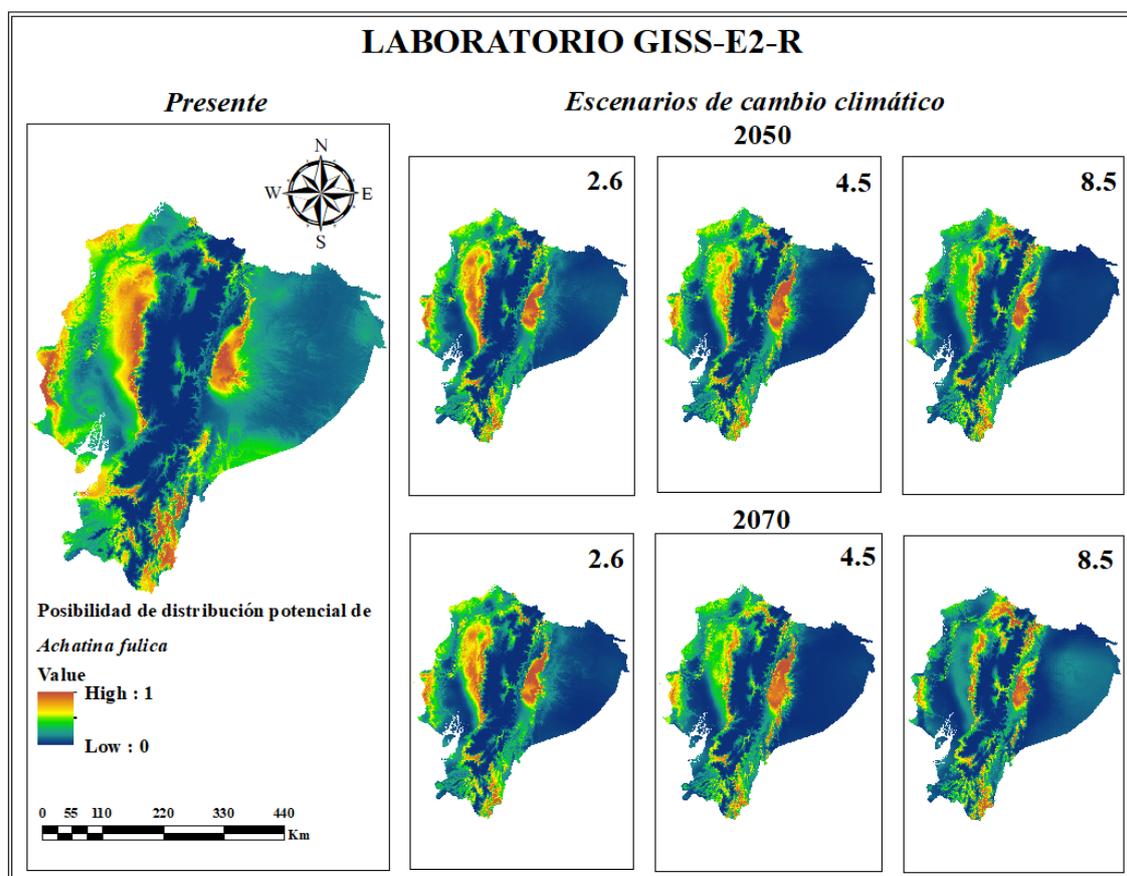
**Figura 9.** Idoneidad de la distribución geográfica del caracol africano (*Achatina fulica*) para el laboratorio climático IPSL-CM5A-LR.

Los resultados obtenidos en la modelación de los registros de presencia confirmada de la especie para el presente indicaron que las condiciones ambientales aptas se situaron en la región Costa principalmente y en la Amazonía, en los escenarios futuros sucedió algo similar en cada uno de los RCP 2.6, 4.5 y 8.5, pero resaltando que en comparación con el presente se redujo la idoneidad del posible nicho ecológico en las regiones mencionadas sobre todo en el RCP 8.5 en el escenario 2070, esta proyección se identificó de color café con tendencia hacia amarillo cuando hay presencia de condiciones idóneas y los colores azul con tendencia a verde demostraron escasas condiciones ambientales (Figura 10).



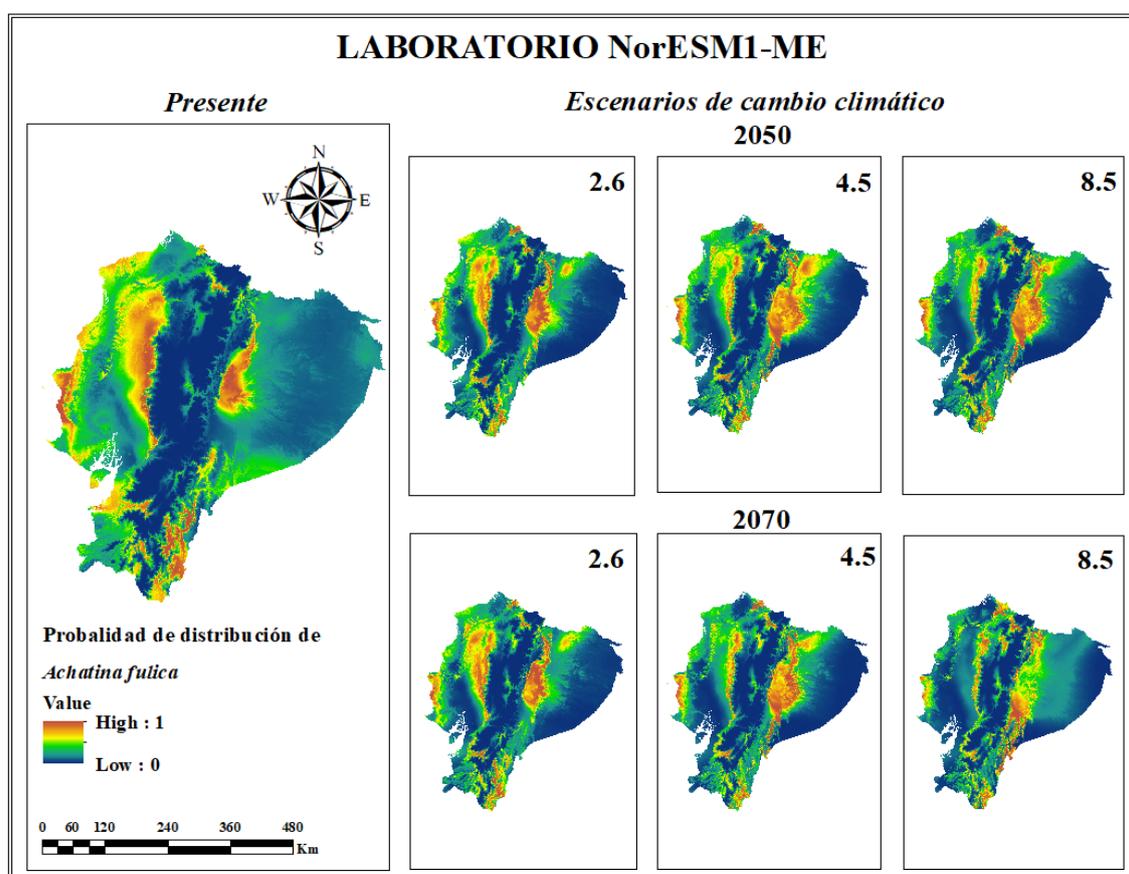
**Figura 10.** Idoneidad de la distribución geográfica del caracol africano (*Achatina fulica*) para el laboratorio climático MIROC-ESM.

Los resultados obtenidos en el modelado de los registros de presencia confirmada de la especie para el presente indicaron que, las condiciones ambientales favorables se situaron en la región Costa principalmente y en la Amazonía, en los escenarios futuros sucedió algo similar en cada uno de los RCP 2.6, 4.5 y 8.5 pero resaltando que en comparación con el presente se redujo la idoneidad del nicho ecológico en las regiones mencionadas, esta proyección se identificó de color café con tendencia hacia amarillo cuando hay presencia de condiciones idóneas y los colores azul con tendencia a verde demostraron escasas condiciones ambientales (Figura 11).



**Figura 11.** Idoneidad de la distribución geográfica del caracol africano (*Achatina fulica*) para el laboratorio climático GISS-E2-R.

Los resultados obtenidos en el modelado de los registros de presencia confirmada de la especie para el presente indicaron que, las condiciones ambientales favorables se ubicaron en la región Costa y en la Amazonía, además en los escenarios futuros sucedió algo similar en cada uno de los RCP 2.6, 4.5 y 8.5 pero en comparación con el presente tuvo un aumento la idoneidad del posible nicho ecológico en las regiones mencionadas a excepción del RCP 8.5 en el 2070, en esta proyección se identificó de color café con tendencia hacia amarillo cuando hay presencia de condiciones idóneas y los colores azul con tendencia a verde demostraron escasas condiciones ambientales (Figura 12).



**Figura 12.** Idoneidad de la distribución geográfica del caracol africano (*Achatina fulica*) para el laboratorio climático NorESM1-ME.

#### **4.2.2. Validación del modelo de distribución geográfica potencial del caracol africano**

La validación del modelo reveló que tuvo un rendimiento muy alto en los pronósticos, resultando que en la prueba Roc parcial el AUC fue de 1.73, por lo tanto la predicción demostró un alto rendimiento por ser mayor a 1, de lo contrario valores menores a 0.5 indicarían una deficiencia del rendimiento menor que las aleatorias. Asimismo, entre las métricas de evaluación del modelo el índice Kappa indicó que la certeza de predicción del modelo fue muy buena (84%). El TSS tuvo un resultado de 0,92, debido a que el resultado fue mayor a 0, la tasa de aciertos fue superior a los errores y cuanto más se acerque el resultado a 1 la diferencia entre la tasa de aciertos y errores será mucho mayor como se observa en la tabla 7.

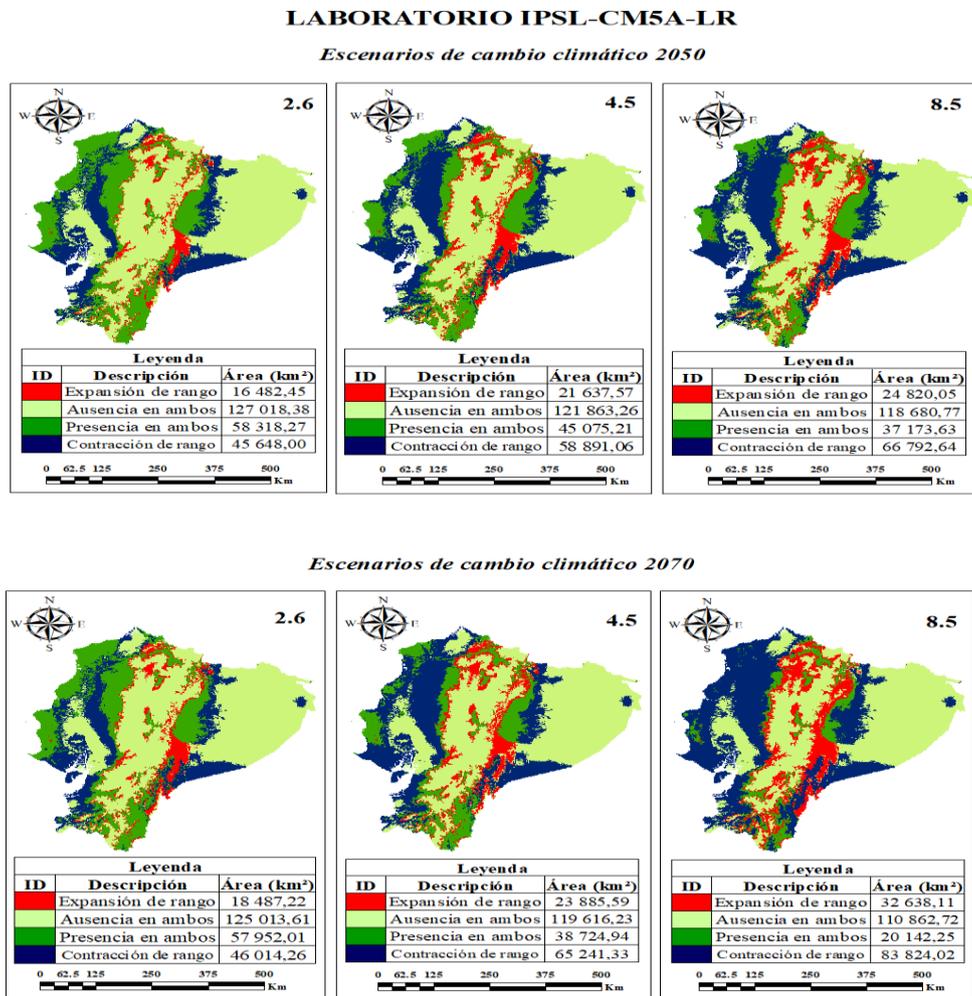
De igual importancia, la sensibilidad expresó que el 92% de los datos de presencia de la especie fueron correctamente pronosticados porque se encontraron dentro de las áreas predichas por el modelo. El error de omisión fue 0, en este caso no existió presencia de la especie fuera del área que predijo el modelo y, a su vez, la tasa de clasificación correcta manifestó que el 94% de los datos de presencia y ausencia empleados para la validación, fueron predichos correctamente. La probabilidad de éxito de este modelo fue del 92%.

**Tabla 7.** Validación del modelo de la especie exótica invasora caracol africano (*Achatina fulica*).

<b>Modelo de escenario de condiciones actuales</b>	<b>Roc parcial</b>	AUC 1,73 ± 0,07	<b>P</b>	< 0,001
	<b>Métricas para la evaluación de SDM</b>			
	<b>Kappa</b>	0,84	<b>Tasa de falso negativo</b>	0,078
	<b>TSS</b>	0,92	<b>Tasa de falso positivo</b>	0
	<b>Prevalencia</b>	0,78	<b>Especificidad</b>	1
	<b>Tasa de clasificación correcta</b>	0,94	<b>Sensibilidad</b>	0,92
	<b>Tasa de clasificación errónea</b>	0,06	<b>Error de omisión (fracción)</b>	0,08
	<b>Poder predictivo negativo</b>	0,79	<b>Error de comisión(fracción)</b>	0
	<b>Poder predictivo positivo</b>		1	
	<b>Prueba binomial</b>			
	<b>Probabilidad de éxito</b>	0,92	<b>Intervalo de confianza del 95%</b>	0,84 0,97

### 4.3. Escenarios de cambio climático con mayor riesgo de invasión del caracol africano en Ecuador

En el laboratorio IPSL-CM5A-LR la expansión de rango con condiciones ambientales adecuadas para la distribución de la especie en todos los escenarios fue en menor escala, sobresaliendo que en el RCP 8.5 en el escenario 2070 (Figura 13) el rango fue mayor, situada en la zona centro-norte y este de Ecuador continental con una extensión de 32 638,11 km<sup>2</sup> identificada con el color rojo y en el mismo escenario se identificó la mayor contracción del rango ubicada especialmente en la región Costa con un área de 83 824,02 km<sup>2</sup>.

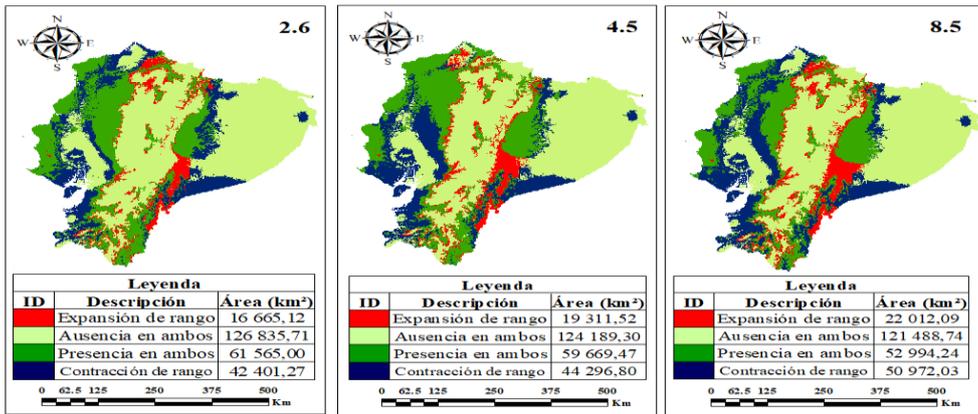


**Figura 13.** Reconocimiento de las áreas con condiciones ambientales ideales para la distribución potencial del caracol africano (*Achatina fulica*) en los escenarios de cambio climático del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR.

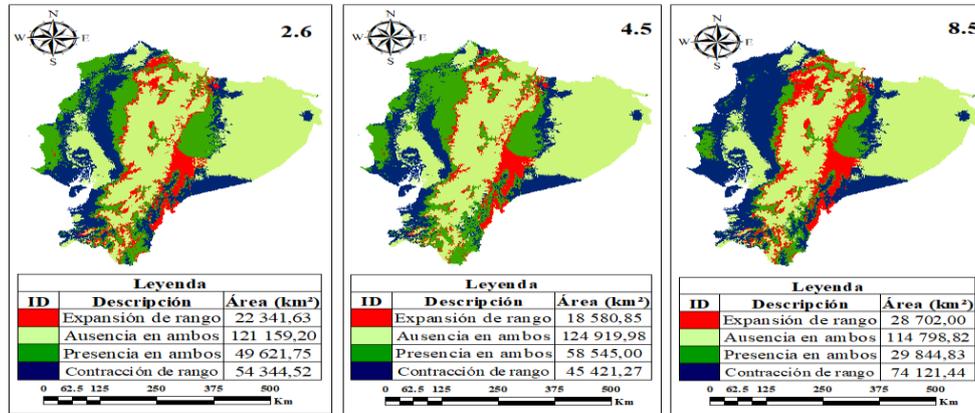
En el laboratorio MIROC-ESM la expansión de rango con condiciones ambientales ideales para la distribución de la especie en todos los escenarios se mantuvo en la zona centro-norte, destacándose el mayor valor en el RCP 8.5 en el escenario 2070, con un área de 28 702 km<sup>2</sup> (Figura 14) identificada con el color rojo y en el mismo escenario se observó la mayor contracción del rango ubicada especialmente en la región Costa con un área de 74 121,44 km<sup>2</sup> identificada con el color azul.

**LABORATORIO MIROC-ESM**

*Escenarios de cambio climático 2050*



*Escenarios de cambio climático 2070*

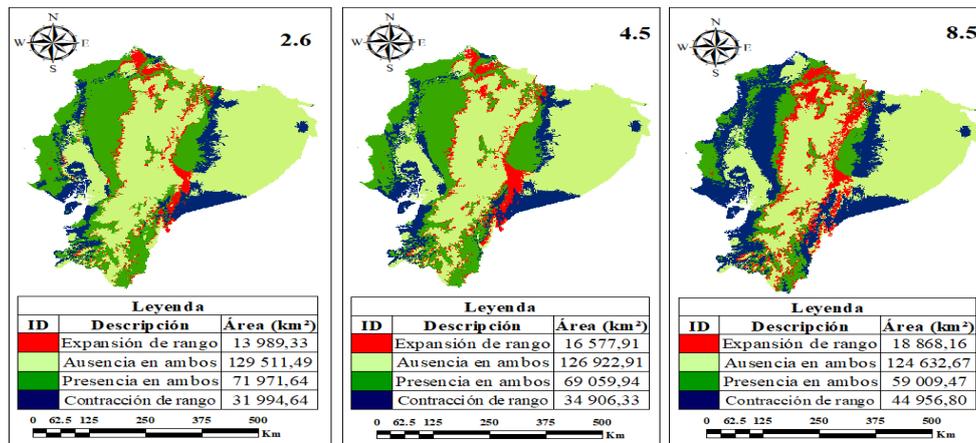


**Figura 14.** Establecimiento de las áreas con condiciones ambientales ideales para la distribución potencial del caracol africano (*Achatina fulica*) en los escenarios de cambio climático del laboratorio MIROC-ESM.

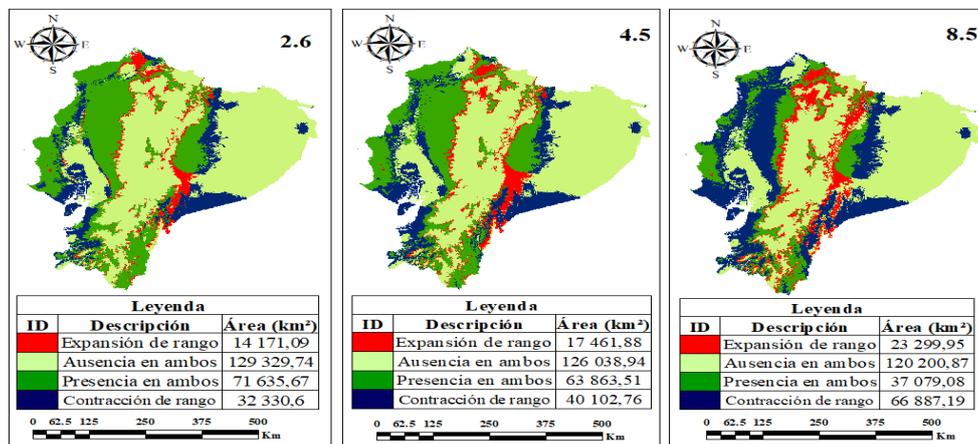
El laboratorio GISS-E2-R pronostico que la expansión de rango con condiciones ambientales idóneas para la distribución de la especie en todos los escenarios se mantuvo en la zona centro-norte del país, destacándose el mayor valor en el RCP 8.5 en el escenario 2070 con un área de 23 299,95 km<sup>2</sup> (Figura 15) identificada con el color rojo y en el mismo escenario se observó la mayor contracción del rango ubicada especialmente en la región Costa con un área de 66 887,19 km<sup>2</sup> identificada con el color azul.

### LABORATORIO GISS-E2-R

#### Escenarios de cambio climático 2050



#### Escenarios de cambio climático 2070

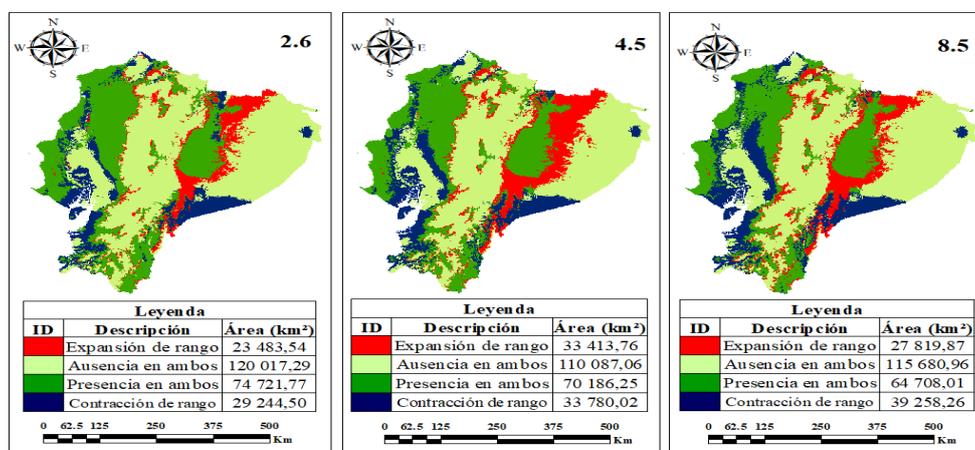


**Figura 15.** Identificación de áreas que presentan condiciones ambientales idoneas para la distribución potencial del caracol africano (*Achatina fulica*) en los escenarios de cambio climático del laboratorio climático GISS-E2-R.

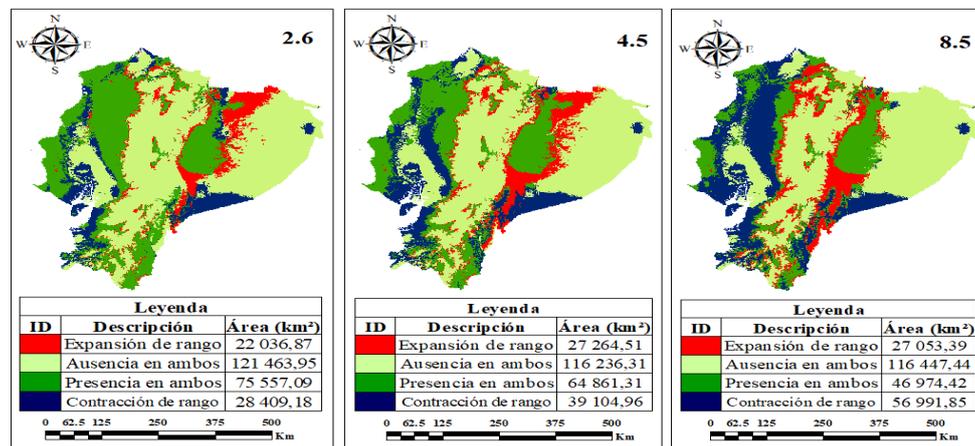
Los resultados del laboratorio NorESM1-ME en los diferentes escenarios de cambio climático demostraron que la mayor expansión de las condiciones ambientales favorables para la especie se determinó en el RCP 4.5 para el 2050, con un área de expansión de 33 413,76 km<sup>2</sup> identificada con el color rojo y se concentró en la región Amazónica, además la mayor contracción del rango se localizó en el escenario de cambio climático para el año 2070 en el RCP de 8.5 situada la mayor parte en la zona norte de la región Costa 56 991,85 km<sup>2</sup> como se observa en la figura 16.

### LABORATORIO NorESM1-ME

#### Escenarios de cambio climático 2050



#### Escenarios de cambio climático 2070



**Figura 16.** Identificación de áreas que presentan condiciones ambientales idóneas para la distribución potencial del caracol africano (*Achatina fulica*) en los escenarios de cambio climático del laboratorio climático NorESM1-ME.

### **4.3.1. Variación de la extensión geográfica de condiciones adecuadas para la distribución potencial del caracol africano ante escenarios de cambio climático**

En el laboratorio IPSL-CM5A-LR en el presente, la región con mayor idoneidad para la distribución de *Achatina fulica* fue la región Costa con 62 505 km<sup>2</sup>, seguido de la Amazonía con una extensión de 41 015 km<sup>2</sup> y la región Sierra con un área de 17 944 km<sup>2</sup> (Figura 17A). En escenarios futuros la región más óptima para la especie fue la Amazonía, resaltando que el RCP 2.6 en el 2050 con 33 772 km<sup>2</sup> fue el valor más alto, pero inferior al presente. En cambio, en la Sierra los valores se extendieron en el RCP 8.5 2070 con 27 152 km<sup>2</sup>.

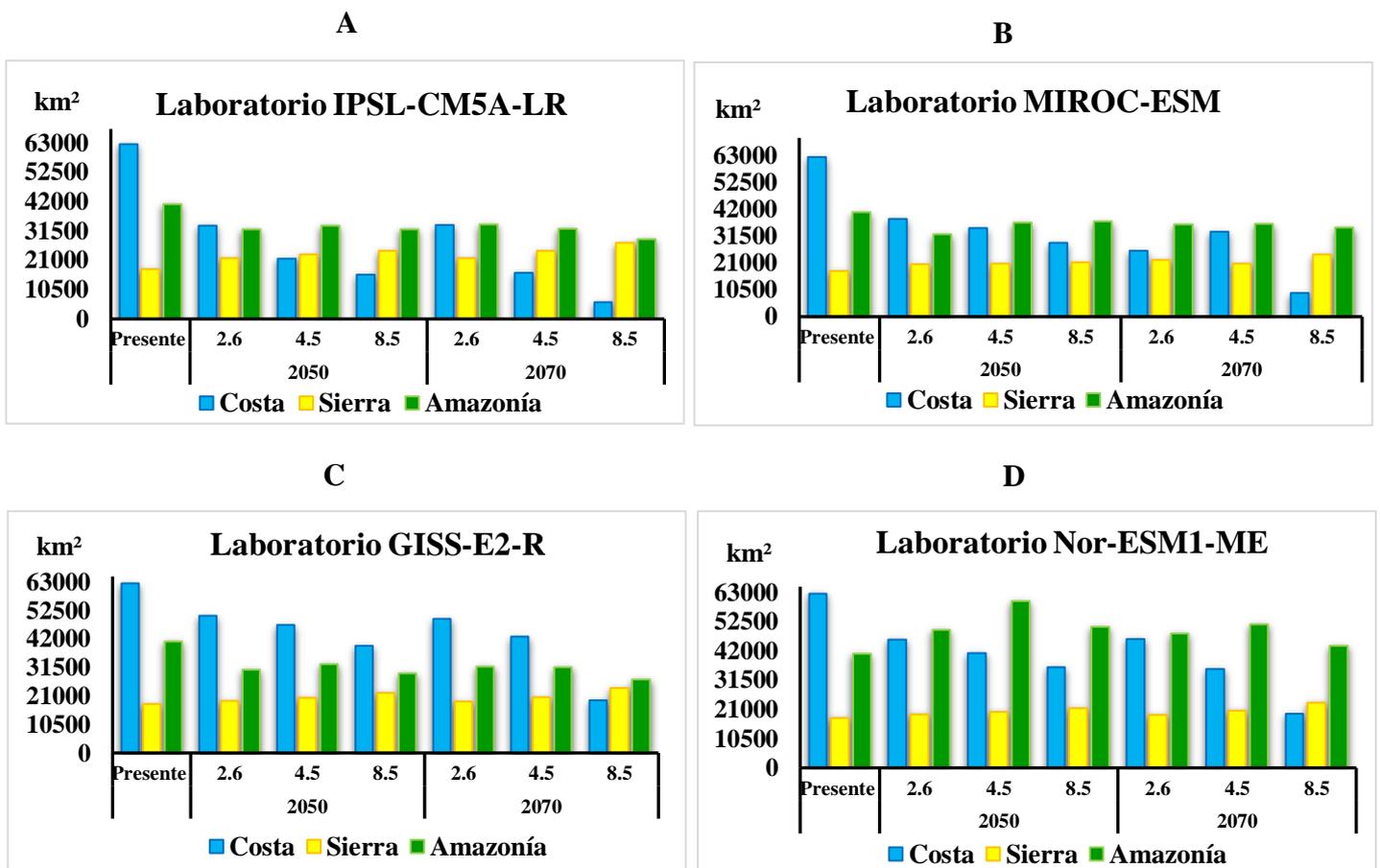
Los resultados para el laboratorio MIROC-ESM demostraron que en comparación al presente en los escenarios futuros 2050 y 2070, presentaron una disminución notable, especialmente en la región Costa en RCP 8.5-2070 (9264 km<sup>2</sup>) y en la Amazonía en RCP 2.6-2050 (32400 km<sup>2</sup>), resaltando que esta última región tuvo más idoneidad que las demás. En cambio, la región Sierra en todos los escenarios supero al presente, principalmente en el RCP 8.5-2070 con un área de 24289 km<sup>2</sup> (Figura 17B).

Mientras que en el laboratorio GISS-E2-R la tendencia se mantuvo, en el presente la región Costa (62505 km<sup>2</sup>) tuvo mayor área de condiciones óptimas para *Achatina fulica* seguido de la Amazonía (41 015 km<sup>2</sup>) y la región Sierra (17944 km<sup>2</sup>). En condiciones futuras, la región Costa presentó una idoneidad superior que las demás regiones, sobresaliendo el valor más alto de 50578 km<sup>2</sup> en el RCP 2.6 2050 y 49 440 km<sup>2</sup> en el 2070, pero se mantuvo menor al presente, asimismo, la Amazonía presentó mayor idoneidad en el RCP 4.5 2050 y la región Sierra superó ligeramente los valores del presente en todos los escenarios de cambio climático principalmente en el RCP 8.5 (Figura 17C).

De la misma forma, en el laboratorio Nor-ESM1-ME la región con mayores condiciones ambientales favorables en el presente fue la región Costa (62505 km<sup>2</sup>) y en los escenarios futuros las condiciones óptimas en relación al presente, fueron mayores en la Amazonía destacando el RCP 4.5 con 59 942 km<sup>2</sup> en el 2050 y en la Sierra el RCP 8.5 con 23 338

km<sup>2</sup> en el 2070. Mientras que en la Costa la probabilidad de distribución para la especie fue mucho menor (Figura 17D).

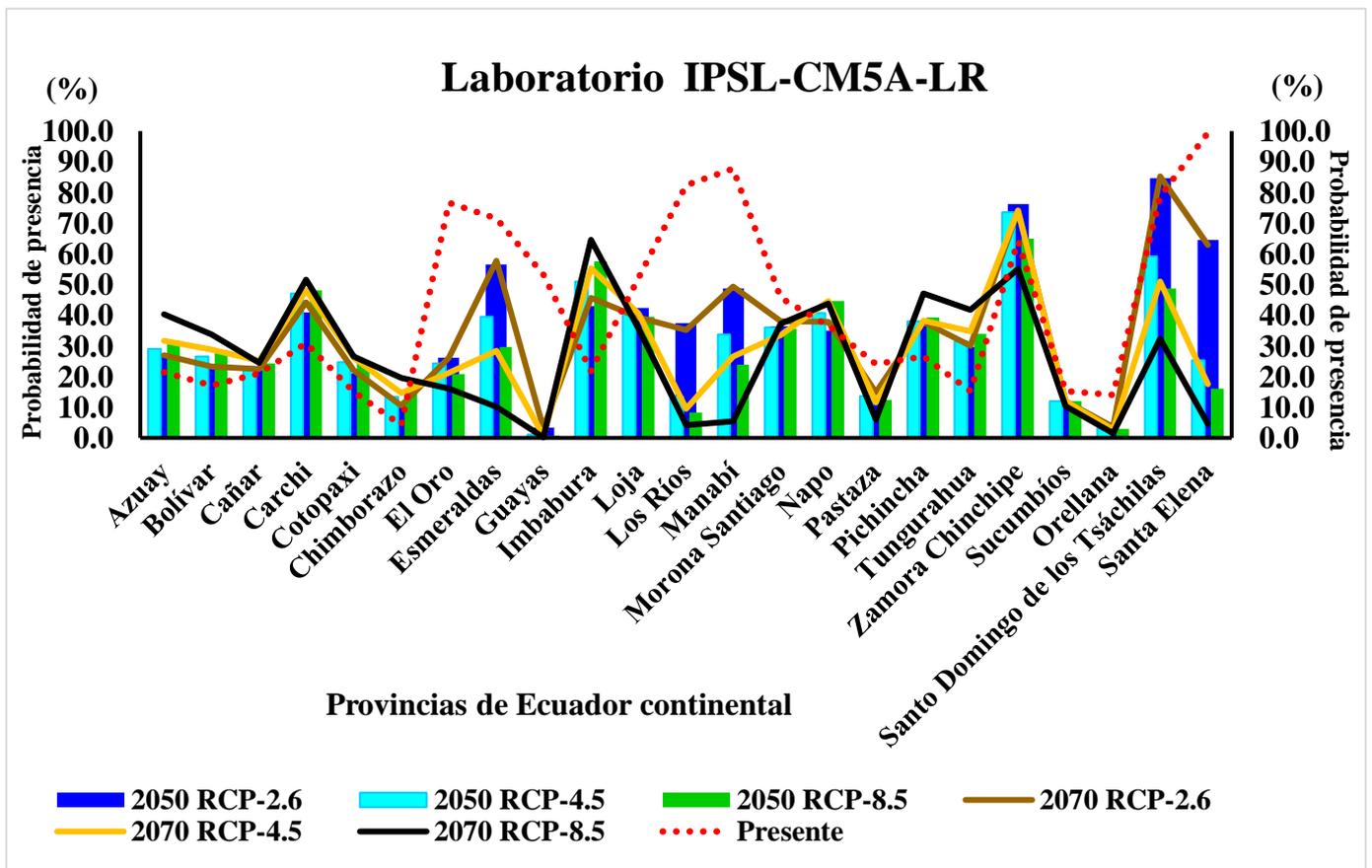
Tres de los laboratorios climáticos concordaron en los pronósticos hacia el futuro, en el que la región con mayor extensión territorial idónea para *Achatina fulica* en la mayoría de escenarios fue la Amazonía y a la vez la región Costa presentó una disminución en relación al presente en donde fue la más apropiada para la distribución de la especie, en cambio en la región Sierra ocurrió un ligero incremento en comparación al presente.



**Figura 17.** Condiciones ambientales favorables para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las regiones de Ecuador continental pronosticadas por los laboratorios climáticos.

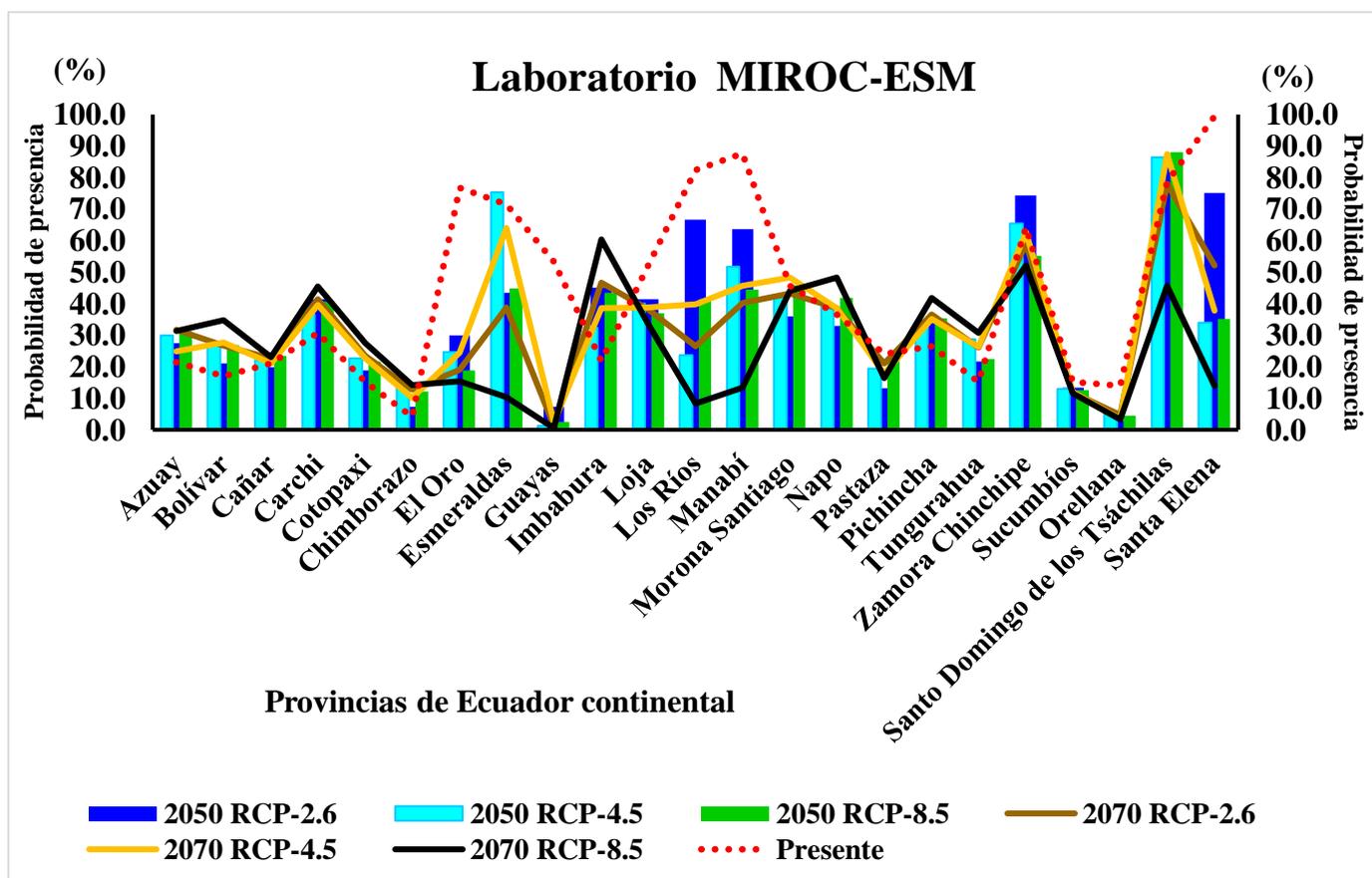
### 4.3.2. Identificación de áreas con riesgo de invasión del caracol africano en las provincias y en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador

El laboratorio climático IPSL-CM5A-LR en condiciones actuales (línea punteada de color rojo) tuvo resultados superiores a los demás escenarios, principalmente en provincias de la Costa. En relación a escenarios futuros, el RCP que presentó más idoneidad para la especie fue en el RCP 2.6 en el 2050 (barra de color azul) y de igual manera en el 2070 (línea café) con resultados mayores a los demás, en el 2070 los RCP 4.5 (línea amarilla) y 8.5 (línea negra) tuvieron valores representativos pero con menor susceptibilidad para la distribución de la especie (Figura 18; ver Anexo 3 extensiones de cada escenario).



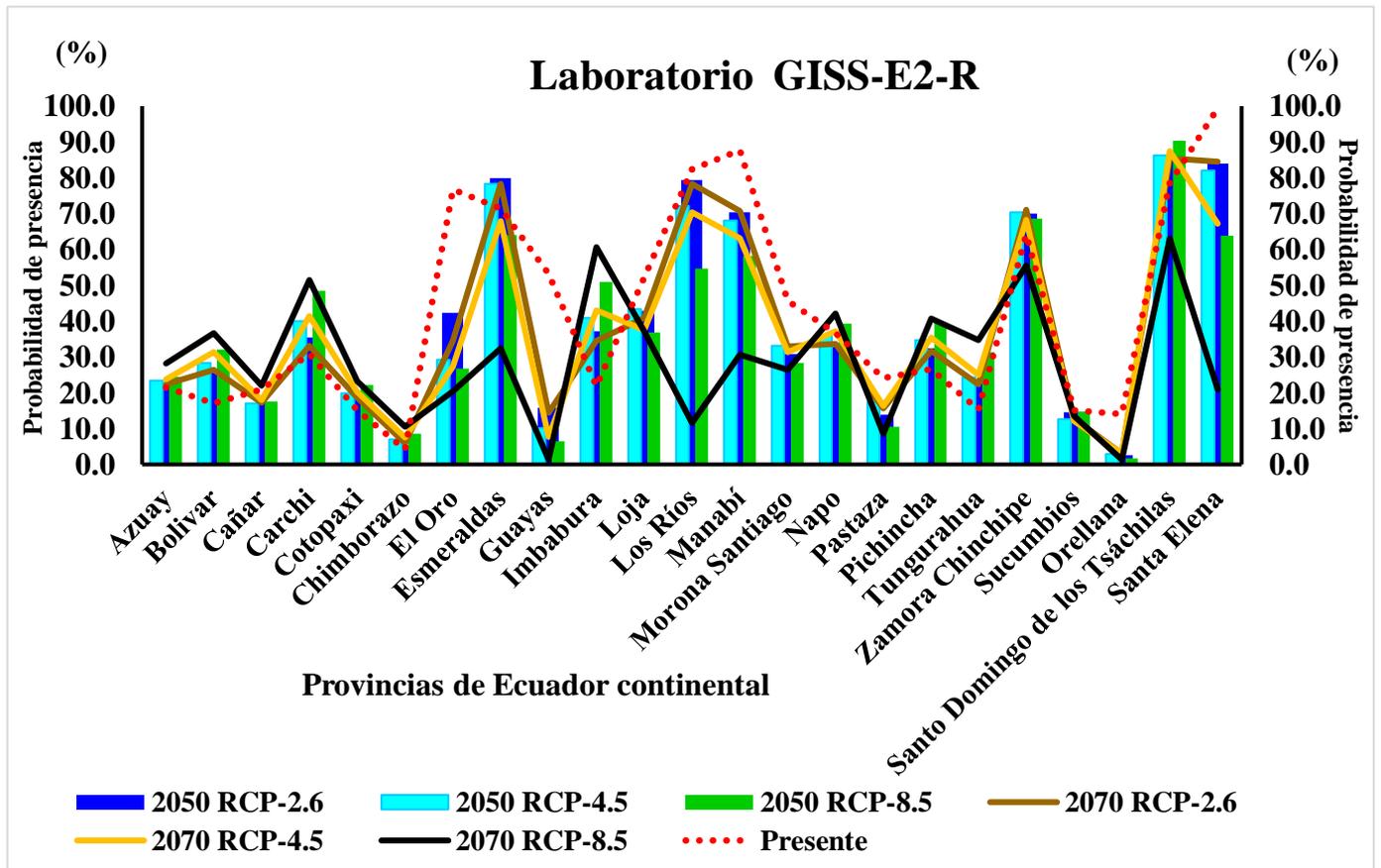
**Figura 18.** Variabilidad de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las provincias de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Laboratorio climático IPSL-CM5A-LR.

De igual forma, en el laboratorio climático MIROC-ESM el presente sobrepasa a los demás escenarios con valores máximos (línea punteada de color rojo), en cuanto a escenarios 2050, los resultados mayores se obtuvieron en el RCP 2.6 (barra de color azul) y 4.5 (barra de color celeste), al igual que en escenarios 2070 resultaron los RCP 2.6 (línea café) y 4.5 (línea amarilla), siendo los más propensos para la propagación de *Achatina fulica* en la mayoría de provincias (Figura 19).



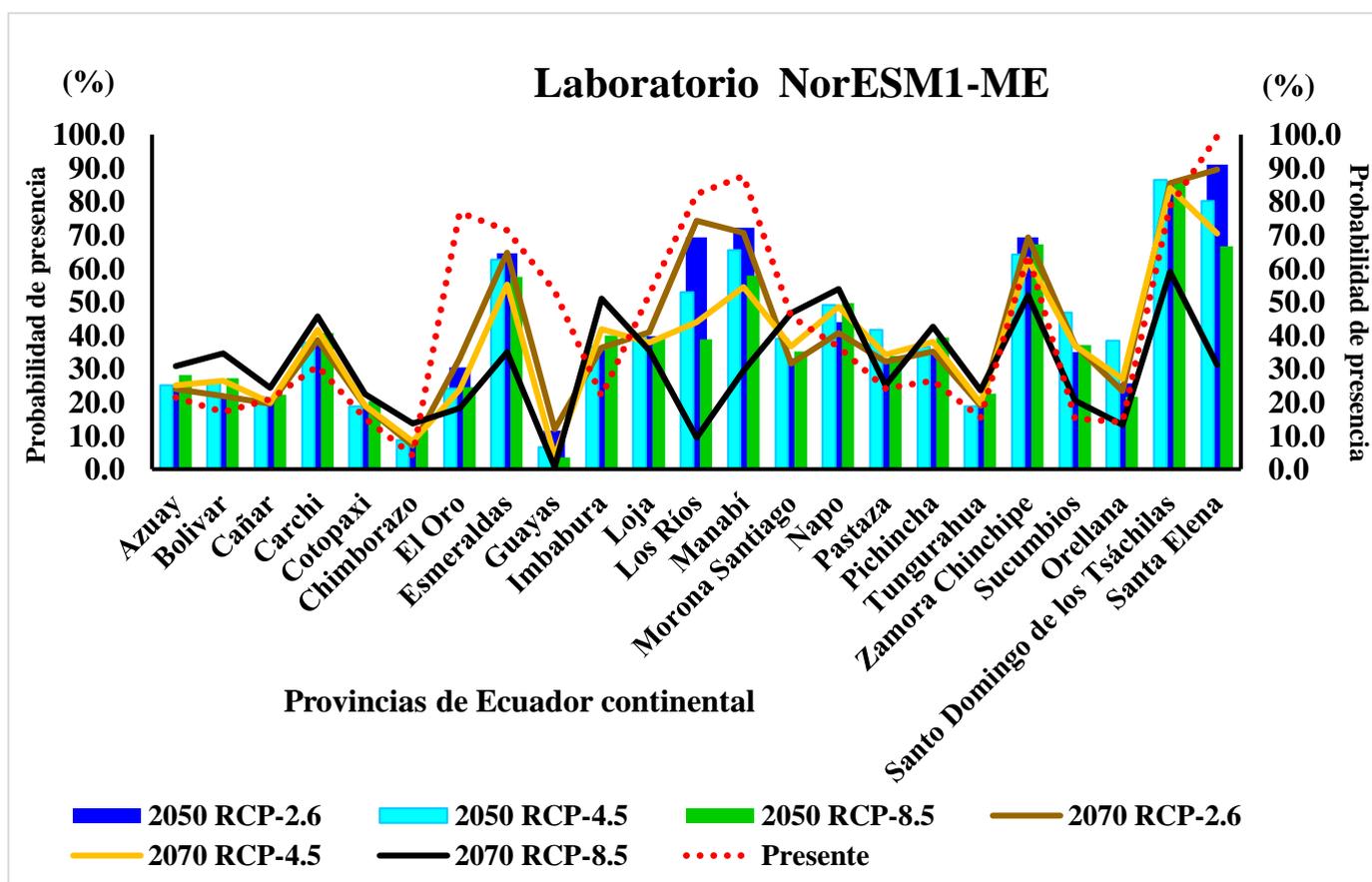
**Figura 19.** Variabilidad de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las provincias de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Laboratorio climático MIROC-ESM.

En el laboratorio climático GISS-E2-R existió variabilidad entre escenarios, los mayores registros resultaron en condiciones actuales (línea punteada roja), sin embargo la mayoría de escenarios futuros presento posibilidades de presencia de la especie con respecto al presente. Resaltando en el 2050 los RCP 2.6 (barras azules) y 4.5 (barras celestes) más susceptibles, igualmente, se mantuvieron los escenarios más idóneos para la especie en los RCP 2.6 (línea café) y 8.5 (línea negra) del 2070 como lo demuestra la figura 20.



**Figura 20.** Variabilidad de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las provincias de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Laboratorio climático GISS-E2-R.

De igual forma, en el laboratorio climático NorESM1-ME se mantuvo la tendencia, los resultados más altos los registró el presente (línea punteada roja) y comparado con escenarios futuros, los más susceptibles para la especie en la mayoría de provincias fue en escenarios 2050 en los RCP 2.6 (barras de color azul) y 4.5 (barras de color verde), como también, en el RCP 2.6 de escenarios 2070 (línea café), además, en el RCP 8.5 tuvo resultados representativos pero en general con menor idoneidad como lo demuestra la figura 21.



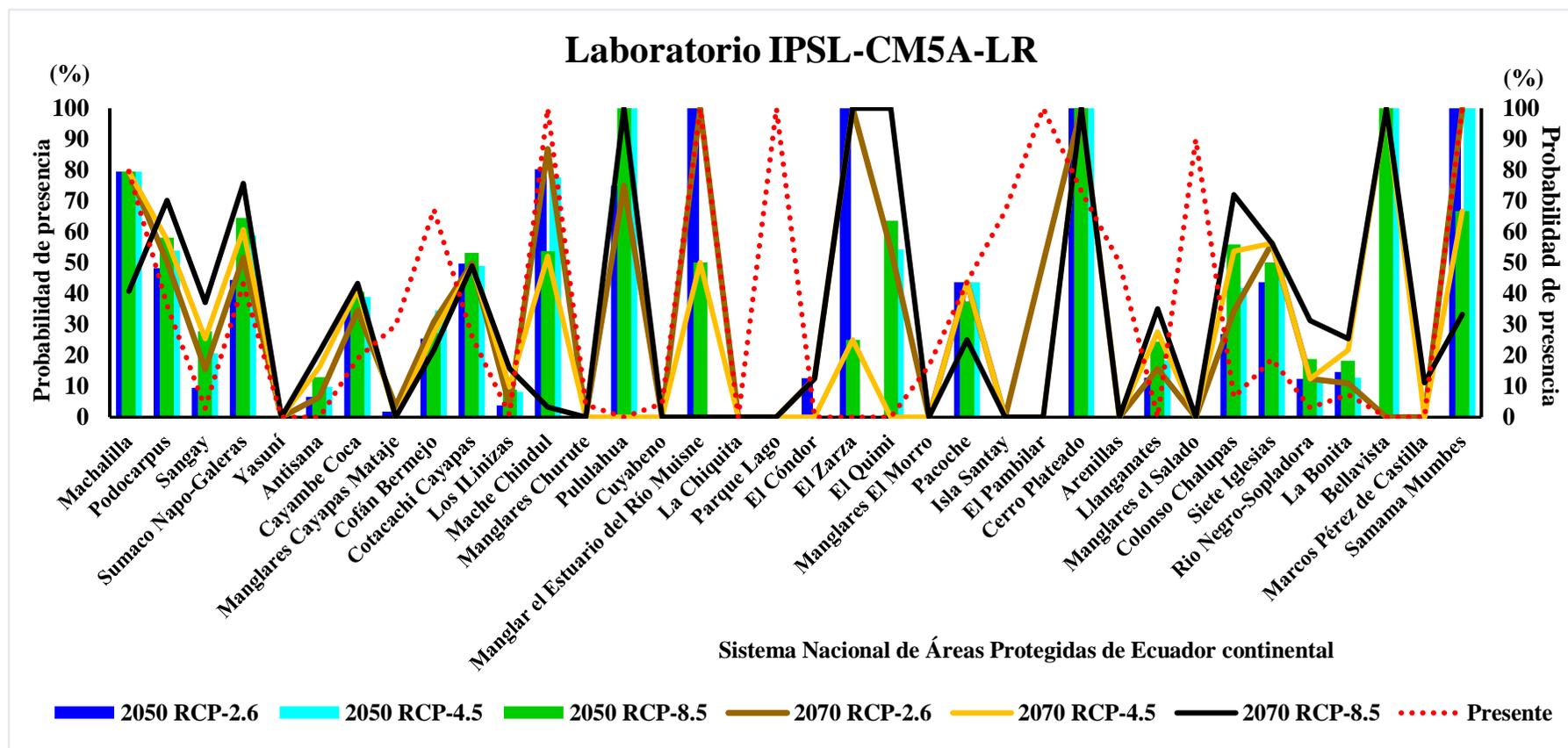
**Figura 21.** Variabilidad de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las provincias de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Laboratorio climático NorESM1-ME.

De la misma manera, se procedió con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas , el pronóstico del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR presentó irregularidad en los resultados, se observó tanto en el presente (línea punteada roja) como en escenarios futuros, que ciertas áreas protegidas obtuvieron el 100% siendo aptas para la especie, primordialmente en el RCP 8.5 (barra verde) del escenario 2050 y en el RCP 2.6 del 2070, además, existieron áreas protegidas que no fueron idóneas para la especie con resultados de 0% en algunos de los escenarios de cambio climático. Esto demostró que en el futuro la probabilidad de expansión disminuyó en las áreas protegidas (Figura 22).

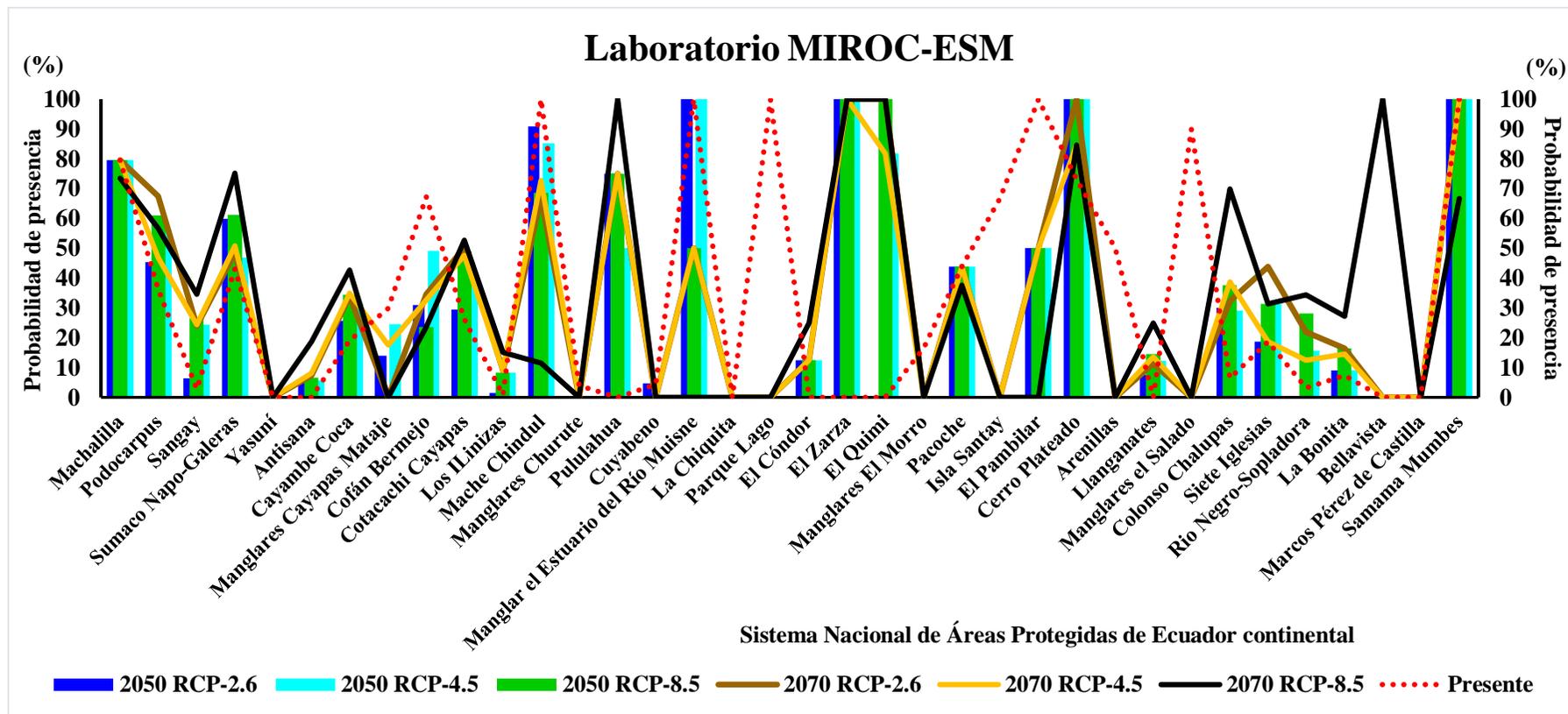
Asimismo, el laboratorio climático MIROC-ESM tuvo valores representativos en el presente (línea punteada roja) que superó a los demás escenarios futuros, pero en la mayoría de escenarios el más crítico fue en el 2050 el RCP 4.5 (barra celeste) y en el 2070 resaltando el RCP 8.5 (línea negra), que mantuvo su tendencia en ser superior a la mayoría de escenarios futuros (Figura 23) y en este caso también se presentaron áreas protegidas que no tuvieron idoneidad (0%) en alguno de los escenarios establecidos.

El laboratorio climático GISS-E2-R presentó resultados variados en los diferentes escenarios de cambio climático, en el presente (línea punteada roja) existieron registros con el máximo porcentaje y coincidieron con los escenarios 2050, sobresaliendo el RCP 4.5 (barras celestes) y en el 2070 el RCP 8.5 (línea negra), siendo constante en la mayoría de áreas protegidas con valores superiores a los demás escenarios. Sin embargo, en ciertas ocasiones no se presentaron resultados en escenarios de cambio climático presente y futuro (Figura 24).

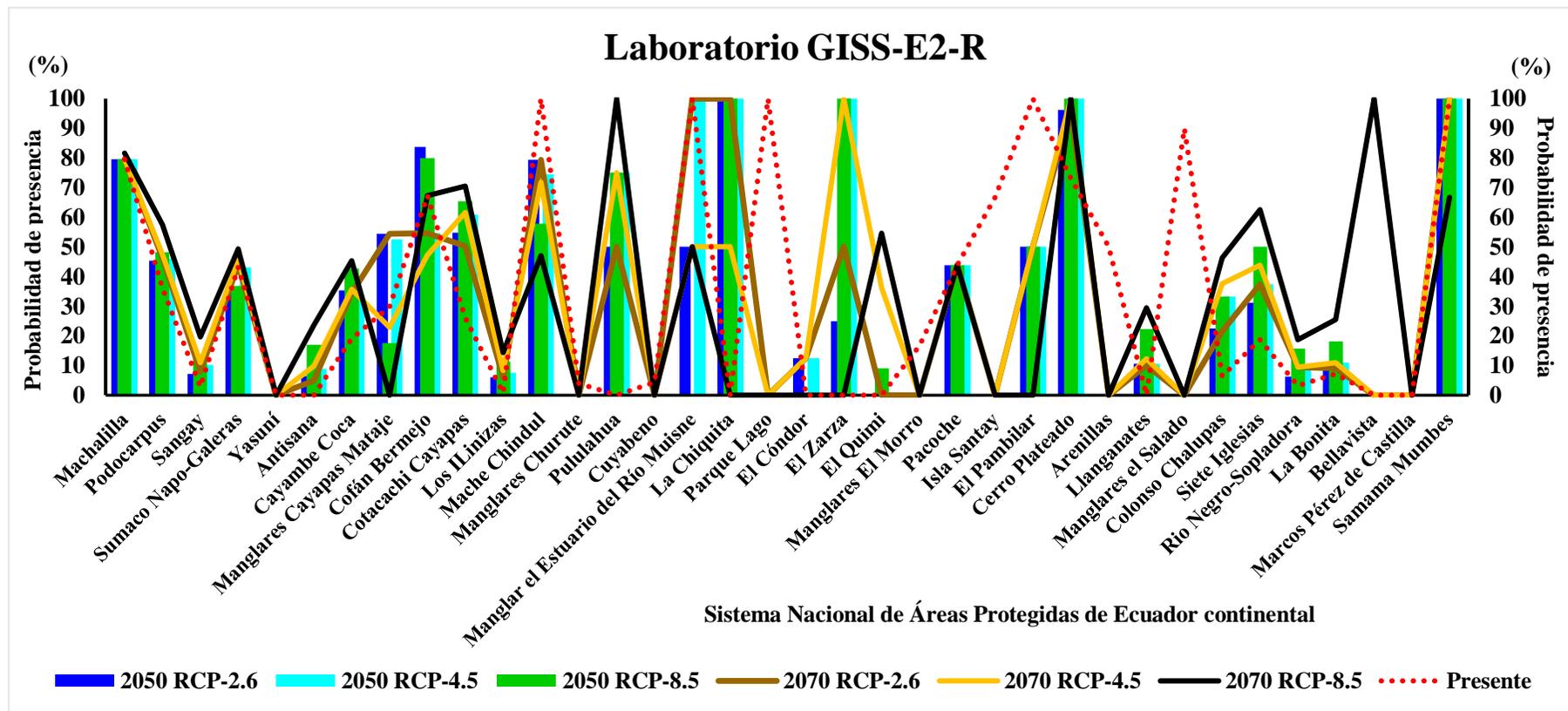
Por otra parte en el laboratorio climático NorESM1-ME se observó que el presente (línea punteada roja) tuvo resultados con el máximo porcentaje al igual que en el RCP 8.5 de escenarios 2050 (representado en barras verdes), en los que predominaron valores altos y en escenarios 2070, el resultado más representativo fue en el RCP 8.5 (línea negra) con mayor susceptibilidad. Al igual que los otros laboratorios, en este caso se presentaron zonas que no tuvieron resultados en alguno de los escenarios (Figura 25).



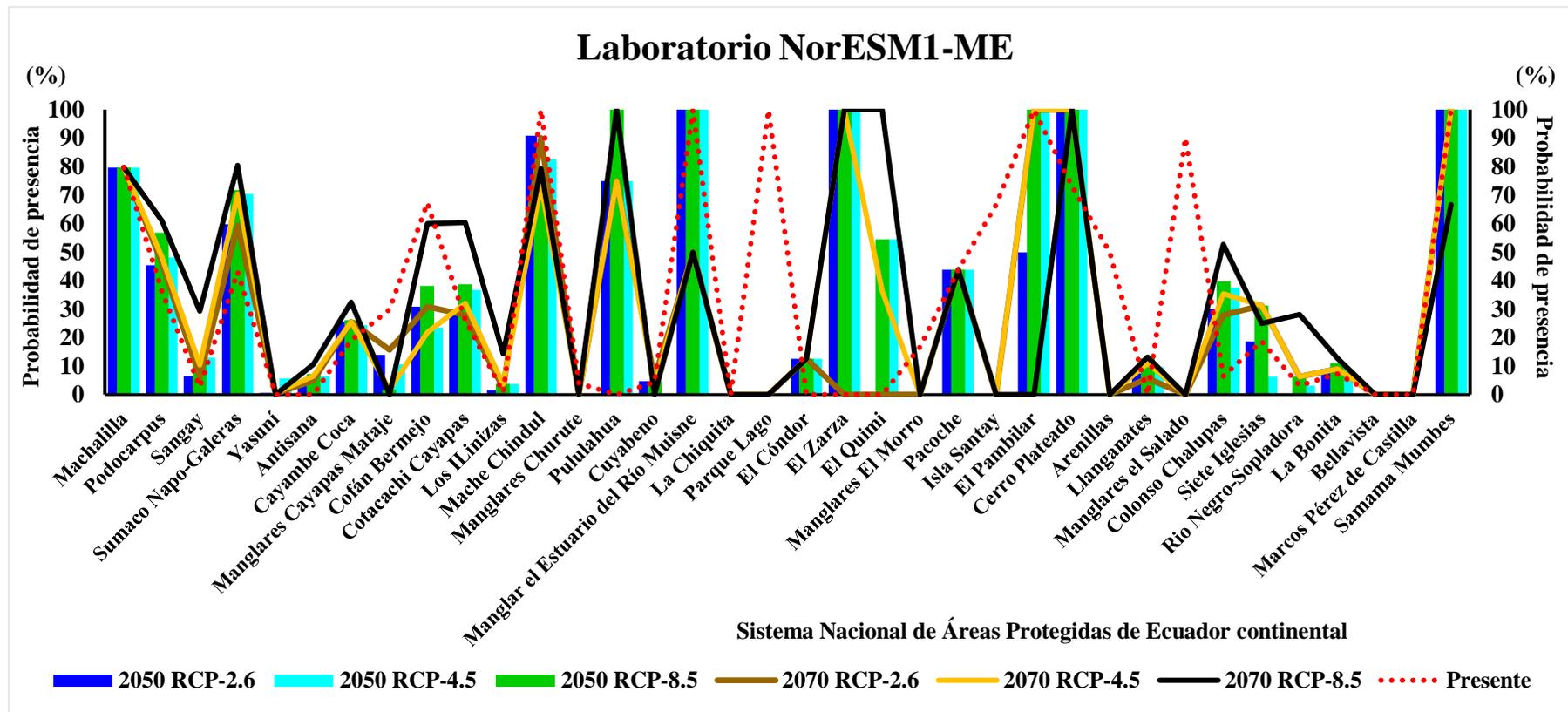
**Figura 22.** Porcentaje de la extensión territorial con condiciones adecuadas para el caracol africano (*Achatina fulica*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR.



**Figura 23.** Porcentaje de la extensión territorial con condiciones adecuadas para el caracol africano (*Achatina fulica*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático MIROC-ESM.



**Figura 24.** Porcentaje de la extensión territorial con condiciones adecuadas para el caracol africano (*Achatina fulica*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático GISS-E2-R.



**Figura 25.** Porcentaje de la extensión territorial con condiciones adecuadas para el caracol africano (*Achatina fulica*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático NorESM1-ME.

#### 4.4. Discusión

De acuerdo a la base de datos mundial de especies invasoras, *Achatina fulica* es la segunda peor especie exótica invasora del mundo. En la actualidad ha invadido con un impacto particular las regiones tropicales y subtropicales de América del Sur (108), expandiéndose por la zona ecuatorial. La distribución geográfica potencial de *Achatina fulica* en Ecuador continental es de gran intensidad. Las zonas más propensas a la invasión son las que presentan climas tropicales, semiáridos cálidos y templados, particularmente las provincias de la región Costa son más susceptibles climáticamente para la especie, lo que concuerda con previas investigaciones análogas, donde reflejaron que efectivamente la mayor afectación se viene desarrollando en la región Costa, coincidiendo las mismas provincias con mayor invasión como lo demuestra en el 2009 Correoso y Coello (15) y Borrero *et al.* (14).

Esta investigación demostró que nuevas áreas actualmente son propensas a invasión y no únicamente en un futuro será afectada la Costa (16). En la Amazonía se evidenció una expansión de idoneidad considerable, mucho más de lo que se creía, lo que concuerda con los pronósticos en el 2016 de Goldyn *et al.* (17), en que las provincias de la Amazonía fueron infestadas en gran extensión. En la región Sierra, los sitios con presencia fueron en la zona limítrofe con la región Costa, lo que contrasta con lo que menciona en el 2013 Vloger *et al.* (16), donde manifiesta que la distribución de la especie solo se daría en la zona oeste del país.

En la región Sierra, *Achatina fulica* puede llegar a adaptarse climáticamente. Estuvo presente en diez provincias de la región, coincidiendo con la investigación del 2016 de Goldyn *et al.* (17), que presentaron registros en esta misma zona con una altitud por debajo de los 2 500 m.s.n.m. en la parte andina del país, con probabilidades muy bajas de expansión, demostrando que la altitud es el principal factor limitante para la reproducción de *Achatina fulica* en el Ecuador. Probablemente, esto se debe a las bajas temperaturas que son típicas de las altas elevaciones.

Es por ello que dentro de este estudio se consideró las variables climáticas de temperatura del mes más cálido, precipitación anual y del trimestre más lluvioso, por tener mayor influencia para especie. De acuerdo a su ecología las condiciones climáticas favorables son zonas húmedas, con presencia de precipitación y temperaturas cálidas, contribuyendo a que tengan mayor actividad (14). En la India se desarrolló un estudio similar de modelación, en donde

coincide que la especie prefirió la Costa del país para propagarse, indudablemente por las características climáticas que requiere *Achatina fulica* la Costa es un punto de invasión. Los resultados muestran que la mayor parte del riesgo de invasión se da en las regiones con altas precipitaciones y clima cálido. Las regiones con frío y calor extremos son menos vulnerables a la invasión tanto en el escenario climático actual como en el futuro (89).

Se identificó por regiones cual fue la más propensa a invasión, sin duda en condiciones actuales la mejor zona para la especie fue la Costa con una extensión de 62 505 km<sup>2</sup>, la Amazonía presentó un total de 41 015 km<sup>2</sup> y la Sierra 17 944 km<sup>2</sup>. Los pronósticos hacia el futuro demostraron que la región con mayor susceptibilidad para *Achatina fulica* en la mayoría de escenarios fue la Amazonía principalmente en el RCP 4.5 con una extensión de 59 942 km<sup>2</sup> que superó a las condiciones actuales y a la vez la región Costa presentó una disminución en relación al presente.

La mayor extensión de presencia pronosticada por los laboratorios climáticos resultó en el RCP 2.6-2070 de los escenarios de cambio climático con un valor máximo de 75 557 km<sup>2</sup> y a su vez la mayor contracción de rango con presencia de la especie fue en los RCP 4.5 y 8.5, resaltando la máxima en el RCP 4.5-2050 con un total de 33 413 km<sup>2</sup>. El laboratorio que predijo la mayor cantidad de extensión con probabilidad de invasión en todos los escenarios fue el NorESM1-ME.

Las especies pueden responder al cambio climático adaptándose a las condiciones ambientales cambiantes, desplazando su nicho, expandiéndose a zonas más nuevas o, en el peor de los casos, extinguiéndose si son incapaces de adaptarse (109). Los modelos de nicho pueden ser útiles para predecir la distribución de las especies en relación con el cambio climático, ya que pueden ocasionar efectos drásticos, no sólo en la biodiversidad sino también a los seres humanos (110).

En este caso, *Achatina fulica* es un riesgo para biodiversidad, ecosistemas nativos, zonas agrícolas y en la salud humana en general (111). En los seres humanos es una amenaza por ser considerado hospedero intermediario de *Angiostrongylus cantonensis*, estudios del 2014 al 2017 de Solórzano *et al.* (112), corroboraron que el parásito está ampliamente distribuido en Ecuador y constituye un serio problema para la salud pública, por ser el principal transmisor de meningitis eosinofílica. Las personas y mamíferos se infectan directa e indirectamente al

manipular o ingerir caracoles crudos o por alimentos contaminados por el parásito (113). Se encontraron resultados positivos con una prevalencia del 15.2% en 15 provincias del país (112).

La modelización permitió tener deducciones integrales de Ecuador continental, demostraron que al aumentar la temperatura entre escenarios por efectos del cambio climático la especie puede reducirse en escenarios más críticos y desplazarse a zonas con condiciones climáticas más favorables. De la misma forma, este estudio permitió identificar qué áreas de conservación fueron afectadas por *Achatina fulica*, particularmente las áreas protegidas son vulnerables a invasión, en pequeña y gran escala presentaron idoneidad de nicho ecológico para la especie en 36 áreas del SNAP, poniendo en riesgo la biodiversidad del país.

Los modelos contribuyen a generar medidas de gestión preventivas, con la finalidad de disminuir y controlar la propagación de especies exóticas invasoras en un futuro, priorizando las áreas de conservación. El Ministerio de Ambiente y Agua de Ecuador en el 2019 propuso un Plan de Acción decenal para la prevención, manejo y control de las especies exóticas, con la finalidad de aplicar estrategias que subsanen la problemática del país en un futuro.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

- Las mejores condiciones ambientales para *Achatina fulica* en los sitios de presencia identificados en Ecuador continental fueron las zonas con climas tropicales, semiáridos cálidos y oceánicos templados. Las condiciones climáticas más apropiadas para el caracol africano se presentaron en la región Costa. Además, la temperatura anual en las zonas con presencia de la especie osciló entre 12,60°C a 26°C, en la temperatura del mes más cálido fue entre 19,20°C a 32,30°C y la precipitación anual varió de 147mm a 4477mm, siendo factores de importancia para la propagación de la especie considerando que tiene un amplio rango de tolerancia, puede estar presente en sitios muy húmedos o sitios con escasas de precipitaciones dentro de su rango de distribución.
- El centroide del nicho climático conocido de *Achatina fulica* tuvo mayor influencia de la precipitación anual y la temperatura máxima del mes más cálido. Esta especie se presentó en una amplitud de condiciones climáticas. En el espacio ambiental las regiones Costa y Amazonía mostraron mayor dispersión en la distribución y en comparación a la región Sierra fue en menor cantidad, siendo poco favorable para la especie. Además, la modelación permitió identificar que el área actual con condiciones ambientales favorables tuvo una extensión de 121 747km<sup>2</sup>, con mayor predominio en la región Costa y Amazonía, manteniéndose en el futuro la mayor probabilidad en la Amazonía.
- El escenario de cambio climático con mayor riesgo de invasión por el caracol africano en Ecuador fue el RCP 2.6. Posteriormente, en los demás escenarios se va reduciendo la probabilidad de presencia de la especie al aumentar la temperatura entre los RCP, sobretodo la mayor contracción de rango fue en los RCP 8.5. En escenarios del 2050 la distribución se redujo en un 21% y en escenarios 2070 un 29%, en relación a las condiciones actuales. Además, se determinó que la región Costa en condiciones presentes sería la más afectada y en escenarios futuros la mayor probabilidad de invasión se presentaría en la Amazonía. Las predicciones de los laboratorios climáticos concordaron en que las provincias más idóneas climáticamente para la especie serían Santo Domingo de los Tsáchilas, Santa Elena, Manabí, Los Ríos y Zamora Chinchipe. En cuanto a las áreas protegidas más susceptibles climáticamente serían Macho Chindul, Samama Mumbes, Cerro Plateado y Pululahua.

## 5.2. Recomendaciones

- La Autoridad Ambiental Nacional debería considerar estudios que contribuyen a la problemática de invasión de especies exóticas e intercambiar información para obtener mejores resultados al aplicar un plan de acción, ya que en este estudio se han identificado las zonas más perjudicadas que necesitan mecanismos de control.
- Actualizar la información del Sistema Nacional de Áreas protegidas y páginas web oficiales que contengan información del país, con la finalidad de tener una mejor organización y difusión de información que contribuyan a realizar investigaciones como es el caso de la modelización de nicho ecológico que requiere este tipo de información.
- Desarrollar un sistema de gestión para controlar las especies exóticas invasoras existentes en el SNAP, hasta el momento solo dos áreas protegidas cuentan con métodos de gestión para especies exóticas, además, es importante desarrollar un listado oficial actualizado de las especies que están dentro de las áreas de conservación para aplicar mecanismo y disminuir su impacto para preservar la biodiversidad.

**CAPÍTULO VI**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## Bibliografía

1. Gutiérrez F. Estado de conocimiento de especies invasoras. Propuesta de lineamientos para el control de los impactos Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; 2006.
2. Caughley G. Analysis of vertebrate populations. Jhon Wiley y Sons. 1977;; p. 234.
3. UICN. 100 de las especies exóticas más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species data base. [Informe].: Grupo de especies invasoras(GEI); 2004.
4. Clavero M, García E. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. Trends in Ecology and Evolution. 2005; 20(3): p. 110.
5. Capdevila L, Iglesias , Orueta JF, Zilletti. ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo.; 2006.
6. Capdevila L, Zilletti B, Suárez VA. Cambio Climático y Especies Invasoras en España.; 2011.
7. Gallardo , Capdevila L. Cambio Climático y Especies Exóticas Invasoras en la Red de Parques Nacionales: diagnóstico, adaptación y gobernanza. ResearchGate. 2018;; p. 2-52.
8. Raut S, Barker G. Achatina fulica Bowdich and other Achatinidae as Pests in Tropical Agriculture. En Molluscs as Crop Pests.: G. M. Barker; 2002. p. 55-114.
9. Prasad GS, Singh DR, Senani S, Medhi R. Ecofriendly way to keep away pestiferous Giant African Snail, Achatina fulica Bowdich from nursery. Global Invasive Species Database. Current Science. 2004; 87(12): p. 1657-1659.
10. Martínez R, Martínez R, Castillo O, Ruiz L. Distribución geográfica de Achatina (Lissachatina) fulica (Bowdich, 1822) (Gastropoda-Stylommatophora Acahtinidae) en Venezuela. Memoria Fundación La Salle de Ciencias Naturales. 2008; 169: p. 93-106.
11. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza(UICN). Impact of nature's invading aliens measured for first time.; 2010..
12. Correoso M. Estrategia preliminar para evaluar y erradicar Achatina fulica (Gastropoda: Achatinaceae) en Ecuador. Boletín Técnico 6, Serie Zoológica 2. 2006;; p. 45-52.
13. Ministerio del Ambiente Ecuador (MAE). Lista preliminar de especies exóticas introducidas e invasoras en el Ecuador Continental. Quito; 2011.

14. Borrero J, Breure ASH, Christensen CC, Correoso M, Mogollón V. Into the Andes: three new introductions of *Lissachatina fulica* (Gastropoda, Achatinidae) and its potential distribution. *Tentacle*. 2009;(17): p. 1-9.
15. Correoso M, Coello M. Modelación y Distribución de *Lissachatina Fulica* (Gastropoda, Achatinidae) en Ecuador. *Potenciales Impactos Ambientales y Sanitarios*.; 2009.
16. Vogler RE, Beltramino AA, Sede MM, Gutiérrez Gregoric DE, Núñez V, Rumi A. The Giant African Snail, *Achatina fulica* (Gastropoda: Achatinidae): Using Bioclimatic Models to Identify South American Areas Susceptible to Invasion. *American Malacological Bulletin*. 2013; 31(1): p. 39-50.
17. Gołdyn , Ríos Guayasamín P, Aguirre Sanchez K, Hepting L. Notes on the distribution and invasion potential of *Achatina fulica* Bowdich, 1822 (Gastropoda: Pulmonata: Achatinidae) in Ecuador. *Folia Malacologica*. 2016; 24(2): p. 85-90.
18. Crespo V. ¡Alerta con las especies exóticas invasoras de agua dulce! *Nuestra Ciencia*. 2015;(17): p. 12.
19. Ministerio del Ambiente Ecuador (MAE). Plan de Acción Decenal para la Prevención, Manejo y Control de las Especies Exóticas en Ecuador Continental 2019 – 2029. Quito; 2019.
20. Vilá M, Valladares F, Traveset A, Santamaría L, Castro P. Invasiones Biológicas. *CSIC*. 2008;; p. 215.
21. Álvarez R. Especies exóticas invasoras.Las especies exóticas invasoras en la legislación española. *Ambienta*. 2014;(109): p. 14-33.
22. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático(IPCC). Ficha informativa del IPCC: ¿Qué es el IPCC?El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.; 2013.
23. INABIO. Agenda Nacional de Investigación sobre la Biodiversidad. En MAE SeI, editor.. Quito; 2017. p. 20.
24. Mooney HA, Hobbs RJ. *Invasive species in a changing world*. Island Press, Washington.. Washington: Island Press; 2000.
25. Mack R, Simberlof D, Lonsdale W, Evans , Clout , Bazzaz F. Invasiones Biológicas: Causas, Epidemiología,Consecuencias globales y Control. *Tópicos en Ecología*. 2000;(5): p. 2-19.
26. Avendaño M, Arreola , Badano E. Sociedad e invasiones biológicas en la era de la globalización. *Ciencia*. 2015;; p. 34-37.

27. Balaguer L. Las plantas invasoras. ¿El reflejo de una sociedad crispada o una amenaza científicamente contrastada?.; 2004.
28. Alonso A, Castro P. Las invasiones biológicas y su impacto en los ecosistemas. *Ecosistemas*. 2015; 1(24): p. 1-3.
29. Traveset A, Santamaría L. Consecuencias de la introducción de especies exóticas en la disrupción de los mutualismos en islas.. La Palma: Asociación Española de Ecología Terrestre ; 2004.
30. Castro P, Valladares F, Alonso A. La creciente amenaza de las invasiones biológicas. *Ecosistema*. 2004;: p. 1-9.
31. Convention on Biological Diversity (CBD). Invasive alien species. Subsidiary body on scientific, technical and technological Advice. Montreal.
32. FLEPPC. Florida exotic pest plant council´s1995, listo of Florida´s most invasive species. Newsletter; 1995.
33. Ministerio de Bosques y Pastizales de Columbia Británica. Bosques y Pastizales.: Columbia N.C.A; 2008.
34. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza(UICN). “Global Ecosystem Typology.” IUCN Red List of Ecosystems.; 2018.
35. PNUMA. GEO-6 ALC Evaluación regional para América Latina y el Caribe. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
36. Ferrer JR, Zager I, Oliveira D, Rodríguez J, González J, Miller R, et al. An ecosystem risk assessment of temperate and tropical forests of the Americas with an outlook on future conservation strategies.”*Conservation Letters*.; 2019.
37. Pendrill F, Persson U. “Combining global land cover datasets to quantify agricultural expansion into forests in Latin America: Limitations and challenges.”. *PloS One*. 2017;(12).
38. Genovesi , Shine. Impactos ecológicas generados por las especies exóticas invasoras. *Researchgate*. 2004.
39. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático(IPCC). Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra.
40. Unión Europea. Bienes y servicios ecosistémicos.; 2010.g

41. Camacho V, Ruiz A. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Bio Ciencia*. 2011; I(4): p. 3-15.
42. De Groot RS, Wilson , Boumans M. A TYPOLOGY FOR THE CLASSIFICATION, DESCRIPTION AND VALUATION OF ECOSYSTEM FUNCTIONS, GOODS AND SERVICES. *Ecological Economics*. 2002; 41(3): p. 393-408.
43. Díaz G. El Cambio Climático (Climate Change). *Ciencia y Sociedad*. 2012; XXXVII(2): p. 227-240.
44. Miller G. *Ciencias ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*.: Internacional Thomson; 2007.
45. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, I.P. Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático...: Cambridge University Press; 2013.
46. WWF. *Wildlife in a Warming World. The effects of climate change on biodiversity in WWF's Priority Places*.; 2018. Disponible en: [https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/1149/files/original/WWF - Wildlife in a Warming World - 2018 FINAL.pdf?1520886759](https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/1149/files/original/WWF_-_Wildlife_in_a_Warming_World_-_2018_FINAL.pdf?1520886759).
47. Greenpeace. *Efectos del cambio climático en la sociedad*.; 2018.
48. Moss R, Babiker M, Brinkman S, Calvo E, Carter T, Edmonds J, et al. Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies. Informe de la reunión de expertos del IPCC celebrada del 19 al 21 de septiembre de 2007 en Noordwijkerhout (Países Bajos). Ginebra, Suiza,: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
49. Moss H, Edmonds A, Hibbard A, Manning MR, Rose SK, Vuuren DPv, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 2010; 463: p. 747–756.
50. Flato G, Marotzke J, Abiodun B. Evaluation of Climate Models. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, et al. (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge.
51. López M. *Descripción y caracterización de nichos ecológicos: una visión más cuantitativa del espacio ambiental*. Guanajuato; 2007.
52. Nakamura M, Soberon J. Some thoughts on the notions of areas of distribution and environmental niches as related to available data.; 2007.

53. Graham C, Ferrier S, Huettman F, Moritz C, Peterson A. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution*. 2004; 19(9): p. 497- 503.
54. Phillips S, Anderson R, Sphapire R. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling of species geographic distributions. Ecological Modelling*. 2006;(190): p. 231-259.
55. Peterson AT, Soberon J, Sánchez V. Conservation of ecological niches in evolutionary time. *Science*. 1999;(285): p. 1265-1267.
56. Anderson P, Martínez E. Modeling species geographic distribution for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*. 2004;(116): p. 167-179.
57. Pearson R, Dawson P, Lin C. Modelling species distributions in Britain: and hierarchical integration of climate and land-cover data. *Ecography*. 2004; 27: p. 285-298.
58. Anderson RP, Lew D, Peterson A. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*. 2003;(162): p. 211-232.
59. Franklin J. *Mapping Species Distributions. Spatial Inference and Prediction*. Cambridge: Cambridge University Press; 2009.
60. Soberón J, Osorio-Olvera L, Peterson. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista mexicana de biodiversidad*. 2017; 88(2).
61. Colwell RK, Rangel TF. Hutchinson's duality: the once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2009; 106: p. 19644–19650.
62. Hijmans RJ, Phillips S, Leathwick J, Elith J, Hijmans MRJ. Package 'dismo'. *Circles*, 9, 1. 2015.
63. Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez E, Nakamura M, et al. *Ecological Niches and Geographic Distributions. Monographs in Population Biology*. 2011;; p. 314.
64. Aiello-Lammens ME, Boria RA, Radosavljevic A, Vilela B, Anderson RP. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*. 2015; 38: p. 541–545.
65. Soberón J, Peterson AT. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2005; 2: p. 1-10.

66. Soberón. Nichos y Áreas de Distribución. Diagrama BAM.; 2015.
67. Alfonzo , Marcano C, Yegres K, Gascón. Uso de herramientas Case para el modelado de negocios. Latin American and Caribbean Conference. 2011;; p. 1-10.
68. Pflieger JL. Ingeniería del Software: Teoría y Práctica Buenos Aires: Prentice Hall; 2002.
69. Elith J, Graham C, Anderson R, Dudík M, Ferrier S, Guisan A, et al. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*. 2006; 29: p. 129-151.
70. Varela S, Mateo R, García R, Fernández F. Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas*. 2014; 23(1): p. 46-53.
71. Peterson A, Nakazawa Y. Environmental data sets matter in ecological niche modeling: An example with *Solenopsis invicta* and *Solenopsis richteri*. *Global Ecology and Biogeography*. 2008; 17: p. 135-144.
72. Kass M, Vilela B, Aiello E, Muscarella , Merow , Anderson RP. Wallace : una plataforma flexible para el modelado reproducible de nichos de especies y distribuciones construidas para la expansión de la comunidad. *Methods in Ecology and Evolution*. 2017;; p. 1151-1156.
73. Qiao H, Escobar E, Townsend Peterson A, Ji L, Soberón , Campbell. Nicho: crear especies virtuales y nichos ecológicos en escenarios ambientales multivariados. *Ecografía*. 2016; 39(8): p. 805-813.
74. Nix H. A biogeographic analysis of Australian Elapid snakes. In: Atlas of Elapid Snakes of Australia. En. Australia: Australian Government Publishing Service: Canberra.; 1986. p. 4-15.
75. Busby J. BIOCLIM - A Bioclimatic Analysis and Prediction System. Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis.. Camberra; 1991..
76. McMahon J, Hutchinson M, Nix H, Ord. ANUCLIM Version 1. User's Guide. Canberra: ANU, CRES. Camberra; 1996.. Disponible en: [[ANUCLIM 5.0: http://cres.anu.edu.au/outputs/anuclim.html](http://cres.anu.edu.au/outputs/anuclim.html)].
77. Virgillito M, Orellana D, Giménez E, Mariano V, Méndez P. Situación actual del caracol gigante africano (*Achatina fulica*) en Argentina. *SNS*. 2015;(8): p. 32-42.
78. Thomé JV, Santos J. Novos registros de Veronicellidae (gastropoda, Mollusca) para Itabuna, Bahía, Brasil e sua ocorrência no conteúdo estomacal de serpentes do género *Dipsas Laurenti* (Colubridae). *Revta bras. Zool*. 2001; I(18): p. 301-303.

79. Liboria M, Morales G, Sierra C, Silva I, Pino LA. El caracol gigante africano *Achatina fulica*. INIAHOY. 2009;(6): p. 224-231.
80. Invasive Species Specialist Group.ISSG. *Achatina fulica*.; 2010.. Disponible en: [www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=64](http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=64).
81. Cuellar R. Helicicultura. Cría moderna de caracoles. Primera ed. Madrid: Mundi; 1986.
82. Bernardita M, Lagos B. Evaluación Técnica Económica de una Crianza Intensiva de Caracoles (*Helix aspersa*).; 2004..
83. Stokes H. Introduced species summary project- giant African snail (*Achatina fulica*). Columbia University. New York; 2006..
84. Berg G. Caracole y babosas de importancia cuarentenaria, agrícola y médica para América Latina y el Caribe. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). México, Centro América, Panamá y Belice.; s.f..
85. Giraldo A, Bolívar W, González ÁM, Garcés MF, Rojas D, Prado AM. Caracol africano en el Valle del Cauca :línea base para el Valle del Cauca Cali: Grupo Investigación en Ecología Animal.Universidad del Valle; 2014.
86. Floyd J, Cohen C, Hitchcox M, Riherd C, Robinson D, Roda A, et al. “New Pest Response Guidelines. Giant African Snails: Snail Pests in the Family Achatinidae”. Riverdale,USDA/APHIS/PPQ/PDMP. 2005;; p. 1-122.
87. Mead AR. The Giant African Snail. A Problem in Economy Malacology. 1961.
88. EPPO. PQR database.European and Mediterranean Plant Protection Organization. Paris; 2013..
89. Sarma RR, Munsu , Neelavara Ananthram. Effect of Climate Change on Invasion Risk of Giant African Snail (*Achatina fulica* Férussac, 1821: Achatinidae) in India. PLOS ONE. 2015;; p. 1-16.
90. IGM. Instituto Geográfico Militar.; 2013..
91. Ministerio del Ambiente Ecuador.MAE. Modelo de unidades Geomorfológicas.Para la representación de ecosistemas del Ecuador continenta Desarrollo.SNI SNdPy, editor. Quito; 2013.
92. Lazo CA. En UTMACH , editor. Geografía Turística del Ecuador. Machala: Universidad Técnica de Machala; 2016.
93. GBIF.org. Global Biodiversity Information Facility. [Online].Acceso 2019 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.15468/dl.clniro>.

94. Osorio-Olvera L, NicheToolBox R. [Online].; 2016.. Disponible en: <https://github.com/luismurao/nichetoolbox>.
95. Hijmans R, Cameron S, Parra J, Jones P, Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *J.Climatol.* 2005; 25: p. 1965-1978.
96. GISP. Programa Mundial sobre Especies Invasoras.: Secretaría del GISP; 2005..
97. iNaturalist.org. iNaturalist. [Online].; 2008.. Disponible en: <https://www.inaturalist.org/>.
98. Fick SE, R.J H. WorldClim2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas.*International Journal of Climatology*; 2017.
99. ESRI. ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.1. Environmental Systems Research Institute. Redlands, CA; 2011.
100. Armenta GE, Villa Cedeño JL, Jácome PS. Proyecciones Climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de Cambio Climático. Quito: Ministerio del Ambiente.
101. Kottke M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. World Map of the Köppen–Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift.* 2006; 15(3): p. 259–263.
102. Sánchez N, Garduño R. Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. *Contactos.* 2008;(68): p. 5-10.
103. Phillips SJ, Anderson RP, Dudík M, Schapire RE, Blair ME. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography.* 2017; 40: p. 887-893.
104. Jeschke JM, Stray DL. Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species. *Acad Sci.* 2008; 1134(1): p. 1-24.
105. Vicente JR, Alagador D, Guerra C, Alonso JM, Kueffer C, Vaz AS, et al. Cost-effective monitoring of biological invasions under global change: a model-based framework. *J Appl Ecol.* 2016.
106. Ostertagová E, Ostertag O, Kováč J. Metodología y aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis. *Mecánica Aplicada y Materiales.* 2014; 611: p. 115-120.
107. San Martín P. Aplicación de la estadística no paramétrica en el área de rehabilitación. *Rehabil. integral.* 2011; 6(2): p. 93-99.
108. Lowe S, Browne S, Boudjrlas S, De Poorter M. 100 of the world's worst invasive alien species: A selection from the global invasive species database. The Invasive Species Specialists Group of the Species Survival Commission of the World Conservation Union.; 2000..

109. Holt RD. The microevolutionary consequences of climate change. *Trends Ecol Evol.* 1990;(5): p. 311- 315.
110. Mainka SA, Howard G. Climate change and invasive species: double jeopardy. *Integr Zool.* 2010;(2): p. 102-111.
111. Cowie H, Robinson A. The decline of native Pacific island faunas: changes in status of the land snails of Samoa through the 20th century. *Biol Conserv.* 2003; 110: p. 55-65.
112. Solórzano Alava , Sánchez F, Valverde T. *Angiostrongylus (Parastrostrongylus) cantonensis* en huéspedes intermediarios y definitivos en Ecuador, 2014-2017. *Biomédica.* 2019;(39): p. 370-384.
113. Martini R. Diseño de un programa de control y prevención de *Angiostrongylus cantonensis* en el Ecuador período 2008-2009. Universidad Estatal de Guayaquil. 2011;; p. 1-19.
114. Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2007;(11): p. 1633–1644.
115. Sendiña I, Pérez V. *Fundamentos de meteorología.*; 2006.
116. Crespo IZy.E. *Meteorología y climatología.*; 2010.
117. Verheye WH. *Uso del suelo, cobertura del suelo y ciencias del suelo. Tierras secas y desertificación: ©Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS); 2009.*
118. Fernández A, Muguruza C, Azcárate MV, Santa-Cecilia F, Cortés I. *Iniciación a la Geografía: La Tierra: un planeta habitado.: Centro de Estudios Ramón Areces; 2015..*
119. De la Lanza , Cáceres , Adame S, Hernández S. *DICCIONARIO DE HIDROLOGÍA Y CIENCIAS AFINES.*; 1999.
120. McKnight TL, Hess D. *Climate Zones and Types. En Physical Geography: A Landscape Appreciation (virtual Fieldtrip Edition). Sexta ed. Upper Saddle River: Prentice Hall College Div; 2000. p. 200.*
121. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. INEGI. *Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del Estado de México.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; 1981.*
122. Sol D. *Especies exóticas invasoras. Claves del éxito de las especies invasoras. Ambienta.* 2014;(109): p. 4-13.

123. ESRI. ArGis Destkop. Release 10.1. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA. 2018.
124. Peterson AT, Soberón , Pearson RG, Anderson R, Martínez-Meyer E, Nakamura M, et al. Ecological Niches and Geographic Distributions. Princeton: Princeton University Press; 2011..
125. Soberón J, Nakamura M. Niches and distributional areas: concepts, methods and assumptions. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2011; 106: p. 19644-19650.
126. Prasad GS, Singh DR, Senani S, Medhi R. Eco-friendly way to keep away pestiferous Giant African snail, *Achatina fulica* Bowdich from nursery beds. Current Science. 2004; 12(98): p. 1657-1659.

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

**Anexo 1.** Clasificación climática de Köppen-Geiger.

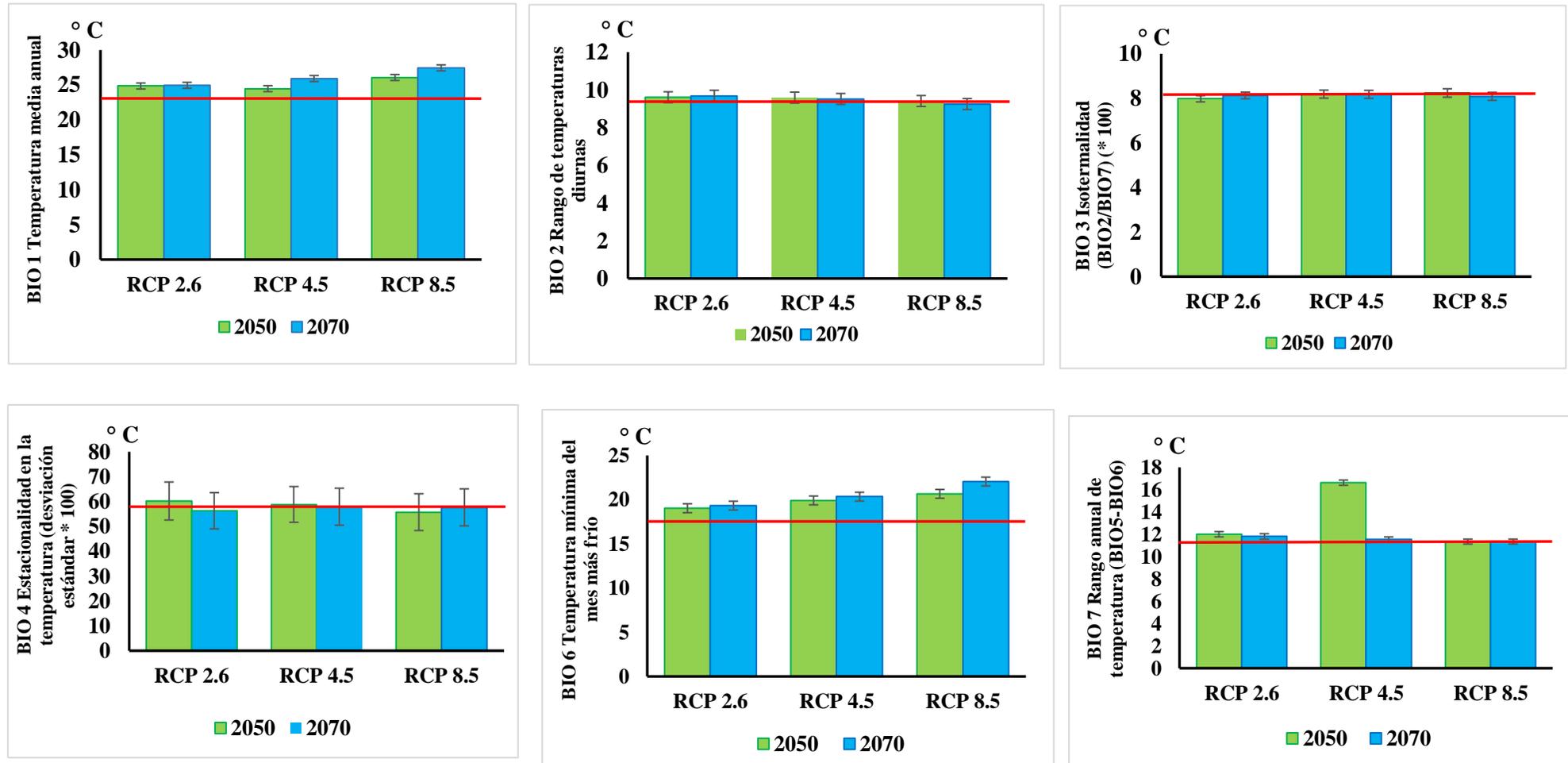
**Tabla 8.** Descripción de la clasificación climática de Köppen-Geiger.

<b>Clasificación climática de Köppen-Geiger</b>		
<b>Clima</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Definición</b>
Ecuatorial o tropical húmedo	Af	Clima ecuatorial lluvioso o de selva tropical, es un subtipo de clima tropical que se caracteriza por las temperaturas altas (la media anual superior a 27 °C a nivel del mar) y también es un clima isotérmico por sus constantes precipitaciones durante todo el año, siendo abundantes y regulares superiores a 2500 mm por año (en zonas más húmedas superan los 6000 mm), y se localiza en las zonas de muy bajas latitudes (114).
Tropical monzónico o Subecuatorial	Am	El clima monzónico o subecuatorial es un subtipo de clima tropical dominado por el monzón, es decir, por la masa de aire tropical marítima, cálida y húmeda que procede de los bordes occidentales de los anticiclones subtropicales, es un clima muy lluvioso en verano, en torno a los 2000 mm anuales como mínimo, y con escasa oscilación térmica, entre 1 y 7 °C (115).
Tropical de sabana con verano seco o Clima ecuatorial de sabana	As	Es un clima isotérmico casi siempre, de baja latitud, próximo tanto al ecuador terrestre como a otros ecuadores climáticos como el ecuador térmico y el ecuador pluvial. Su situación geográfica da lugar a diversas características climáticas, como por ejemplo que puede haber un "invierno cálido y verano fresco" (114).
Tropical de sabana con invierno seco	Aw	Es el clima tropical subhúmedo y monzónico, con invierno seco y verano lluvioso. Clima de sabana propiamente dicho, donde la estación seca coincide con los meses más fríos del invierno y las lluvias con los más cálidos. Por lo general es un clima isotérmico, con una oscilación térmica anual entre 2 y 6°C aproximadamente. La temperatura media anual está mayormente entre los 20 y 28°C, mientras que las lluvias anuales promedio dan unos 800 a 1800 mm (116).
Semiárido cálido	BSh	La temperatura media anual está por encima de los 18 °C, por lo que incluye los semidesiertos tropicales y subtropicales. La precipitación media anual es alrededor de 300 y 700 mm (117)
Árido cálido	BWh	Denominado desértico cálido o sahariano es un tipo de clima árido que posee una temperatura media anual superior a los 18°C y precipitaciones inferiores a 250-300 mm aproximadamente. Según la clasificación climática de Köppen, está definida como <i>BWh</i> , donde <i>B</i> =clima seco, <i>W</i> =desierto (del alemán <i>Wüste</i> ) y <i>h</i> =caliente. Es el tipo de clima más extenso, ocupando el 14.2% del área terrestre del mundo (114).
Subtropical húmedo o sin estación seca (verano cálido)	Cfa	Es un subtipo de clima templado húmedo, es una zona de clima subtropical caracterizada por veranos cálidos, húmedos e inviernos frescos, con precipitaciones abundantes en las zonas litorales, que van disminuyendo por un invierno cada vez menos húmedo conforme aumenta la distancia de la costa (118).

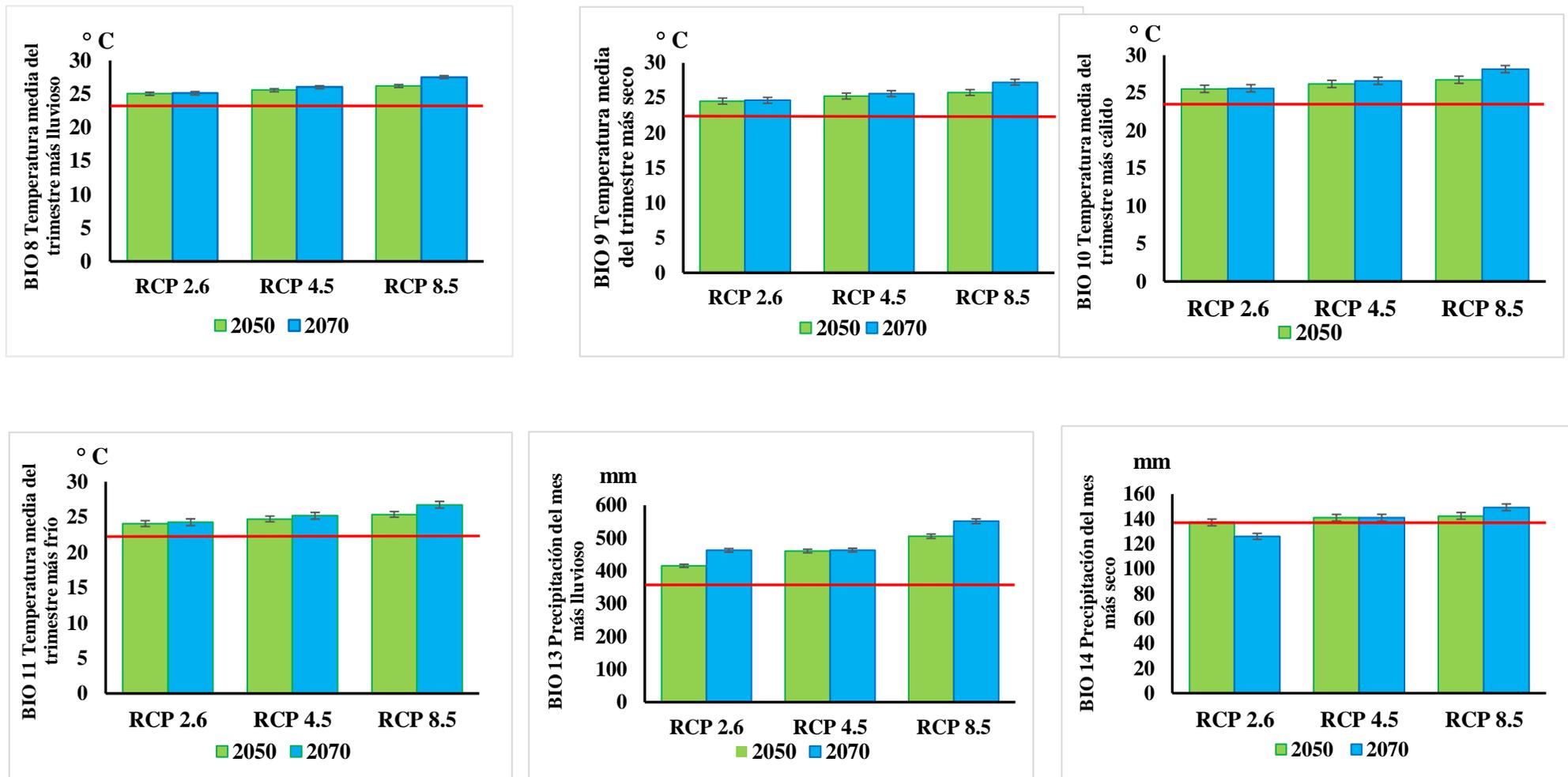
Oceánico templado (verano suave)	Cfb	Es un clima propio de latitudes templadas típico de las regiones próximas al océano e islas donde el viento sopla constantemente hacia el continente, caracterizado por pequeñas o moderadas oscilaciones térmicas diurnas y anuales que lo diferencian del clima continental, además de poseer humedad relativa elevada, con abundantes precipitaciones a causa de la proximidad al océano (119).
Subtropical con invierno seco (verano cálido)	Cwa	La temperatura media del mes más cálido supera los 22 °C. Se da en regiones más alejadas del mar que no reciben tantas precipitaciones por lo que la estación menos lluviosa es bastante seca. También se puede dar como transición al clima tropical, con lluvias abundantes, debido a los monzones del verano, pero un invierno seco, y donde las temperaturas descienden ligeramente de los 18 °C (120).
Templado de montaña con invierno seco (verano suave)	Cwb	Es un clima de montaña de altitud importante, aproximadamente entre 1200 y 3700 msnm, dependiendo de la latitud. Ocupa una buena extensión de tierras altas y se encuentra una población importante característica de las regiones de sierra. La temperatura media ronda los 14°C y las precipitaciones unos 700 mm anuales; las medias máximas sobrepasan los 20°C y las lluvias pueden llegar a los 1200 mm (121).

**Anexo 2.** Variaciones de las variables bioclimáticas en cada uno de los escenarios de cambio climático hacia el futuro con respecto al presente de los laboratorios.

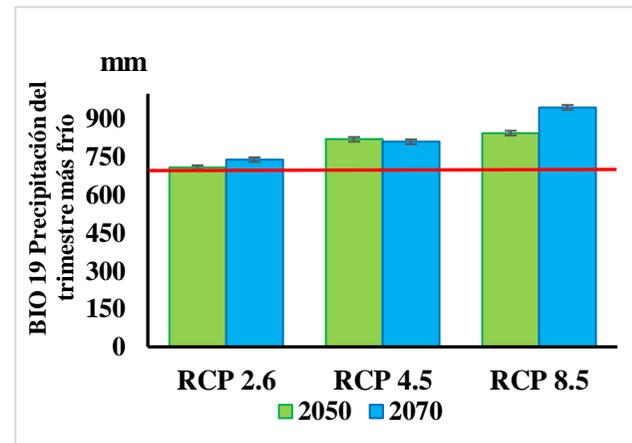
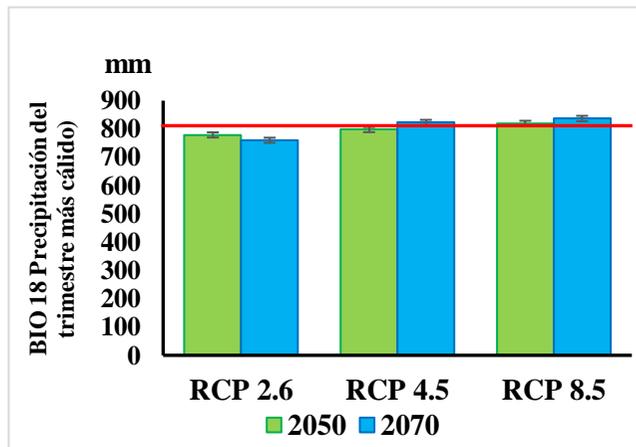
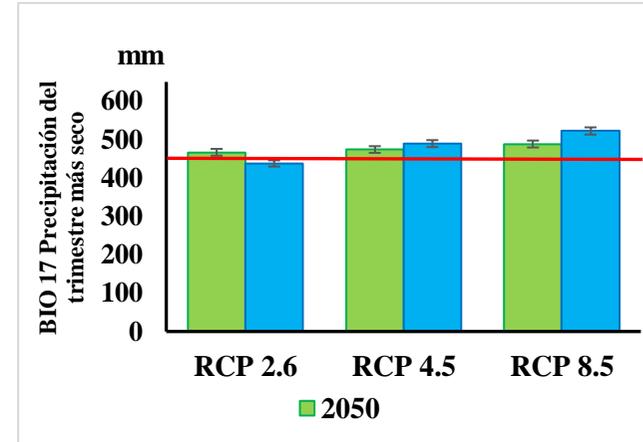
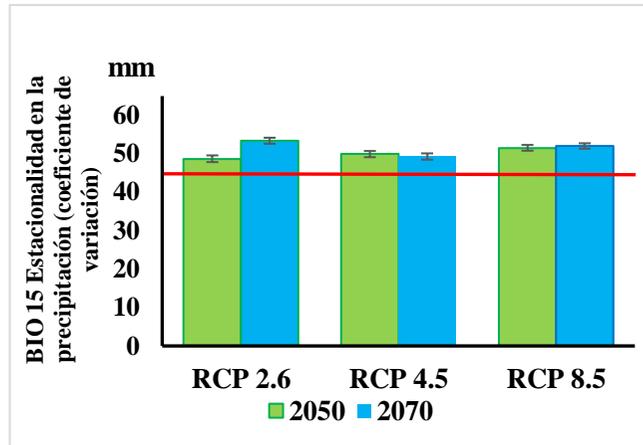
### 1. IPSL-CM5A-LR



**Figura 26.** Comportamiento de las variables bioclimáticas de temperatura Bio 1 (temperatura media anual), Bio 2 (rango de temperaturas diurnas), Bio 3 (isotermalidad (BIO2/BIO7) (\* 100)), Bio 4 (estacionalidad en la temperatura (desviación estándar \* 100)), Bio 6 (temperatura mínima del mes más frío), Bio 7 (rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)) del laboratorio IPSL-CM5A-LR en cada una de los escenarios de cambio climático 2050 y 2070 con respecto al presente.

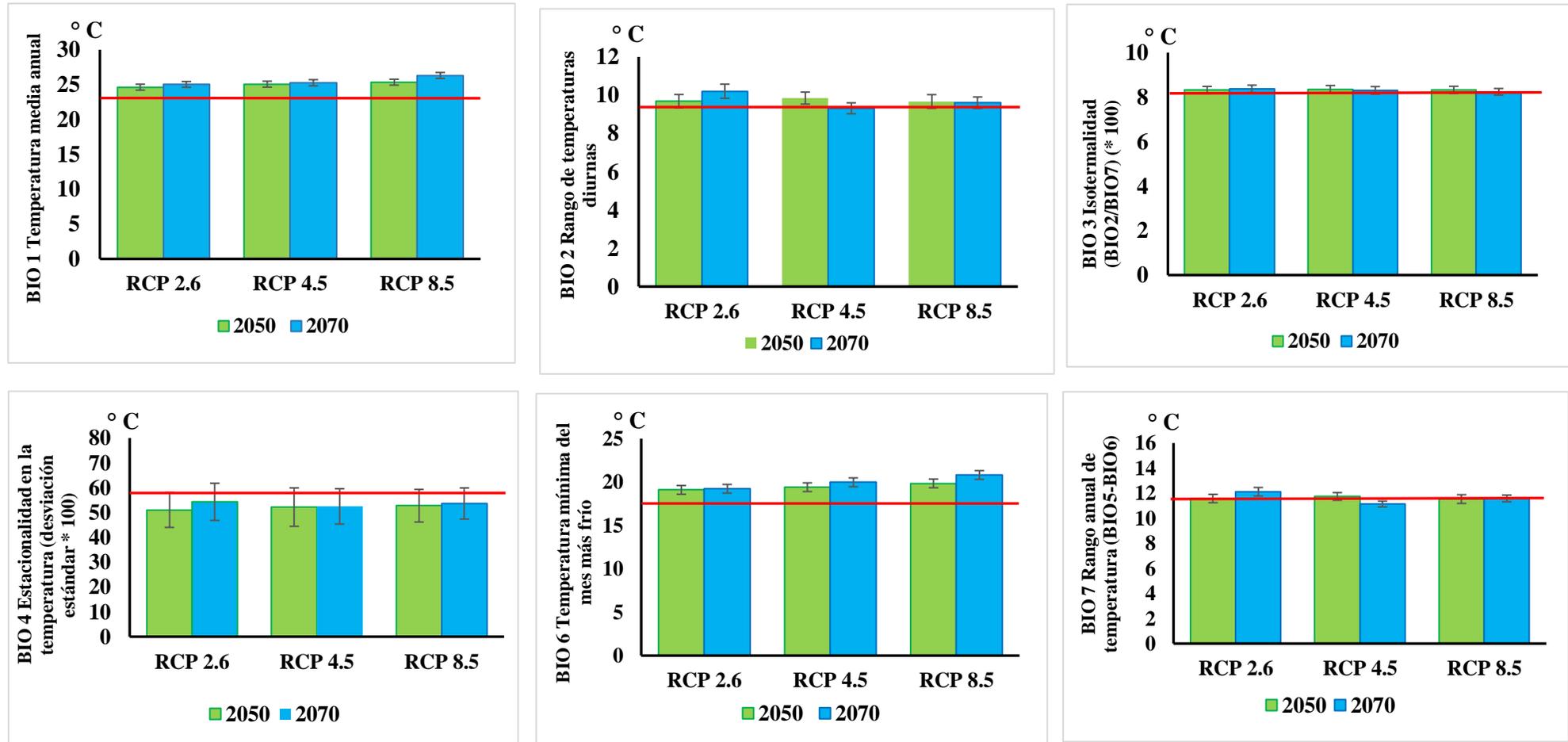


**Figura 27.** Variación de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en los escenarios futuros de cambio climático de acuerdo a cada RCP en relación al presente, las variables de temperatura son Bio 8 (temperatura media del trimestre más lluvioso), Bio 9 (temperatura media del trimestre más seco), Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido), Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío) y las variables de precipitación son Bio 13 (precipitación del mes más lluvioso) y Bio 14 (precipitación del mes más seco) en el laboratorio IPSL-CM5A-LR .

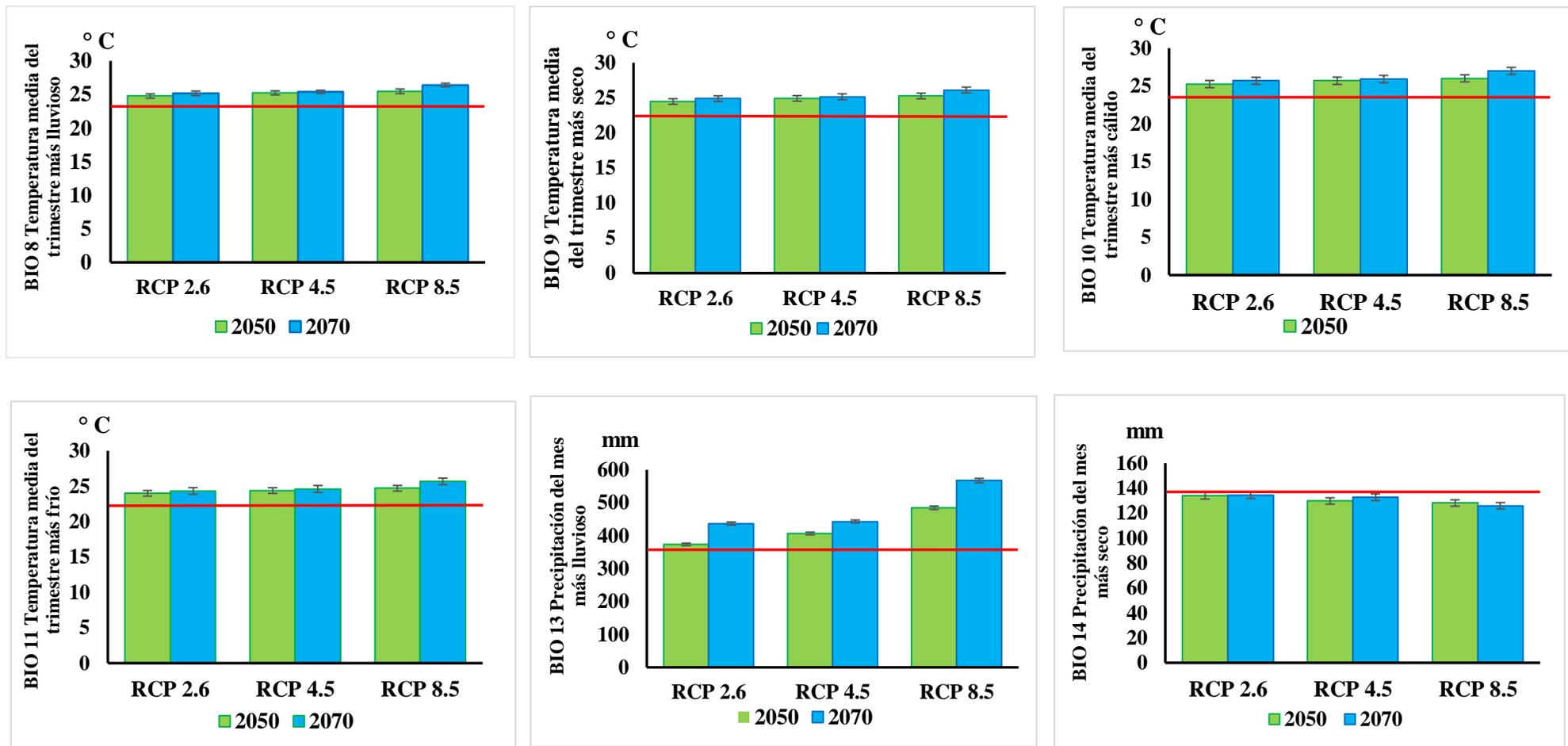


**Figura 28.** Versatilidad de las variables bioclimáticas de precipitación Bio 15 (estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) con respecto al presente y hacia el futuro para el laboratorio establecido IPSL-CM5A-LR.

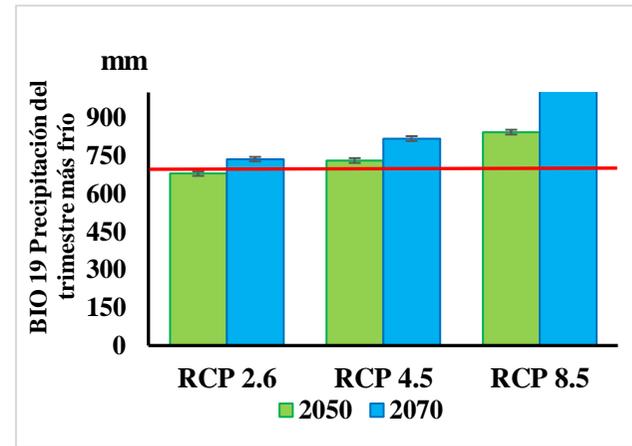
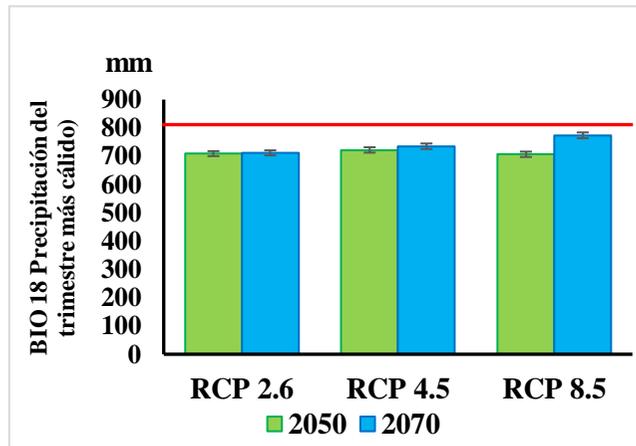
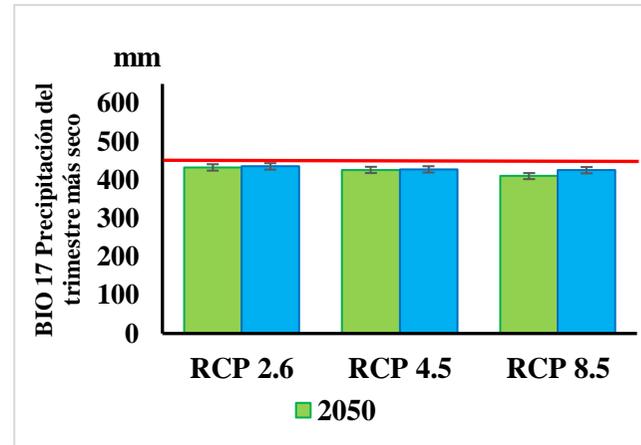
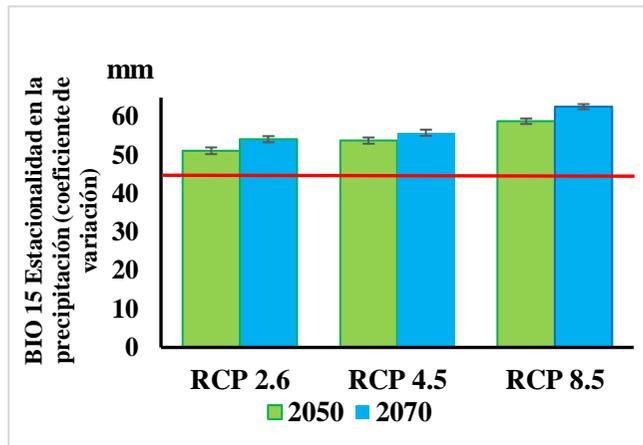
## 2. MIROC-ESM



**Figura 29.** Comportamiento de las variables bioclimáticas de temperatura Bio 1 (temperatura media anual), Bio 2 (rango de temperaturas diurnas), Bio 3 (isotermalidad (BIO2/BIO7) (\* 100)), Bio 4 (estacionalidad en la temperatura (desviación estándar \* 100)), Bio 6 ((temperatura mínima del mes más frío), Bio 7 (rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)) del laboratorio MIROC-ESM en cada una de los escenarios de cambio climático 2050 y 2070 con respecto al presente.

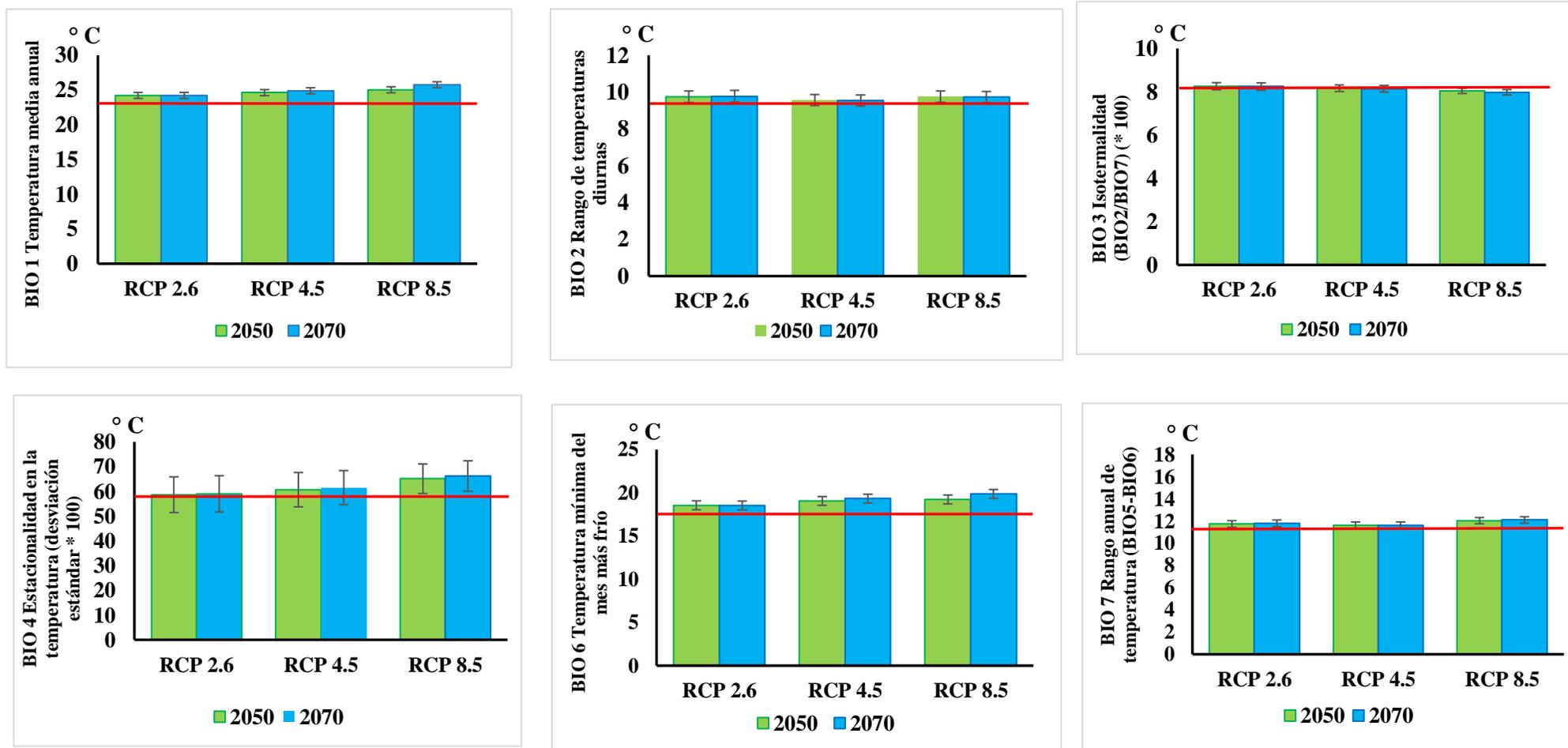


**Figura 30.** Variación de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en los escenarios futuros de cambio climático de acuerdo a cada RCP en relación al presente, las variables de temperatura son Bio 8 (temperatura media del trimestre más lluvioso), Bio 9 (temperatura media del trimestre más seco), Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido), Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío) y las variables de precipitación son Bio 13 (precipitación del mes más lluvioso) y Bio 14 (precipitación del mes más seco) en el laboratorio MIROC-ESM.

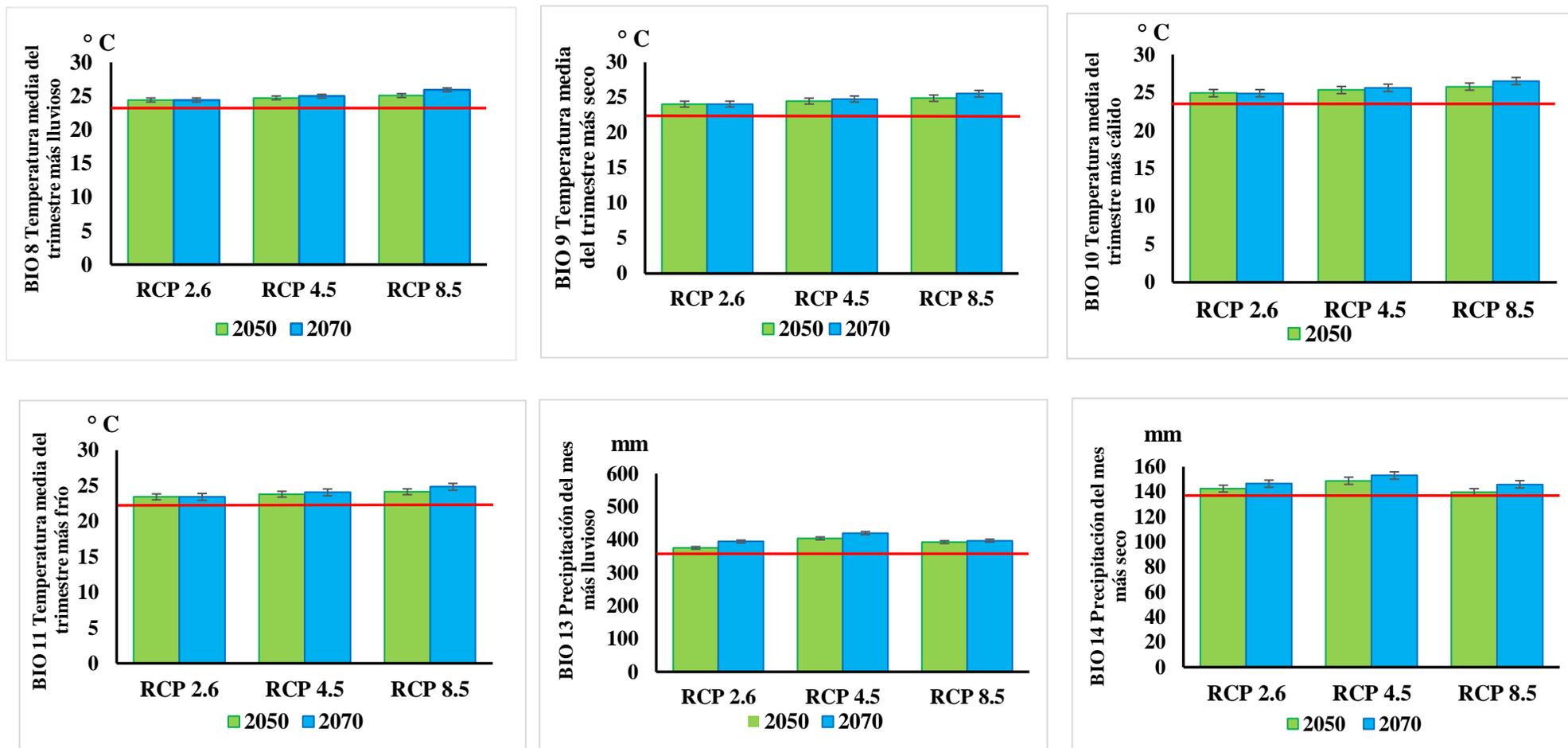


**Figura 31.** Versatilidad de la variables bioclimáticas de precipitación Bio 15 (estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) con respecto al presente y hacia el futuro del laboratorio MIROC-ESM.

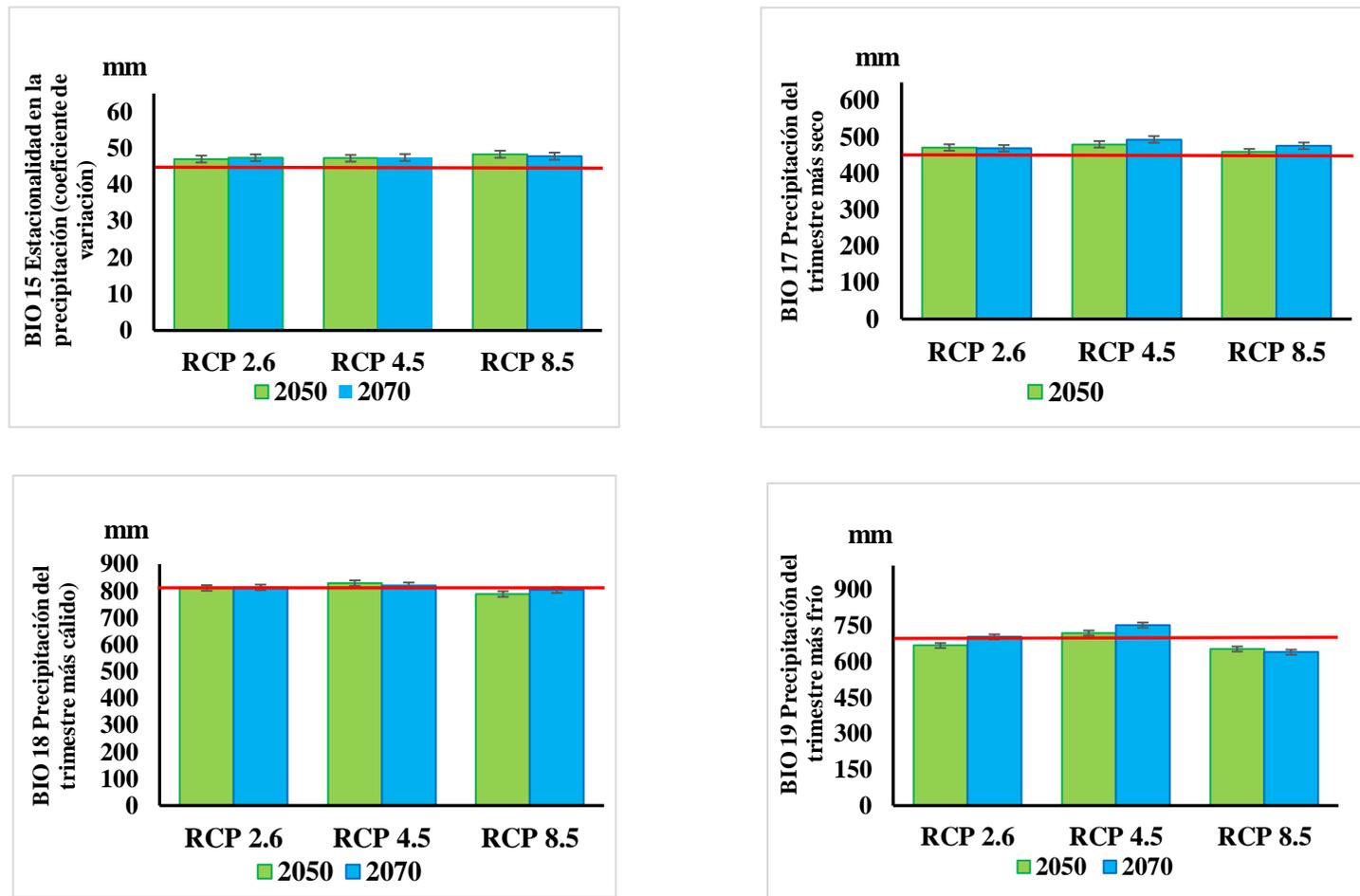
### 3. GISS-E2-R



**Figura 32.** Comportamiento de las variables bioclimáticas de temperatura Bio 1 (temperatura media anual), Bio 2 (rango de temperaturas diurnas), Bio 3 (isotermalidad (BIO2/BIO7) (\* 100)), Bio 4 (estacionalidad en la temperatura (desviación estándar \* 100)), Bio 6 (temperatura mínima del mes más frío), Bio 7 (rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)) del laboratorio GISS-E2-R en cada una de los escenarios de cambio climático 2050 y 2070.

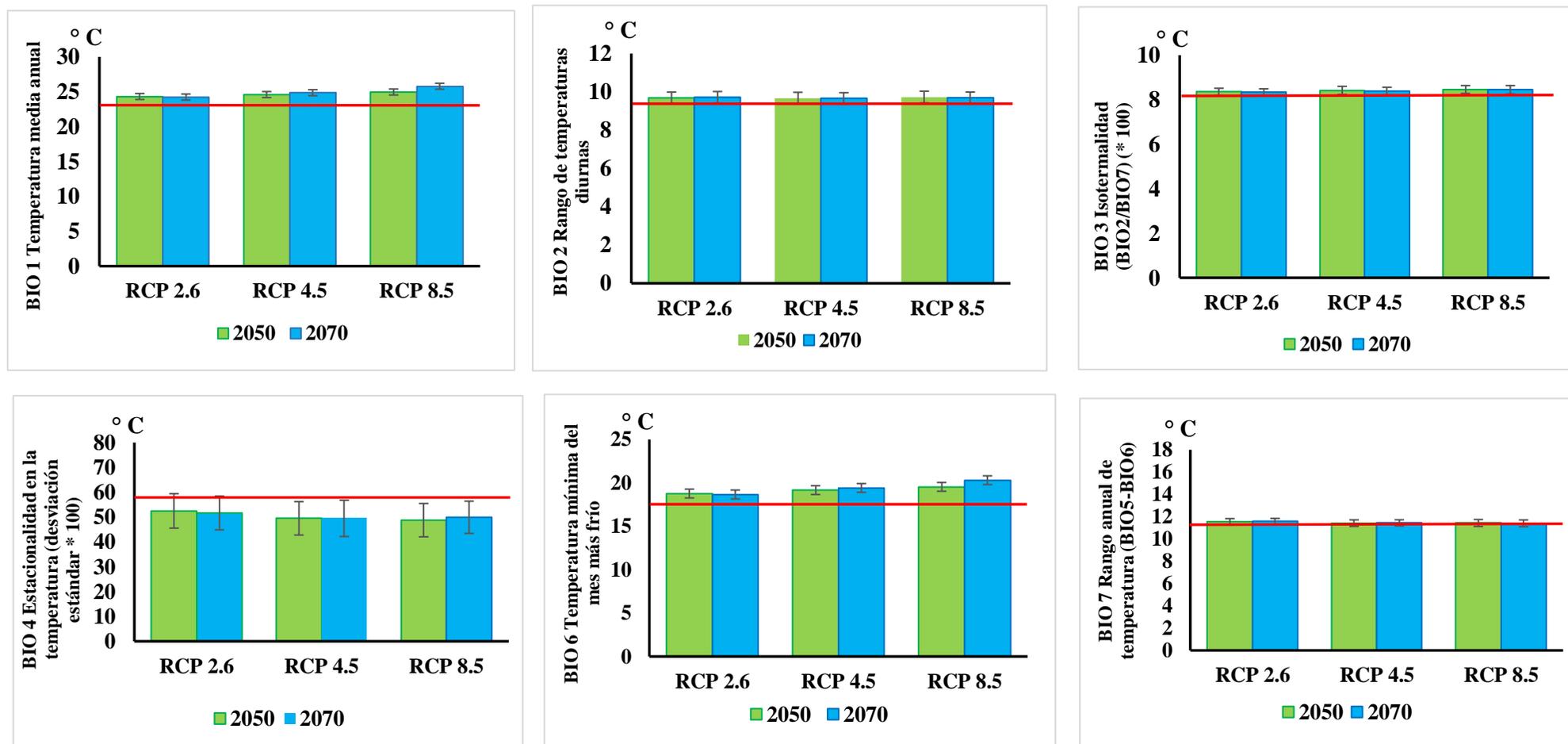


**Figura 33.** Variación de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en los escenarios futuros de cambio climático de acuerdo a cada RCP en relación al presente, las variables de temperatura son Bio 8 (temperatura media del trimestre más lluvioso), Bio 9 (temperatura media del trimestre más seco), Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido), Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío) y las variables de precipitación son Bio 13 (precipitación del mes más lluvioso) y Bio 14 (precipitación del mes más seco) en el laboratorio GISS-E2-R.

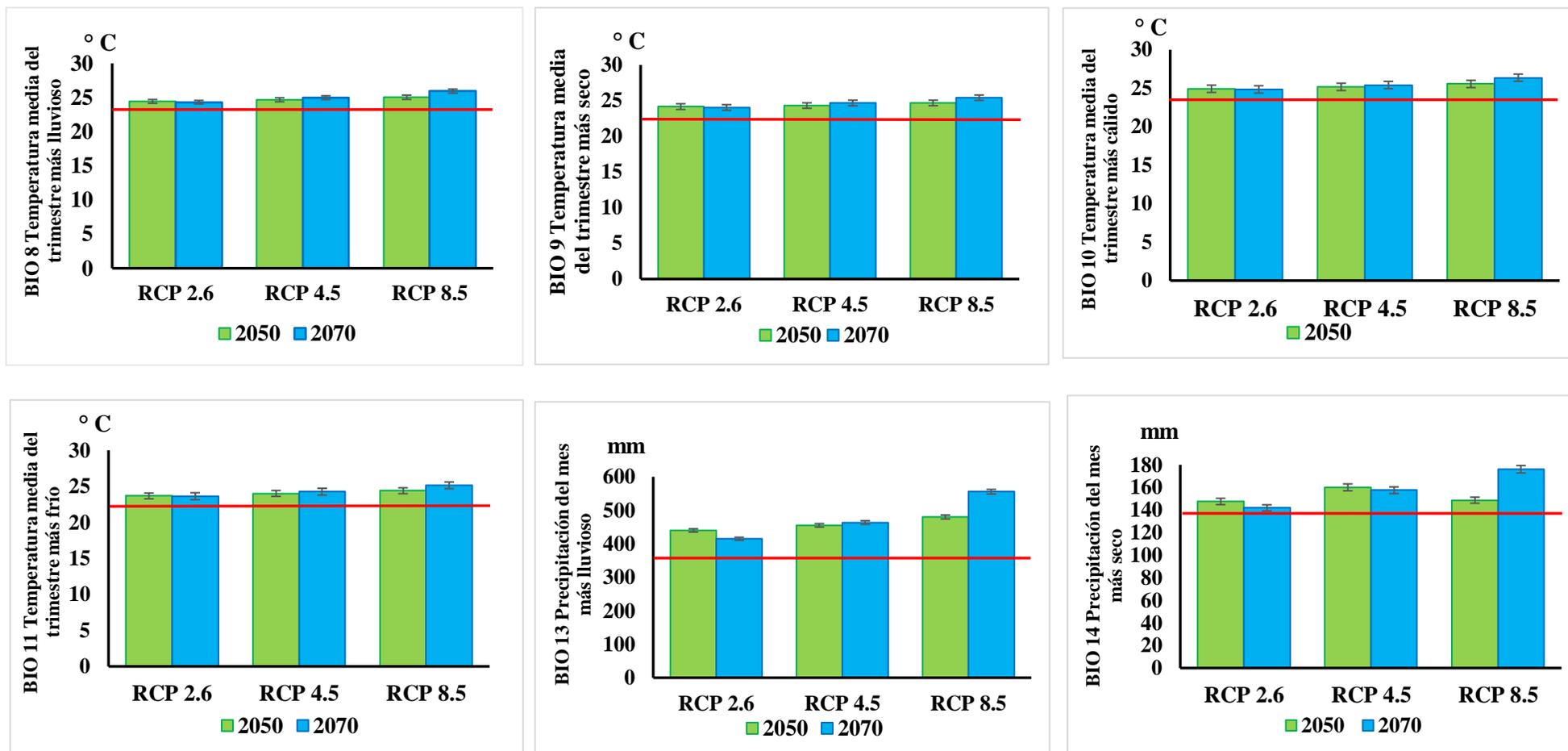


**Figura 34.** Versatilidad de la variables bioclimáticas de precipitación Bio 15 (estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) con respecto al presente y hacia el futuro del laboratorio GISS-E2-R.

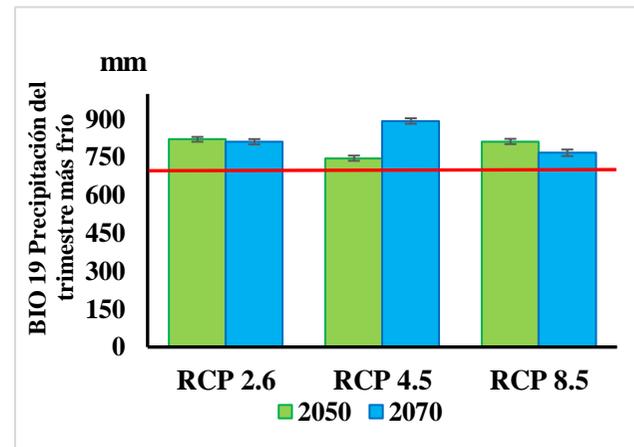
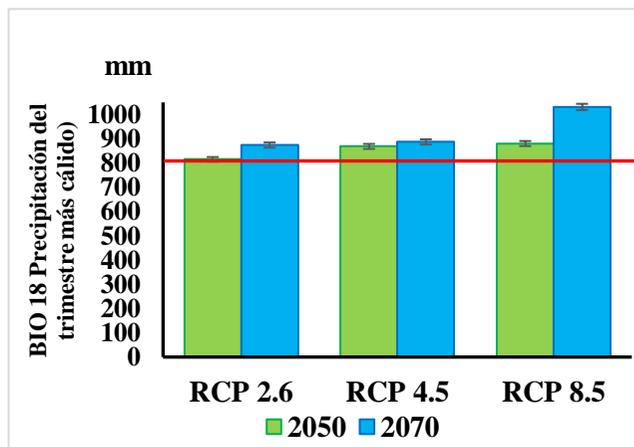
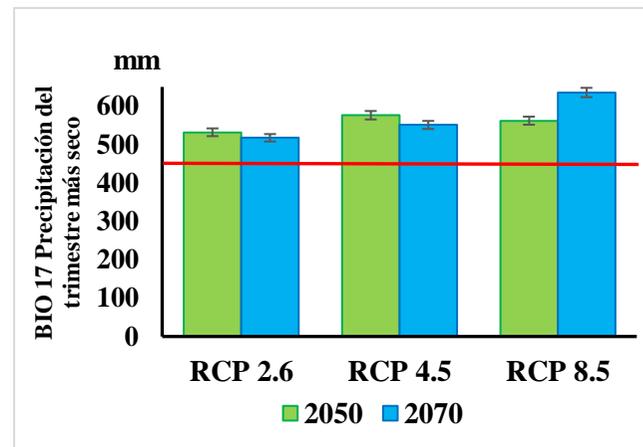
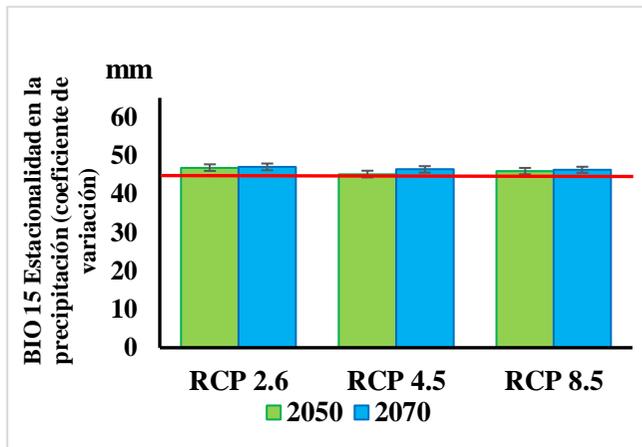
#### 4. NorESM1-ME



**Figura 35.** Comportamiento de las variables bioclimáticas de temperatura Bio 1 (temperatura media anual), Bio 2 (rango de temperaturas diurnas), Bio 3 (isotermalidad (BIO2/BIO7) (\* 100)), Bio 4 (estacionalidad en la temperatura (desviación estándar \* 100)), Bio 6 (temperatura mínima del mes más frío), Bio 7 (rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)) del laboratorio NorESM1-ME en cada una de los escenarios de cambio climático 2050 y 2070 con respecto al presente.



**Figura 36.** Variación de las variables bioclimáticas de temperatura y precipitación en los escenarios futuros de cambio climático de acuerdo a cada RCP en relación al presente, las variables de temperatura son Bio 8 (temperatura media del trimestre más lluvioso), Bio 9 (temperatura media del trimestre más seco), Bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido), Bio 11 (temperatura media del trimestre más frío) y las variables de precipitación son Bio 13 (precipitación del mes más lluvioso) y Bio 14 (precipitación del mes más seco) en el laboratorio NorESM1-ME.



**Figura 37.** Versatilidad de las variables bioclimáticas de precipitación Bio 15 (estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), Bio 17 (precipitación del trimestre más seco) y Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío) con respecto al presente y hacia el futuro para el laboratorio establecido NorESM1-ME.

**Anexo 3.** Variación porcentual de la idoneidad de *Achatina fulica* en Ecuador continental.

**Tabla 9.** Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las provincias de Ecuador continental para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR.

Provincias del Ecuador	Extensión provincial (Km <sup>2</sup> )	Presente		IPSL-CM5A-LR											
		%	Extensión (Km <sup>2</sup> )	2050						2070					
				%	2,6	%	4,5	%	8,5	%	2,6	%	4,5	%	8,5
<b>Azuay</b>	<b>8367,74</b>	<b>21,47</b>	1796,54	27,42	2294,05	29,07	2432,24	31,63	2646,44	26,92	2252,59	31,63	2646,44	40,30	3371,97
<b>Bolívar</b>	<b>3924,75</b>	<b>17,08</b>	670,25	23,06	905,18	26,58	1043,38	28,52	1119,38	23,24	912,09	28,70	1126,29	33,80	1326,68
<b>Cañar</b>	<b>3330,51</b>	<b>20,95</b>	697,89	21,99	732,44	22,41	746,26	24,27	808,44	22,41	746,26	25,10	836,08	24,48	815,35
<b>Carchi</b>	<b>3745,10</b>	<b>30,81</b>	1153,93	40,96	1533,97	47,05	1761,99	48,15	1803,45	44,28	1658,35	48,15	1803,45	51,66	1934,74
<b>Cotopaxi</b>	<b>6135,88</b>	<b>15,09</b>	925,91	21,06	1292,13	24,66	1513,24	24,89	1527,06	22,07	1354,32	26,13	1603,07	26,58	1630,71
<b>Chimborazo</b>	<b>6488,28</b>	<b>4,15</b>	269,48	10,65	690,98	13,31	863,72	15,23	988,10	10,54	684,07	14,59	946,64	19,60	1271,40
<b>El Oro</b>	<b>5742,02</b>	<b>76,65</b>	4401,53	26,23	1506,33	24,19	1388,86	20,82	1195,39	26,23	1506,33	21,30	1223,03	16,00	919,00
<b>Esmeraldas</b>	<b>16162,00</b>	<b>71,44</b>	11546,20	56,56	9141,63	39,42	6370,81	29,63	4788,47	57,72	9328,20	28,35	4581,18	10,13	1637,62
<b>Guayas</b>	<b>15401,90</b>	<b>53,25</b>	8201,90	3,36	518,23	1,12	172,74	0,76	117,47	3,14	483,68	0,67	103,65	0,18	27,64
<b>Imbabura</b>	<b>4622,64</b>	<b>21,82</b>	1008,83	42,90	1983,11	50,97	2356,23	57,55	2660,26	45,59	2107,48	55,31	2556,62	64,57	2985,02
<b>Loja</b>	<b>11034,90</b>	<b>52,22</b>	5762,75	42,33	4671,01	40,89	4512,08	39,57	4366,98	39,32	4339,34	40,58	4477,53	35,50	3917,84
<b>Los Ríos</b>	<b>7199,99</b>	<b>82,34</b>	5928,59	37,33	2687,90	13,34	960,46	8,35	601,15	35,12	2528,98	9,50	684,07	4,13	297,12
<b>Manabí</b>	<b>19464,80</b>	<b>87,68</b>	17067,10	48,78	9494,03	33,69	6557,38	23,86	4643,37	49,31	9597,68	26,48	5154,69	5,43	1057,20
<b>Morona Santiago</b>	<b>23970,00</b>	<b>45,69</b>	10952,00	36,47	8740,87	36,03	8637,22	35,66	8547,39	37,96	9100,17	33,53	8036,07	37,13	8899,79
<b>Napo</b>	<b>12575,80</b>	<b>36,59</b>	4601,91	35,00	4401,53	40,66	5113,23	44,51	5596,92	37,91	4767,74	44,62	5610,74	43,79	5507,09

<b>Pastaza</b>	<b>29566,90</b>	<b>24,07</b>	7117,07	12,43	3676,00	13,53	4000,76	12,34	3648,36	14,82	4380,80	11,52	3406,52	6,01	1775,81
<b>Pichincha</b>	<b>9570,04</b>	<b>26,50</b>	2535,89	36,61	3503,26	38,12	3648,36	39,35	3765,83	37,83	3620,72	38,19	3655,27	47,00	4498,26
<b>Tungurahua</b>	<b>3392,70</b>	<b>15,27</b>	518,23	29,53	1001,92	31,57	1071,02	34,01	1153,93	29,94	1015,74	34,83	1181,57	41,75	1416,50
<b>Zamora Chinchipe</b>	<b>10627,20</b>	<b>64,17</b>	6819,95	76,14	8091,35	73,47	7808,05	64,95	6902,87	74,25	7890,96	74,06	7870,23	55,07	5852,58
<b>Sucumbíos</b>	<b>18082,90</b>	<b>15,17</b>	2743,18	11,16	2017,65	12,00	2169,67	12,00	2169,67	11,88	2148,94	11,92	2155,85	10,24	1851,82
<b>Orellana</b>	<b>21655,20</b>	<b>13,98</b>	3026,48	2,74	594,24	3,06	663,34	2,87	621,88	3,54	766,99	2,71	587,33	1,44	310,94
<b>Santo Domingo de los Tsáchilas</b>	<b>3420,34</b>	<b>78,59</b>	2687,90	84,65	2895,20	59,19	2024,56	48,69	1665,26	85,25	2915,92	50,91	1741,26	32,32	1105,56
<b>Santa Elena</b>	<b>3703,64</b>	<b>99,44</b>	3682,91	64,55	2390,78	25,37	939,73	16,04	594,24	62,87	2328,59	17,54	649,52	4,48	165,84

**Tabla 10.** Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las provincias de Ecuador continental para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático MIROC-ESM.

Provincias del Ecuador	Extensión provincial (Km <sup>2</sup> )	Presente		MIROC-ESM											
		%	Extensión (Km <sup>2</sup> )	2050						2070					
				%	2,6	%	4,5	%	8,5	%	2,6	%	4,5	%	8,5
<b>Azuay</b>	<b>8367,74</b>	<b>21,47</b>	1796,54	27,50	2300,96	29,89	2501,34	31,38	2625,71	31,71	2653,35	24,94	2086,75	31,30	2618,80
<b>Bolívar</b>	<b>3924,75</b>	<b>17,08</b>	670,25	21,13	829,17	27,82	1091,74	26,94	1057,20	26,76	1050,29	27,64	1084,83	34,68	1361,23
<b>Cañar</b>	<b>3330,51</b>	<b>20,95</b>	697,89	19,92	663,34	21,99	732,44	23,44	780,81	22,61	753,17	20,95	697,89	23,03	766,99
<b>Carchi</b>	<b>3745,10</b>	<b>30,81</b>	1153,93	41,33	1547,79	36,53	1368,14	40,59	1520,15	41,51	1554,70	39,67	1485,60	45,39	1699,80
<b>Cotopaxi</b>	<b>6135,88</b>	<b>15,09</b>	925,91	18,81	1153,93	22,64	1388,86	21,73	1333,59	23,42	1437,23	22,64	1388,86	27,59	1692,89

<b>Chimborazo</b>	<b>6488,28</b>	<b>4,15</b>	269,48	7,24	469,87	13,42	870,63	12,14	787,71	12,78	829,17	10,22	663,34	14,27	925,91
<b>El Oro</b>	<b>5742,02</b>	<b>76,65</b>	4401,53	29,84	1713,62	24,67	1416,50	18,77	1077,92	19,01	1091,74	24,43	1402,68	15,40	884,45
<b>Esmeraldas</b>	<b>16162,00</b>	<b>71,44</b>	11546,20	43,44	7020,33	75,25	12161,20	44,85	7248,35	38,73	6260,26	64,00	10343,90	10,39	1679,08
<b>Guayas</b>	<b>15401,90</b>	<b>53,25</b>	8201,90	7,40	1140,11	1,17	179,65	2,56	393,86	1,26	193,47	2,38	366,22	0,54	82,92
<b>Imbabura</b>	<b>4622,64</b>	<b>21,82</b>	1008,83	44,99	2079,84	32,44	1499,42	43,50	2010,74	46,64	2155,85	38,56	1782,72	60,39	2791,55
<b>Loja</b>	<b>11034,90</b>	<b>52,22</b>	5762,75	41,45	4574,27	39,95	4408,44	36,94	4076,77	38,20	4214,96	38,82	4284,06	33,63	3710,55
<b>Los Ríos</b>	<b>7199,99</b>	<b>82,34</b>	5928,59	66,70	4802,29	23,61	1699,80	41,36	2978,11	26,58	1914,01	39,83	2867,56	8,25	594,24
<b>Manabí</b>	<b>19464,80</b>	<b>87,68</b>	17067,10	63,72	12403,00	51,72	10067,50	44,44	8651,04	40,26	7835,68	45,65	8885,97	13,42	2611,90
<b>Morona Santiago</b>	<b>23970,00</b>	<b>45,69</b>	10952,00	36,06	8644,13	42,81	10261,00	45,78	10972,70	43,27	10371,60	48,20	11553,10	43,96	10537,40
<b>Napo</b>	<b>12575,80</b>	<b>36,59</b>	4601,91	32,86	4132,05	39,51	4968,13	41,76	5251,43	38,68	4864,48	38,63	4857,57	48,30	6073,69
<b>Pastaza</b>	<b>29566,90</b>	<b>24,07</b>	7117,07	13,18	3897,11	19,51	5769,66	22,27	6585,02	21,03	6218,80	17,78	5258,34	16,36	4836,84
<b>Pichincha</b>	<b>9570,04</b>	<b>26,50</b>	2535,89	34,95	3344,33	33,36	3192,32	35,38	3385,79	36,61	3503,26	35,23	3371,97	41,88	4007,67
<b>Tungurahua</b>	<b>3392,70</b>	<b>15,27</b>	518,23	21,59	732,44	28,72	974,28	22,40	760,08	26,07	884,45	26,27	891,36	30,75	1043,38
<b>Zamora Chinchipe</b>	<b>10627,20</b>	<b>64,17</b>	6819,95	74,32	7897,87	65,41	6951,23	55,07	5852,58	58,97	6267,17	62,55	6647,20	52,21	5548,55
<b>Sucumbíos</b>	<b>18082,90</b>	<b>15,17</b>	2743,18	13,45	2432,24	13,03	2356,23	12,57	2273,32	11,69	2114,39	12,00	2169,67	11,50	2079,84
<b>Orellana</b>	<b>21655,20</b>	<b>13,98</b>	3026,48	2,90	628,79	5,74	1243,76	4,40	953,55	4,79	1036,47	3,57	773,90	3,29	711,71
<b>Santo Domingo de los Tsáchilas</b>	<b>3420,34</b>	<b>78,59</b>	2687,90	85,45	2922,83	86,46	2957,38	88,08	3012,66	77,98	2667,17	87,47	2991,93	45,66	1561,61
<b>Santa Elena</b>	<b>3703,64</b>	<b>99,44</b>	3682,91	75,19	2784,64	33,96	1257,58	35,26	1305,95	52,05	1927,83	37,87	1402,68	13,99	518,23

**Tabla 11.** Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las provincias de Ecuador continental para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático GISS-E2-R.

Provincias del Ecuador	Extensión provincial (Km <sup>2</sup> )	Presente		GISS-E2-R											
		%	Extensión (Km <sup>2</sup> )	2050						2070					
				%	2,6	%	4,5	%	8,5	%	2,6	%	4,5	%	8,5
<b>Azuay</b>	<b>8367,74</b>	<b>21,47</b>	1796,54	21,97	1838,00	23,37	1955,47	24,44	2045,29	22,30	1865,64	23,70	1983,11	28,24	2363,14
<b>Bolívar</b>	<b>3924,75</b>	<b>17,08</b>	670,25	26,06	1022,65	28,34	1112,47	32,04	1257,58	26,41	1036,47	31,34	1229,94	36,62	1437,23
<b>Cañar</b>	<b>3330,51</b>	<b>20,95</b>	697,89	17,01	566,60	17,01	566,60	17,63	587,33	17,22	573,51	17,84	594,24	21,99	732,44
<b>Carchi</b>	<b>3745,10</b>	<b>30,81</b>	1153,93	35,42	1326,68	40,04	1499,42	48,52	1817,27	33,03	1236,85	41,33	1547,79	51,48	1927,83
<b>Cotopaxi</b>	<b>6135,88</b>	<b>15,09</b>	925,91	18,58	1140,11	19,93	1223,03	22,18	1361,23	18,69	1147,02	20,27	1243,76	23,20	1423,41
<b>Chimborazo</b>	<b>6488,28</b>	<b>4,15</b>	269,48	5,32	345,49	7,03	456,05	8,63	559,69	5,86	380,04	7,45	483,68	10,54	684,07
<b>El Oro</b>	<b>5742,02</b>	<b>76,65</b>	4401,53	42,24	2425,33	29,24	1679,08	26,84	1540,88	34,54	1983,11	27,20	1561,61	20,46	1174,66
<b>Esmeraldas</b>	<b>16162,00</b>	<b>71,44</b>	11546,20	79,86	12907,50	78,28	12651,80	64,09	10357,80	78,24	12644,90	67,98	10986,50	32,45	5244,52
<b>Guayas</b>	<b>15401,90</b>	<b>53,25</b>	8201,90	15,84	2439,15	10,09	1554,70	6,46	995,01	14,36	2211,13	7,76	1195,39	1,35	207,29
<b>Imbabura</b>	<b>4622,64</b>	<b>21,82</b>	1008,83	37,22	1720,53	40,81	1886,37	50,97	2356,23	34,53	1596,16	43,05	1990,02	60,69	2805,37
<b>Loja</b>	<b>11034,90</b>	<b>52,22</b>	5762,75	42,83	4726,29	43,33	4781,56	36,82	4062,95	40,89	4512,08	37,51	4138,96	37,13	4097,50
<b>Los Ríos</b>	<b>7199,99</b>	<b>82,34</b>	5928,59	79,37	5714,38	72,17	5196,15	54,70	3938,57	78,31	5638,38	70,35	5064,87	11,52	829,17
<b>Manabí</b>	<b>19464,80</b>	<b>87,68</b>	17067,10	70,43	13709,00	68,05	13246,00	58,22	11332,00	70,71	13764,30	63,12	12285,60	30,67	5970,05
<b>Morona Santiago</b>	<b>23970,00</b>	<b>45,69</b>	10952,00	30,84	7393,46	33,06	7925,51	28,39	6806,13	32,98	7904,78	31,31	7504,02	26,35	6315,53
<b>Napo</b>	<b>12575,80</b>	<b>36,59</b>	4601,91	32,69	4111,32	36,10	4539,72	39,34	4947,40	33,57	4221,87	37,09	4664,10	42,14	5299,80
<b>Pastaza</b>	<b>29566,90</b>	<b>24,07</b>	7117,07	13,81	4083,68	17,46	5161,60	10,59	3130,13	15,70	4643,37	16,36	4836,84	8,65	2556,62

<b>Pichincha</b>	<b>9570,04</b>	<b>26,50</b>	2535,89	32,42	3102,49	34,73	3323,60	39,49	3779,65	31,70	3033,39	35,38	3385,79	40,79	3904,02
<b>Tungurahua</b>	<b>3392,70</b>	<b>15,27</b>	518,23	22,61	766,99	24,24	822,26	31,36	1064,11	22,40	760,08	25,05	849,90	34,62	1174,66
<b>Zamora Chinchipe</b>	<b>10627,20</b>	<b>64,17</b>	6819,95	70,09	7448,74	70,29	7469,47	68,60	7289,81	71,13	7559,29	68,21	7248,35	55,46	5894,04
<b>Sucumbíos</b>	<b>18082,90</b>	<b>15,17</b>	2743,18	14,64	2646,44	12,61	2280,23	14,71	2660,26	12,72	2300,96	12,15	2197,31	13,60	2459,88
<b>Orellana</b>	<b>21655,20</b>	<b>13,98</b>	3026,48	2,58	559,69	2,90	628,79	1,60	345,49	3,00	649,52	3,00	649,52	1,37	297,12
<b>Santo Domingo de los Tsáchilas</b>	<b>3420,34</b>	<b>78,59</b>	2687,90	85,45	2922,83	86,26	2950,47	90,30	3088,67	85,45	2922,83	87,47	2991,93	63,03	2155,85
<b>Santa Elena</b>	<b>3703,64</b>	<b>99,44</b>	3682,91	83,96	3109,40	82,09	3040,30	63,81	2363,14	84,51	3130,13	67,16	2487,52	20,90	773,90

**Tabla 12.** Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en las provincias de Ecuador continental para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático NorESM1-ME.

Provincias del Ecuador	Extensión provincial (Km <sup>2</sup> )	Presente		NorESM1-ME											
		%	Extensión (Km <sup>2</sup> )	2050						2070					
				%	2,6	%	4,5	%	8,5	%	2,6	%	4,5	%	8,5
<b>Azuay</b>	<b>8367,74</b>	<b>21,47</b>	1796,54	24,11	2017,65	25,02	2093,66	28,08	2349,32	23,86	1996,92	25,02	2093,66	30,80	2577,35
<b>Bolívar</b>	<b>3924,75</b>	<b>17,08</b>	670,25	21,65	849,90	26,41	1036,47	27,11	1064,11	21,83	856,81	26,41	1036,47	34,68	1361,23
<b>Cañar</b>	<b>3330,51</b>	<b>20,95</b>	697,89	20,12	670,25	21,37	711,71	22,20	739,35	19,50	649,52	19,92	663,34	24,27	808,44
<b>Carchi</b>	<b>3745,10</b>	<b>30,81</b>	1153,93	37,45	1402,68	37,82	1416,50	40,77	1527,06	38,56	1444,14	41,70	1561,61	45,57	1706,71
<b>Cotopaxi</b>	<b>6135,88</b>	<b>15,09</b>	925,91	18,24	1119,38	18,81	1153,93	20,38	1250,67	18,69	1147,02	18,92	1160,84	22,41	1375,05
<b>Chimborazo</b>	<b>6488,28</b>	<b>4,15</b>	269,48	7,99	518,23	8,63	559,69	11,71	760,08	7,03	456,05	8,31	538,96	13,63	884,45

<b>El Oro</b>	<b>5742,02</b>	<b>76,65</b>	4401,53	30,45	1748,17	24,07	1381,95	24,55	1409,59	33,09	1900,19	23,83	1368,14	18,17	1043,38
<b>Esmeraldas</b>	<b>16162,00</b>	<b>71,44</b>	11546,20	64,60	10440,70	62,72	10136,60	57,42	9279,83	64,69	10454,50	55,19	8920,52	34,93	5645,29
<b>Guayas</b>	<b>15401,90</b>	<b>53,25</b>	8201,90	11,53	1775,81	6,51	1001,92	3,50	538,96	11,89	1831,09	3,68	566,60	0,63	96,74
<b>Imbabura</b>	<b>4622,64</b>	<b>21,82</b>	1008,83	35,58	1644,53	36,62	1692,89	39,91	1844,91	36,32	1679,08	41,85	1934,74	50,97	2356,23
<b>Loja</b>	<b>11034,90</b>	<b>52,22</b>	5762,75	39,82	4394,62	40,26	4442,99	39,64	4373,89	40,95	4518,99	37,82	4173,50	35,63	3931,66
<b>Los Ríos</b>	<b>7199,99</b>	<b>82,34</b>	5928,59	69,39	4995,77	52,98	3814,20	38,77	2791,55	74,18	5341,26	43,86	3157,77	9,50	684,07
<b>Manabí</b>	<b>19464,80</b>	<b>87,68</b>	17067,10	72,20	14054,50	65,50	12748,50	57,93	11276,80	70,71	13764,30	54,38	10585,80	29,54	5748,93
<b>Morona Santiago</b>	<b>23970,00</b>	<b>45,69</b>	10952,00	33,09	7932,42	39,00	9348,93	35,20	8436,84	31,51	7552,38	36,70	8796,14	46,70	11193,80
<b>Napo</b>	<b>12575,80</b>	<b>36,59</b>	4601,91	43,90	5520,91	49,07	6170,43	49,62	6239,53	40,71	5120,14	48,46	6094,42	53,90	6778,49
<b>Pastaza</b>	<b>29566,90</b>	<b>24,07</b>	7117,07	32,74	9680,59	41,74	12340,90	33,89	10019,20	32,06	9480,21	34,31	10143,50	25,08	7414,19
<b>Pichincha</b>	<b>9570,04</b>	<b>26,50</b>	2535,89	34,80	3330,51	36,46	3489,44	39,35	3765,83	35,23	3371,97	37,98	3634,54	42,67	4083,68
<b>Tungurahua</b>	<b>3392,70</b>	<b>15,27</b>	518,23	18,94	642,61	18,74	635,70	22,61	766,99	18,94	642,61	19,76	670,25	23,63	801,53
<b>Zamora Chinchipe</b>	<b>10627,20</b>	<b>64,17</b>	6819,95	69,38	7372,73	64,17	6819,95	67,23	7144,71	69,25	7358,91	62,68	6661,02	52,02	5527,82
<b>Sucumbíos</b>	<b>18082,90</b>	<b>15,17</b>	2743,18	35,04	6336,26	46,77	8457,56	37,10	6709,39	37,10	6709,39	36,91	6674,84	20,48	3703,64
<b>Orellana</b>	<b>21655,20</b>	<b>13,98</b>	3026,48	25,62	5548,55	38,45	8326,28	21,73	4705,56	23,32	5051,05	26,93	5831,85	13,24	2867,56
<b>Santo Domingo de los Tsáchilas</b>	<b>3420,34</b>	<b>78,59</b>	2687,90	85,25	2915,92	86,46	2957,38	86,26	2950,47	85,45	2922,83	84,04	2874,47	58,99	2017,65
<b>Santa Elena</b>	<b>3703,64</b>	<b>99,44</b>	3682,91	91,04	3371,97	80,22	2971,20	66,60	2466,79	89,55	3316,69	70,52	2611,90	31,16	1153,93

**Tabla 13.** Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático IPSL-CM5A-LR.

Áreas Protegidas del Ecuador	Extensión (Km <sup>2</sup> )	Presente		IPSL-CM5A-LR											
		%	Extensión (Km <sup>2</sup> )	2050						2070					
				%	2,6	%	4,5	%	8,5	%	2,6	%	4,5	%	8,5
<b>Machalilla</b>	<b>481,45</b>	<b>79,59</b>	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	40,82	196,51
<b>Podocarpus</b>	<b>1385,40</b>	<b>36,17</b>	501,10	48,23	668,14	53,90	746,74	58,16	805,69	50,35	697,61	57,45	795,87	70,21	972,73
<b>Sangay</b>	<b>4883,28</b>	<b>2,82</b>	137,56	9,46	461,80	20,72	1012,03	27,77	1355,92	15,49	756,57	25,35	1238,02	37,02	1807,90
<b>Sumaco Napo-Galeras</b>	<b>2053,53</b>	<b>43,06</b>	884,30	44,50	913,77	58,85	1208,54	64,59	1326,45	51,67	1061,16	60,77	1247,84	75,60	1552,43
<b>Yasuní</b>	<b>10297,10</b>														
<b>Antisana</b>	<b>1208,54</b>			6,50	78,60	9,76	117,91	13,01	157,21	6,50	78,60	16,26	196,51	21,14	255,46
<b>Cayambe Coca</b>	<b>4067,77</b>	<b>19,08</b>	776,22	36,23	1473,83	38,89	1581,91	40,58	1650,69	34,54	1405,05	41,30	1680,16	43,24	1758,77
<b>Manglares Cayapas Mataje</b>	<b>560,06</b>	<b>29,82</b>	167,03	1,75	9,83					3,51	19,65				
<b>Cofán Bermejo</b>	<b>540,40</b>	<b>67,27</b>	363,54	25,45	137,56	34,55	186,69	27,27	147,38	30,91	167,03	27,27	147,38	21,82	117,91
<b>Cotacachi Cayapas</b>	<b>2328,65</b>	<b>26,16</b>	609,18	49,79	1159,41	48,95	1139,76	53,16	1238,02	49,79	1159,41	48,95	1139,76	48,95	1139,76
<b>Los ILinizas</b>	<b>1306,79</b>	<b>0,75</b>	9,83	3,76	49,13	8,27	108,08	9,02	117,91	3,76	49,13	9,77	127,73	15,79	206,34
<b>Mache Chindul</b>	<b>1188,89</b>	<b>100,00</b>	1188,89	80,17	953,08	77,69	923,60	53,72	638,66	86,78	1031,68	52,07	619,01	3,31	39,30

<b>Manglares Churute</b>	<b>501,10</b>	<b>3,92</b>	19,65												
<b>Pululahua</b>	<b>39,30</b>			75,00	29,48	99,99	39,30	99,99	39,30	75,01	29,48			100,00	39,30
<b>Cuyabeno</b>	<b>6023,04</b>	<b>4,40</b>	265,29												
<b>Manglar el Estuario del Río Muisne</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65	99,99	19,65			50,02	9,83	99,99	19,65	50,02	9,83		
<b>La Chiquita</b>	<b>19,65</b>														
<b>Parque Lago</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65												
<b>El Cóndor</b>	<b>78,60</b>			12,51	9,83					12,51	9,83			12,50	9,83
<b>El Zarza</b>	<b>39,30</b>			100,00	39,30			25,01	9,83	100,00	39,30	25,01	9,83	100,00	39,30
<b>El Quimi</b>	<b>108,08</b>					54,26	58,65	63,64	68,78	54,55	58,95		58,65	100,00	108,08
<b>Manglares El Morro</b>	<b>117,91</b>	<b>16,67</b>	19,65												
<b>Pacoche</b>	<b>157,21</b>	<b>43,75</b>	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	37,50	58,95	43,75	68,78	43,75	68,78	25,00	39,30
<b>Isla Santay</b>	<b>29,48</b>	<b>66,66</b>	19,65												
<b>El Pambilar</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65							50,00	9,83				
<b>Cerro Plateado</b>	<b>255,46</b>	<b>73,08</b>	186,69	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46
<b>Arenillas</b>	<b>137,56</b>	<b>50,00</b>	68,78												
<b>Llanganates</b>	<b>2240,22</b>			12,72	284,94	18,42	412,67	24,56	550,23	15,79	353,72	27,63	619,01	35,09	786,04
<b>Manglares el Salado</b>	<b>98,26</b>	<b>90,00</b>	88,43												
<b>Colonso Chalupas</b>	<b>913,77</b>	<b>6,45</b>	58,95	26,88	245,64	41,94	383,20	55,91	510,93	34,41	314,42	53,76	491,28	72,04	658,31
<b>Siete Iglesias</b>	<b>157,21</b>	<b>18,75</b>	29,48	43,75	68,78	50,00	78,60	50,00	78,60	56,25	88,43	56,25	88,43	56,25	88,43
<b>Rio Negro-Sopladora</b>	<b>316,61</b>	<b>3,13</b>	9,89	12,50	39,58	12,50	39,58	18,75	59,36	12,50	39,58	12,50	39,58	31,25	98,94

<b>La Bonita</b>	<b>544,18</b>	<b>7,27</b>	39,58	14,55	79,15	12,73	69,26	18,18	98,94	10,91	59,36	21,82	118,73	25,45	138,52
<b>Bellavista</b>	<b>9,89</b>					100,00	9,89	100,00	9,89			100,00	9,89	100,00	9,89
<b>Marcos Pérez de Castilla</b>	<b>89,05</b>													11,11	9,89
<b>Samama Mumbes</b>	<b>29,48</b>	<b>100,00</b>	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	66,67	19,65	100,00	29,48	66,67	19,65	33,31	9,82

**Tabla 14.** Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático MIROC-ESM.

Áreas Protegidas del Ecuador	Extensión (Km <sup>2</sup> )	Presente		MIROC-ESM											
		%	Extensión (Km <sup>2</sup> )	2050						2070					
				%	2,6	%	4,5	%	8,5	%	2,6	%	4,5	%	8,5
<b>Machalilla</b>	<b>481,45</b>	<b>79,59</b>	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	73,47	353,72
<b>Podocarpus</b>	<b>1385,40</b>	<b>36,17</b>	501,10	57,45	795,87	56,03	776,22	60,99	845,00	67,38	933,42	46,81	648,48	56,74	786,04
<b>Sangay</b>	<b>4883,28</b>	<b>2,82</b>	137,56	5,84	284,94	24,35	1188,89	26,56	1296,97	23,94	1169,24	24,35	1188,89	34,61	1689,99
<b>Sumaco Napo-Galeras</b>	<b>2053,53</b>	<b>43,06</b>	884,30	39,71	815,52	46,89	962,90	61,24	1257,67	48,33	992,38	50,72	1041,51	75,12	1542,61
<b>Yasuní</b>	<b>10297,10</b>														
<b>Antisana</b>	<b>1208,54</b>			3,25	39,30	5,69	68,78	6,50	78,60	7,32	88,43	8,13	98,26	18,70	225,99
<b>Cayambe Coca</b>	<b>4067,77</b>	<b>19,08</b>	776,22	36,23	1473,83	31,40	1277,32	34,30	1395,22	34,06	1385,40	35,02	1424,70	42,75	1739,12

<b>Manglares Cayapas Mataje</b>	<b>560,06</b>	<b>29,82</b>	167,03			24,56	137,56					17,54	98,26		
<b>Cofán Bermejo</b>	<b>540,40</b>	<b>67,27</b>	363,54	61,82	334,07	49,09	265,29	23,64	127,73	34,55	186,69	32,73	176,86	23,64	127,73
<b>Cotacachi Cayapas</b>	<b>2328,65</b>	<b>26,16</b>	609,18	51,90	1208,54	40,08	933,42	48,95	1139,76	50,21	1169,24	47,68	1110,28	52,74	1228,19
<b>Los ILinizas</b>	<b>1306,79</b>	<b>0,75</b>	9,83	3,76	49,13	8,27	108,08	8,27	108,08	9,02	117,91	9,02	117,91	15,04	196,51
<b>Mache Chindul</b>	<b>1188,89</b>	<b>100,00</b>	1188,89	72,73	864,65	85,12	1012,03	68,59	815,52	66,94	795,87	72,73	864,65	11,57	137,56
<b>Manglares Churute</b>	<b>501,10</b>	<b>3,92</b>	19,65												
<b>Pululahua</b>	<b>39,30</b>			75,00	29,48	50,00	19,65	75,00	29,48	75,00	29,48	75,00	29,48	100,00	39,30
<b>Cuyabeno</b>	<b>6023,04</b>	<b>4,40</b>	265,29												
<b>Manglar el Estuario del Río Muisne</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65	100,00	19,65	100,00	19,65	50,00	9,83	50,00	9,83	50,00	9,83		
<b>La Chiquita</b>	<b>19,65</b>														
<b>Parque Lago</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65												
<b>El Cóndor</b>	<b>78,60</b>			12,50	9,83	12,50	9,83	12,50	9,83	12,50	9,83	12,50	9,83	25,00	19,65
<b>El Zarza</b>	<b>39,30</b>			100,00	39,30	100,00	39,30	100,00	39,30	100,00	39,30	100,00	39,30	100,00	39,30
<b>El Quimi</b>	<b>108,08</b>			63,64	68,78	81,82	88,43	100,00	108,08	100,00	108,08	81,82	88,43	100,00	108,08
<b>Manglares El Morro</b>	<b>117,91</b>	<b>16,67</b>	19,65												
<b>Pacoche</b>	<b>157,21</b>	<b>43,75</b>	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	37,50	58,95
<b>Isla Santay</b>	<b>29,48</b>	<b>66,66</b>	19,65												
<b>El Pambilar</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65	50,00	9,83	50,00	9,83	50,00	9,83	50,00	9,83	50,00	9,83		

<b>Cerro Plateado</b>	<b>255,46</b>	<b>73,08</b>	186,69	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46	84,62	216,16	84,62	216,16
<b>Arenillas</b>	<b>137,56</b>	<b>50,00</b>	68,78												
<b>Llanganates</b>	<b>2240,22</b>			7,46	167,03	12,28	275,12	14,47	324,24	11,40	255,46	13,60	304,59	25,00	560,06
<b>Manglares el Salado</b>	<b>98,26</b>	<b>90,00</b>	88,43												
<b>Colonso Chalupas</b>	<b>913,77</b>	<b>6,45</b>	58,95	17,20	157,21	29,03	265,29	37,63	343,89	32,26	294,77	38,71	353,72	69,89	638,66
<b>Siete Iglesias</b>	<b>157,21</b>	<b>18,75</b>	29,48	31,25	49,13	31,25	49,13	31,25	49,13	43,75	68,78	18,75	29,48	31,25	49,13
<b>Rio Negro-Sopladora</b>	<b>316,61</b>	<b>3,13</b>	9,89	9,38	29,68	15,63	49,47	28,13	89,05	21,88	69,26	12,50	39,58	34,38	108,84
<b>La Bonita</b>	<b>544,18</b>	<b>7,27</b>	39,58	12,73	69,26	9,09	49,47	16,36	89,05	16,36	89,05	14,55	79,15	27,27	148,41
<b>Bellavista</b>	<b>9,89</b>													100,00	9,89
<b>Marcos Pérez de Castilla</b>	<b>89,05</b>														
<b>Samama Mumbes</b>	<b>29,48</b>	<b>100,00</b>	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	66,67	19,65

**Tabla 15.** Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático GISS-E2-R.

Áreas Protegidas del Ecuador	Extensión (Km <sup>2</sup> )	Presente		GISS-E2-R											
		%	Extensión (Km <sup>2</sup> )	2050						2070					
				%	2,6	%	4,5	%	8,5	%	2,6	%	4,5	%	8,5
<b>Machalilla</b>	<b>481,45</b>	<b>79,59</b>	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	81,63	393,02
<b>Podocarpus</b>	<b>1385,40</b>	<b>36,17</b>	501,10	45,39	628,83	46,10	638,66	48,23	668,14	46,10	638,66	47,52	658,31	57,45	795,87
<b>Sangay</b>	<b>4883,28</b>	<b>2,82</b>	137,56	7,24	353,72	10,26	501,10	13,88	677,96	7,85	383,20	10,87	530,58	19,72	962,90
<b>Sumaco Napo-Galeras</b>	<b>2053,53</b>	<b>43,06</b>	884,30	35,89	736,91	43,06	884,30	36,84	756,57	44,02	903,95	45,93	943,25	49,28	1012,03
<b>Yasuní</b>	<b>10297,10</b>														
<b>Antisana</b>	<b>1208,54</b>			6,50	78,60	8,94	108,08	17,07	206,34	4,88	58,95	9,76	117,91	23,58	284,94
<b>Cayambe Coca</b>	<b>4067,77</b>	<b>19,08</b>	776,22	35,27	1434,53	33,57	1365,75	42,75	1739,12	34,30	1395,22	35,75	1454,18	45,41	1847,20
<b>Manglares Cayapas Mataje</b>	<b>560,06</b>	<b>29,82</b>	167,03	54,39	304,59	52,63	294,77	17,54	98,26	54,39	304,59	22,81	127,73		
<b>Cofán Bermejo</b>	<b>540,40</b>	<b>67,27</b>	363,54	83,64	451,97	54,55	294,77	80,00	432,32	54,55	294,77	47,27	255,46	67,27	363,54
<b>Cotacachi Cayapas</b>	<b>2328,65</b>	<b>26,16</b>	609,18	54,85	1277,32	60,76	1414,88	65,40	1522,96	50,21	1169,24	61,60	1434,53	70,46	1640,86
<b>Los Ilinizas</b>	<b>1306,79</b>	<b>0,75</b>	9,83	6,02	78,60	7,52	98,26	11,28	147,38	6,02	78,60	8,27	108,08	14,29	186,69
<b>Mache Chindul</b>	<b>1188,89</b>	<b>100,00</b>	1188,89	79,34	943,25	74,38	884,30	57,85	687,79	79,34	943,25	71,90	854,82	47,11	560,06
<b>Manglares Churute</b>	<b>501,10</b>	<b>3,92</b>	19,65												

<b>Pululahua</b>	<b>39,30</b>			50,00	19,65	75,00	29,48	75,00	29,48	50,00	19,65	75,00	29,48	100,00	39,30
<b>Cuyabeno</b>	<b>6023,04</b>	<b>4,40</b>	265,29												
<b>Manglar el Estuario del Río Muisne</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65	50,00	9,83	100,00	19,65			99,99	19,65	50,00	9,83	50,00	9,83
<b>La Chiquita</b>	<b>19,65</b>			100,00	19,65	100,00	19,65	100,00	19,65	99,99	19,65	50,00	9,83		
<b>Parque Lago</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65												
<b>El Cóndor</b>	<b>78,60</b>			12,50	9,83	12,50	9,83			12,50	9,83	12,50	9,83		
<b>El Zarza</b>	<b>39,30</b>			25,00	9,83	100,00	39,30	100,00	39,30	50,00	19,65	100,00	39,30		
<b>El Quimi</b>	<b>108,08</b>							9,09	9,83			36,36	39,30	54,55	58,95
<b>Manglares El Morro</b>	<b>117,91</b>	<b>16,67</b>	19,65												
<b>Pacocha</b>	<b>157,21</b>	<b>43,75</b>	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78
<b>Isla Santay</b>	<b>29,48</b>	<b>66,66</b>	19,65												
<b>El Pambilar</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65	50,00	9,83	50,00	9,83	50,00	9,83	50,00	9,83	50,00	9,83		
<b>Cerro Plateado</b>	<b>255,46</b>	<b>73,08</b>	186,69	96,15	245,64	100,00	255,46	100,00	255,46	96,15	245,64	100,00	255,46	100,00	255,46
<b>Arenillas</b>	<b>137,56</b>	<b>50,00</b>	68,78												
<b>Llanganates</b>	<b>2240,22</b>			10,53	235,81	10,53	235,81	22,37	501,10	10,09	225,99	12,28	275,12	29,39	658,31
<b>Manglares el Salado</b>	<b>98,26</b>	<b>90,00</b>	88,43												
<b>Colonso Chalupas</b>	<b>913,77</b>	<b>6,45</b>	58,95	22,58	206,34	33,33	304,59	33,33	304,59	21,51	196,51	37,63	343,89	46,24	422,50
<b>Siete Iglesias</b>	<b>157,21</b>	<b>18,75</b>	29,48	31,25	49,13	37,50	58,95	50,00	78,60	37,50	58,95	43,75	68,78	62,50	98,26
<b>Rio Negro-Sopladora</b>	<b>316,61</b>	<b>3,13</b>	9,89	6,25	19,79	9,38	29,68	15,63	49,47	9,38	29,68	9,38	29,68	18,75	59,36
<b>La Bonita</b>	<b>544,18</b>	<b>7,27</b>	39,58	10,91	59,36	10,91	59,36	18,18	98,94	9,09	49,47	10,91	59,36	25,45	138,52
<b>Bellavista</b>	<b>9,89</b>													100,00	9,89

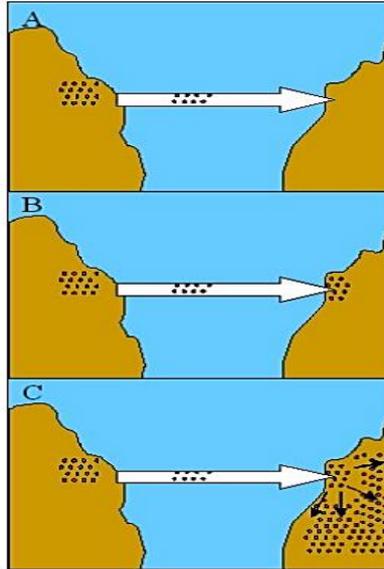
<b>Marco Pérez de Castilla</b>	<b>89,05</b>														
<b>Samama Mumbes</b>	<b>29,48</b>	<b>100,00</b>	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	66,67	19,65

**Tabla 16.** Registros de extensión territorial idónea para el caracol africano (*Achatina fulica*) en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador para los escenarios de cambio climático del laboratorio climático NorESM1-ME.

Áreas Protegidas del Ecuador	Extensión (Km <sup>2</sup> )	Presente		NorESM1-ME											
		%	Extensión (Km <sup>2</sup> )	2050						2070					
				%	2,6	%	4,5	%	8,5	%	2,6	%	4,5	%	8,5
<b>Machalilla</b>	<b>481,45</b>	<b>79,59</b>	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20	79,59	383,20
<b>Podocarpus</b>	<b>1385,40</b>	<b>36,17</b>	501,10	45,39	628,83	48,23	668,14	56,74	786,04	46,10	638,66	48,23	668,14	60,99	845,00
<b>Sangay</b>	<b>4883,28</b>	<b>2,82</b>	137,56	6,44	314,42	12,88	628,83	12,07	589,53	6,04	294,77	10,46	510,93	29,38	1434,53
<b>Sumaco Napo-Galeras</b>	<b>2053,53</b>	<b>43,06</b>	884,30	59,81	1228,19	70,33	1444,35	71,77	1473,83	59,33	1218,36	70,33	1444,35	80,38	1650,69
<b>Yasuní</b>	<b>10297,10</b>			0,48	49,13	5,63	579,71			0,38	39,30	0,48	49,13		
<b>Antisana</b>	<b>1208,54</b>			4,88	58,95	6,50	78,60	7,32	88,43	4,88	58,95	6,50	78,60	10,57	127,73
<b>Cayambe Coca</b>	<b>4067,77</b>	<b>19,08</b>	776,22	25,60	1041,51	24,40	992,38	26,09	1061,16	25,60	1041,51	25,60	1041,51	32,37	1316,62
<b>Manglares Cayapas Mataje</b>	<b>560,06</b>	<b>29,82</b>	167,03	14,04	78,60	10,53	58,95	1,75	9,83	15,79	88,43	1,75	9,83		

<b>Cofán Bermejo</b>	<b>540,40</b>	<b>67,27</b>	363,54	30,91	167,03	23,64	127,73	38,18	206,34	30,91	167,03	21,82	117,91	60,00	324,24
<b>Cotacachi Cayapas</b>	<b>2328,65</b>	<b>26,16</b>	609,18	29,54	687,79	36,71	854,82	38,82	903,95	27,85	648,48	32,07	746,74	60,34	1405,05
<b>Los Ilinizas</b>	<b>1306,79</b>	<b>0,75</b>	9,83	1,50	19,65	3,76	49,13	3,76	49,13	2,26	29,48	3,76	49,13	14,29	186,69
<b>Mache Chindul</b>	<b>1188,89</b>	<b>100,00</b>	1188,89	90,91	1080,81	82,64	982,55	76,86	913,77	90,08	1070,98	73,55	874,47	79,34	943,25
<b>Manglares Churute</b>	<b>501,10</b>	<b>3,92</b>	19,65									0,00			
<b>Pululahua</b>	<b>39,30</b>			75,00	29,48	75,00	29,48	100,00	39,30	75,00	29,48	75,00	29,48	100,00	39,30
<b>Cuyabeno</b>	<b>6023,04</b>	<b>4,40</b>	265,29	4,73	284,94		461,80	4,57	275,12	5,71	343,89	3,92	235,81		
<b>Manglar el Estuario del Río Muisne</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65	100,00	19,65	100,00	19,65	100,00	19,65	50,00	9,83	50,00	9,83	50,00	9,83
<b>La Chiquita</b>	<b>19,65</b>														
<b>Parque Lago</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65												
<b>El Cóndor</b>	<b>78,60</b>			12,50	9,83	12,50	9,83	12,50	9,83	12,50	9,83	12,50	9,83	12,50	9,83
<b>El Zarza</b>	<b>39,30</b>			100,00	39,30	100,00	39,30	100,00	39,30			100,00	39,30	100,00	39,30
<b>El Quimi</b>	<b>108,08</b>					54,55	58,95	54,55	58,95			36,36	39,30	100,00	108,08
<b>Manglares El Morro</b>	<b>117,91</b>	<b>16,67</b>	19,65												
<b>Pacoche</b>	<b>157,21</b>	<b>43,75</b>	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78	43,75	68,78
<b>Isla Santay</b>	<b>29,48</b>	<b>66,66</b>	19,65												
<b>El Pambilar</b>	<b>19,65</b>	<b>99,99</b>	19,65	50,00	9,83	100,00	19,65	100,00	19,65	100,00	19,65	100,00	19,65		
<b>Cerro Plateado</b>	<b>255,46</b>	<b>73,08</b>	186,69	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46	100,00	255,46
<b>Arenillas</b>	<b>137,56</b>	<b>50,00</b>	68,78												
<b>Llanganates</b>	<b>2240,22</b>			7,46	167,03	9,65	216,16	12,72	284,94	5,70	127,73	10,96	245,64	13,16	294,77

<b>Manglares el Salado</b>	<b>98,26</b>	<b>90,00</b>	88,43												
<b>Colonso Chalupas</b>	<b>913,77</b>	<b>6,45</b>	58,95	30,11	275,12	37,63	343,89	39,78	363,54	27,96	255,46	35,48	324,24	52,69	481,45
<b>Siete Iglesias</b>	<b>157,21</b>	<b>18,75</b>	29,48	18,75	29,48	6,25	9,83	31,25	49,13	31,25	49,13	31,25	49,13	25,00	39,30
<b>Rio Negro-Sopladora</b>	<b>316,61</b>	<b>3,13</b>	9,89			3,13	9,89	6,25	19,79	6,25	19,79	6,25	19,79	28,13	89,05
<b>La Bonita</b>	<b>544,18</b>	<b>7,27</b>	39,58	9,09	49,47	9,09	49,47	10,91	59,36	9,09	49,47	9,09	49,47	12,73	69,26
<b>Bellavista</b>	<b>9,89</b>														
<b>Marcos Pérez de Castilla</b>	<b>89,05</b>														
<b>Samama Mumbes</b>	<b>29,48</b>	<b>100,00</b>	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	100,00	29,48	66,67	19,65



**Figura 38.** Proceso de invasión biológica de las especies.

**Fuente:** (27)



**Figura 39.** Características morfológicas del caracol africano (*Achatina fulica*).

**Fuente:** (85)

**Anexo 4.** Herramientas empleadas en el proyecto de investigación para la modelación de la especie.

**Anexo 5.1.** Plataforma internacional GBIF proporcionó registros de la especie exótica invasora en el país.

The screenshot shows the GBIF Occurrence Search interface. The search term is 'achatina fulica' and the results are for Ecuador. The table displays the following columns: Nombre científico, País o zona, Coordenadas, Mes año, Base de registro, and Co. The results are as follows:

Nombre científico	País o zona	Coordenadas	Mes año	Base de registro	Co
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	1,5 S, 78,1 W	2020 julio	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	1.0S, 77.8W	2019 abril	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	1.0S, 77.8W	2019 abril	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	2,1 S, 79,9 W	2019 agosto	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	3,3 S, 80,0 W	Junio de 2020	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	1.0S, 77.8W	2019 abril	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	0,3 S, 76,0 W	2019 marzo	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	0.0S, 78.8W	2016 abril	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	1.0S, 77.8W	2019 abril	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	1.0S, 77.8W	2019 abril	Observación humana	Ob
Lissachatina fulica (Férussac, 1821)	Ecuador	0,5 N, 78,2 W	2019 septiembre	Observación humana	Ob

**Anexo 6.2.** NicheToolbox se utilizó para la validación del modelo y la obtención del análisis del nicho de la especie.

The screenshot shows the NicheToolbox interface. The Confusion matrix is as follows:

	Observed presence	Observed absence
Predicted presence	a = 28	b = 7
Predicted absence	c = 11	d = 62

The Kappa metric is calculated as:

$$Kappa = \frac{((a + d) - (((a + c) * (a + b) + (b + d) * (c + d)) / N))}{(N - (((a + c) * (a + b) + (b + d) * (c + d)) / N))}$$

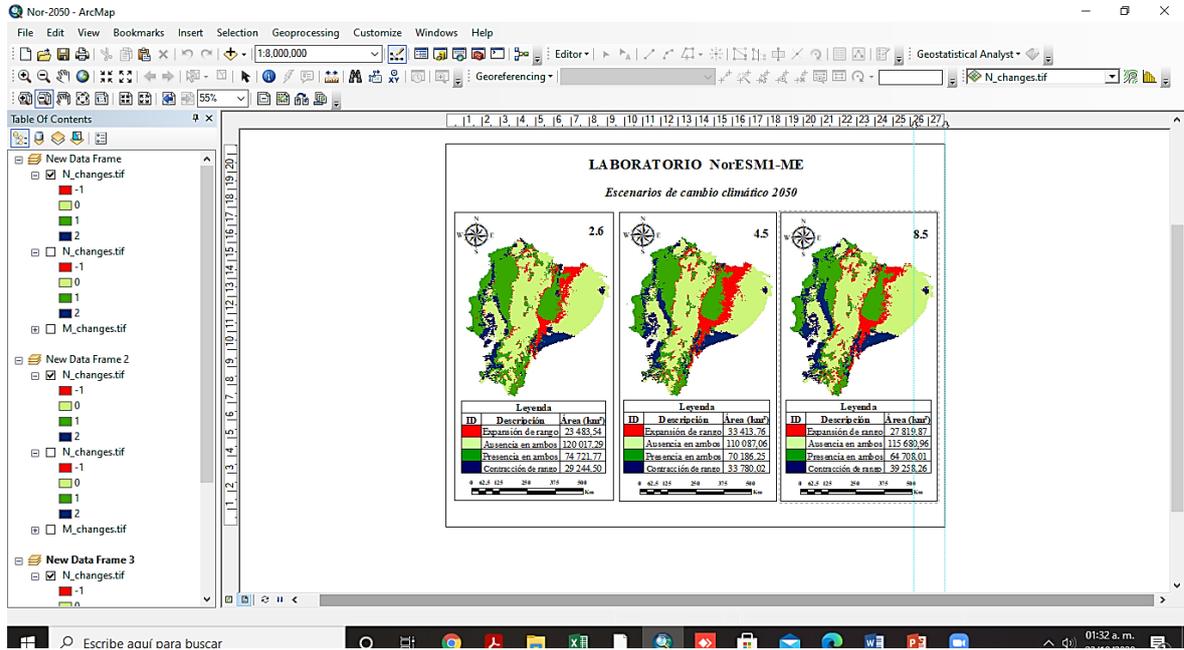
The TSS metric is calculated as:

$$TSS = \frac{a}{(a + c)} + \frac{d}{(b + d)} - 1$$

The Prevalencia metric is defined as the proportion of presencias con respecto al total de los puntos (presencias y ausencias o pseudoausencias). Para ejemplificarlo se usara la figura 3, donde 4 puntos son de presencia y 4 de pseudoausencia, entonces la prevalencia es de 0.5, ya que la mitad de los datos corresponden a las presencias.

The figure 3 shows a circular area with 8 points: 4 red stars (presencias) and 4 blue dots (pseudoausencias). The area is labeled 'Área predicha por el algoritmo' and 'Datos de ausencia o Pseudoausencia'.

**Anexo 7.3.** Software Arcgis utilizado para el análisis de los mapas resultantes de la modelación y para generar los mapas finales con las respectivas representaciones de cada escenario de cambio climático.



**Documento** [Tesis-Jennifer Sanchez.docx \(D82622126\)](#)  
**Presentado** 2020-10-24 09:54 (-05:00)  
**Presentado por** yferrer@uteq.edu.ec  
**Recibido** jurdanigo.uteq@analysis.orkund.com  
**Mensaje** Tesis-Jennifer Sánchez [Mostrar el mensaje completo](#)

7% de estas 132 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes		Bloques
⊕	Categoría	Enlace/nombre de archivo
⊕		<a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Sitios_relevantes_para_la_obser...">https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Sitios_relevantes_para_la_obser...</a> <input type="checkbox"/>
⊕	>	<a href="https://quizlet.com/142667614/ecuador-geografia-flash-cards/">https://quizlet.com/142667614/ecuador-geografia-flash-cards/</a> <input type="checkbox"/>
⊕		<a href="https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.00570/full">https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.00570/full</a> <input type="checkbox"/>
⊖	<b>Fuentes alternativas</b>	
⊕		<a href="https://www.studocu.com/en/document/escuela-politecnica-naciona...">https://www.studocu.com/en/document/escuela-politecnica-naciona...</a> <input type="checkbox"/>
⊕		<a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Ecuador">https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Ecuador</a> <input type="checkbox"/>
⊕	<b>Fuentes no usadas</b>	

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** Tesis-Jennifer Sanchez.docx (D82622126)  
**Submitted:** 10/24/2020 4:54:00 PM  
**Submitted By:** yferrer@uteq.edu.ec  
**Significance:** 7 %

Sources included in the report:

<https://quizlet.com/142667614/ecuador-geografia-flash-cards/>

Instances where selected sources appear:

59