



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables

### Maestría en Biodiversidad y Cambio Climático

**Análisis de la dinámica y distribución espacial-actual y futura de cinco especies en Sistemas Agroforestales de la Región Sur del Ecuador bajo escenarios de cambio climático.**

**Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Magister en Biodiversidad y Cambio Climático.**

#### **AUTOR:**

Willam Alexander Zhingre Jiménez

#### **DIRECTOR:**

Ing. Anibal Eduardo Gonzales González Mg Sc

#### **CO-DIRECTOR:**

Ing. Cesar Bernardo Benavidez Silva Mg Sc

Loja - Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 30 de agosto del 2023

Ing. Anibal Eduardo Gonzales González Mg Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo Titulación denominado: **Análisis de la dinámica y distribución espacial-actual y futura de cinco especies en Sistemas Agroforestales de la Región Sur del Ecuador bajo escenarios de cambio climático.**, previo a la obtención del título de **Título de Magister** de autoría del estudiante **Willam Alexander Zhingre Jiménez**, con cédula de identidad Nro. 1150077830, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
ANIBAL EDUARDO  
GONZALEZ GONZALEZ

Ing. Anibal Eduardo Gonzales González Mg Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Willam Alexander Zhingre Jiménez**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1150077830

**Fecha:** 8 de marzo del 2024.

**Correo electrónico:** willamzjz@gmail.com

**Teléfono:** 0967908062

**Carta de autorización por parte del autor para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación**

Yo **Willam Alexander Zhingre Jiménez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis de la dinámica y distribución espacial-actual y futura de cinco especies en Sistemas Agroforestales de la Región Sur del Ecuador bajo escenarios de cambio climático.**, como requisito para optar el título de **Magister en Biodiversidad y Cambio Climático**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de marzo del dos mil veinticuatro.

**Firma:**

**Autor:** Willam Alexander Zhingre Jiménez.

**Cédula:** 1150077830

**Dirección:** Loja, Barrio Época. Calle Alemania y Hungría.

**Correo Electrónico:** .wazhingrej@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0967908062

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Aníbal Eduardo Gonzales González Mg Sc.

## **Dedicatoria**

Con profundo amor hacia mis padres, Willam Zhingre y Sandra Jiménez, quienes son el pilar de mi vida y mi constante fuente de inspiración para seguir adelante.

Agradezco a mi hermano, Wagner Estuardo, y a mi hermana, Melany Nohely, por su amor incondicional y su amistad sincera.

También quiero expresar mi gratitud hacia mi abuelita Rosa, por sus sabios consejos, su amor inquebrantable y su cariño incondicional. Ella es el vivo ejemplo de una mujer valiente y admirable a quien amo y admiro profundamente.

*Willam Alexander Zhingre Jiménez*

## **Agradecimiento**

Expreso mis más sinceros agradecimientos a las siguientes instituciones y personas que contribuyeron en el desarrollo de la presente investigación.

A la Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, a la Maestría de Biodiversidad y Cambio Climático, al Centro de Investigaciones Territoriales y principalmente a sus docentes Investigadores por haber impartido sus conocimientos que contribuyeron a mi formación profesional.

De la misma manera expreso mi extensa gratitud al Ing. Cesar Benavidez y a el Ingeniero Aníbal González, miembros del comité asesor de este trabajo, quienes dedicaron su tiempo para despejar dudas y encaminar mi proyecto de investigación

*Willam Alexander Zhingre Jiménez*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>1</b>
Índice de tablas: .....	4
Índice de figuras: .....	4
Índice de anexos: .....	5
<b>1. Título</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>8</b>
Abstract.....	9
<b>3. Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>13</b>
4.1. El cambio climático.....	13
4.2. Impactos del cambio climático en la agricultura.....	13
4.2.1 <i>Impactos del cambio climático en la biodiversidad.</i> .....	14
4.3. Importancia de los sistemas forestales. ....	15
4.3.1 <i>El cambio climático y los sistemas Agroforestales.</i> .....	15
4.3.2 <i>Incidencia del cambio climático sobre la distribución de especies.</i> .....	15
4.4. Fonología de especies de interés de sistemas agroforestales. ....	16
4.4.1 <i>Inga edulis.</i> .....	16
4.4.2 <i>Pouteria sapota.</i> .....	17

4.4.3. <i>Ochroma pyramidale</i> .....	18
4.4.4. <i>Vachellia macracantha</i> .....	19
4.4.5. <i>Myrsine andina</i> .....	20
4.5. Bases para el modelamiento de especies.....	20
4.5.1. <i>Modelamiento de especies</i> .....	21
4.6. Etapas de modelamiento.....	21
4.6.1. <i>Calibración del modelo</i> .....	21
4.6.2. <i>Evaluación del modelo</i> .....	22
4.6.3. <i>Predicción y proyección espacial</i> .....	22
4.7. Algoritmos para generar modelos de distribución.....	23
<b>5. Metodología.....</b>	<b>24</b>
5.1. Área de estudio.....	24
5.2. Recopilación de registro de presencia.....	25
5.3. Filtrado de puntos de presencia.....	26
5.4. Creación de puntos de pseudoausencia.....	26
5.5. Compilación de datos puntos de presencias y ausencia.....	26
5.6. Recopilación de variables bioclimáticas.....	26
5.6.1. <i>Corte y extracción de variables bioclimáticas</i> .....	27
5.7. Etapas de modelación de distribución potencial.....	27
5.7.1. <i>Calibración</i> .....	28
5.7.2. <i>Evaluación de modelos</i> .....	28
5.7.3. <i>Ensamble/Proyección espacial</i> .....	28
<b>6. Resultados.....</b>	<b>29</b>
6.1. Evaluar que variables bioclimáticas determinan la distribución potencial de cinco especies que forman parte de un sistema agroforestal de la región sur del Ecuador.....	29
6.1.1. <i>Vachellia macracantha</i> .....	31
6.1.2. <i>Ochroma pyramidale</i> .....	31



6.1.3. <i>Inga Edulis</i> .....	32
6.1.4. <i>Myrsine Andina</i> .....	33
6.1.5. <i>Pouteria sapota</i> .....	34
6.2. Analizar la dinámica y distribución potencial de las cinco especies a evaluar que forman parte de un sistema agroforestal de la región sur del Ecuador bajo escenarios de cambio climático.....	35
6.2.1. <i>Vachellia macracantha</i> .....	36
6.2.2. <i>Ochroma pyramidale</i> .....	40
6.2.3. <i>Inga edulis</i> .....	43
6.2.3. <i>Myrsine andina</i> .....	46
6.2.3. <i>Pouteria sapota</i> .....	49
<b>7. Discusión</b> .....	<b>52</b>
<b>8. Conclusiones</b> .....	<b>56</b>
<b>9. Recomendaciones</b> .....	<b>58</b>
<b>10. Bibliografía</b> .....	<b>59</b>
<b>11. Anexos</b> .....	<b>69</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Métodos de modelación. ....	23
<b>Tabla 2.</b> Variables Topográficas obtenidas de Geo portal-Ecuador.....	24
<b>Tabla 3.</b> Registros de presencia.....	25
<b>Tabla 4.</b> Registro de presencia y ausencia de especie. ....	26
<b>Tabla 5.</b> Variables bioclimáticas obtenidas de CHELSA.....	27
<b>Tabla 6.</b> Evaluación de variables bioclimáticas para las cinco especies en la region sur del Ecuador.....	29
<b>Tabla 7.</b> Variables bioclimáticas que determinaron la distribución potencial de las cinco especies en sistemas agroforestales. ....	30
<b>Tabla 8.</b> Importancia de Variables bioclimáticas que determinaron la distribución potencial de las cinco especies en sistemas agroforestales. ....	30
<b>Tabla 9.</b> Área total de ganancia, perdida y persistencia escenario 2.6. ....	35
<b>Tabla 10.</b> Área total de ganancia, perdida y persistencia escenario 8.5.....	35

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio región sur del Ecuador .....	25
<b>Figura 2.</b> Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas para los modelos de distribución geográfica potencial de <i>Vachellia macracantha</i> en la región sur del Ecuador. ....	31
<b>Figura 3.</b> Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas para los modelos de distribución geográfica potencial de <i>Ochroma pyramidale</i> en la región sur del Ecuador. ....	32
<b>Figura 4.</b> Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas, para los modelos de distribución geográfica potencial de <i>Inga Edulis</i> en la región Sur del Ecuador. ....	33
<b>Figura 5.</b> Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas, para los modelos de distribución geográfica potencial de <i>Myrsine Andina</i> en la región sur del Ecuador. ....	33
<b>Figura 6.</b> Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas , para los modelos de distribución geográfica potencial de <i>Pouteria sapota</i> en la región sur del Ecuador. ....	34

<b>Figura 7.</b> Distribución geográfica potencial de la especie <i>Vachellia macracantha</i> en la región sur del Ecuador .....	39
<b>Figura 8.</b> Distribución potencial de la especie Distribución geográfica potencial de la especie <i>Ochroma pyramidale</i> en la región sur del Ecuador. ....	42
<b>Figura 9.</b> Distribución potencial de la especie Distribución geográfica potencial de la especie <i>Inga edulis</i> en la región sur del Ecuador. ....	45
<b>Figura 10.</b> Distribución geográfica potencial de la especie <i>Myrsine andina</i> en la región sur del Ecuador. ....	48
<b>Figura 11.</b> Distribución geográfica potencial de la especie <i>Pouteria sapota</i> en la región sur del Ecuador. ....	51

#### Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Script Utilizado para el modelamiento. ....	69
<b>Anexo 2.</b> Evaluación de modelos TSS y ROC.....	78
<b>Anexo 3.</b> Evaluación de Jackknife- <i>Vachellia macracantha</i> . ....	80
<b>Anexo 4.</b> Evaluación de Jackknife- <i>Ochroma pyramidale</i> . ....	81
<b>Anexo 5.</b> Evaluación de Jackknife- <i>Inga edulis</i> . ....	82
<b>Anexo 6.</b> Evaluación de Jackknife- <i>Myrsine andina</i> . ....	83
<b>Anexo 7.</b> Evaluación de Jackknife- <i>Pouteria sapota</i> . ....	84
<b>Anexo 8.</b> Factor ambientales-Altitud <i>Vachellia macracantha</i> . ....	85
<b>Anexo 9.</b> Factor ambientales-Precipitación <i>Vachellia macracantha</i> . ....	85
<b>Anexo 10.</b> Factor ambientales-Temperatura <i>Vachellia macracantha</i> . ....	86
<b>Anexo 11.</b> Factores ambientales-Altitud <i>Ochroma pyramidale</i> . ....	86
<b>Anexo 12.</b> Factores ambientales-Precipitación <i>Ochroma pyramidale</i> . ....	87
<b>Anexo 13.</b> Factores ambientales-Temperatura- <i>Ochroma pyramidale</i> . ....	87
<b>Anexo 14.</b> Factores ambientales-Altitud <i>Inga edulis</i> . ....	88
<b>Anexo 15.</b> Factores ambientales-Precipitación <i>Inga edulis</i> . ....	88
<b>Anexo 16.</b> Factores ambientales-Temperatura <i>Inga edulis</i> . ....	89
<b>Anexo 17.</b> Factores ambientales-Altitud <i>Myrsine andina</i> . ....	89
<b>Anexo 18.</b> Factores ambientales-Precipitación <i>Myrsine andina</i> . ....	90
<b>Anexo 19.</b> Factores ambientales-Temperatura <i>Myrsine andina</i> . ....	90

<b>Anexo 20.</b> Factores ambientales-Altitud <i>Pouteria sapota</i> . .....	91
<b>Anexo 21.</b> Factores ambientales-precipitación <i>Pouteria sapota</i> . .....	91
<b>Anexo 22.</b> Factores ambientales-temperatura <i>Pouteria sapota</i> . .....	92
<b>Anexo 23.</b> Certificación de traducción del resumen. ....	93

## **1. Título**

Análisis de la dinámica y distribución espacial-actual y futura de cinco especies en Sistemas Agroforestales de la Región Sur del Ecuador bajo escenarios de cambio climático.

## 2. Resumen

Actualmente, la biodiversidad desempeña un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas sin embargo el cambio climático se encuentra provocando alteraciones en la distribución de especies la pérdida de flora y fauna, así como el deterioro de ecosistemas y disminución de servicios ambientales. En Ecuador, los impactos del cambio climático son evidentes, manifestándose en la población, la infraestructura y la producción del país, lo cual representa una vulnerabilidad en sectores prioritarios como es la agricultura en la región sur de Ecuador. La presente investigación tiene como objetivo determinar la distribución potencial actual y futura de cinco especies *Vachellia macracantha*, *Ochroma pyramidale*, *Inga edulis*, *Myrsine andina* y *Pouteria sapota* cuales forman parte de sistemas agroforestal de la región sur del Ecuador bajo escenarios del quinto informe (AR5) del panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), se realizó una recopilación de observaciones de cada una de las especies distribuidas en la región sur del Ecuador cuales fueron filtradas mediante el uso del paquete estadístico Biomod2 en RStudio del cual se utilizó dos pruebas estadísticas jackknife y el factor de inflación de varianza (VIF) determinando la multicolinealidad entre las variable y permitiendo seleccionar las variables explicativas para el ensamble final, cuales fueron evaluados mediante la prueba estadística de Habilidad Real (TSS) y Característica Operativa del Receptor (ROC) que permitieron seleccionar los modelos que superen el 0,8 de rendimiento de predicción y cuales fueron proyectados hacia el año 2030 2050 y 2080 respectivamente para cada especie, concluyendo que las cinco especies presentan una persistencia en ambos escenarios climáticos, experimentando fluctuaciones entre ganancias y pérdidas bajo presiones ambientales, del escenario RCP 2.6 y RCP 8.5 mostrando una adaptabilidad variable, sin embargo la capacidad de las especies para desarrollar nuevas áreas de distribución potencial es limitada por sus condiciones ambientales evidenciando su vulnerabilidad ante el cambios climáticos.

***Palabras Claves:*** IPCC, RCP, Biomod2, multicolinealidad.

## **Abstract**

Currently, biodiversity plays a fundamental role in the functioning of ecosystems; however, climate change is causing alterations in the distribution of species, the loss of flora and fauna, as well as the deterioration of ecosystems and a decrease in environmental services. In Ecuador, the impacts of climate change are evident, affecting the country's population, infrastructure and production, which represents a vulnerability in priority sectors such as agriculture in the southern region of Ecuador. The present research is aimed to determine the current and future potential distribution of five species *Vachellia macracantha*, *Ochroma pyramidale*, *Inga edulis*, *Myrsine andina* and *Pouteria sapota* which are part of agroforestry systems in the southern region of Ecuador under scenarios of the fifth report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). A compilation of observations of each of the species distributed in the southern region of Ecuador was carried out and filtered using the statistical package *Biomod2* in *RStudio*, which used two jackknife statistical tests and the variance inflation factor (VIF) which determined the multicollinearity among the variables and allowed selecting the explanatory variables for the final assembly, which were evaluated by means of the Real Skill Statistical Test (TSS) and Receiver Operating Characteristic (ROC) that allowed to select the models that exceeded 0.8 of predictive performance and which were projected to the year 2030 2050 and 2080 respectively for each species concluding that the five species show persistence in both climate scenarios, experiencing fluctuations between gains and losses under environmental pressures, from the RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios, showing a variable adaptability, however the capacity of the species to develop new potential distribution areas is limited by their environmental conditions, thus revealing their vulnerability to climate change.

***Keywords:*** IPCC, RCP, *Biomod2*, multicollinearity.

### 3. Introducción

La biodiversidad es el eje fundamental para el desarrollo de las funciones ecosistémicas que permiten y sostienen la vida humana, y es la base para proponer un modelo de desarrollo sostenible a largo plazo en beneficio de la sociedad (Sala et al., 2005). En la actualidad, la alteración climática o cambio climático se encuentra estrechamente relacionada con la influencia directa o indirecta de las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera a nivel mundial, sumado a la variabilidad natural del clima (Rodríguez et al., 2015).

El cambio climático repercuten negativamente sobre las especies a escala global presentándose en ellas una tendencia dominante en el desplazamiento hacia altitudes superiores (upward) y/o hacia los polos (poleward) con el fin de reajustarse al aumento de las temperaturas y a los cambios de precipitación aptos para su persistencia (Larsen et al., 2012). La tendencia del movimiento de las especies hacia altitudes superiores y hacia los polos, pueden alterar las redes tróficas y las interacciones entre especies, provocando una migración que puede resultar en competencia por recursos con otras especies (Gutiérrez, 2016).

En Ecuador la influencia del cambio climático es evidente presentándose como principales impactos observados atribuibles a este, el incremento en la ocurrencia de eventos anómalos como el incremento de temperatura, cambios en el nivel del mar y en la precipitación (Ludeña et al., 2012). Ocasionando un impacto sobre la población, infraestructura y producción del país, dejando en vulnerabilidad sectores prioritarios productivos como es la agricultura, la cual se encuentra afectada por la incidencia del cambio climático en su dinámica y distribución de especies y a su vez influyendo en el aumento de plagas, la pérdida de cultivos y el deterioro de cosechas repercutiendo negativamente en la producción y economía del país (Oscullo y Haro, 2016).

En la región sur del Ecuador constituida por las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe el sector agropecuario es un factor predominante que determina su actividad económica (Jaramillo y Córdova, 2015), donde el uso de sistemas agroforestales son un mecanismo de resiliencia ante el cambio climático siendo la combinación conjunta de árboles y cultivos una manera de mejora de la producción y al mismo tiempo fomentar la biodiversidad y la estabilidad de los sistemas frente al cambio climático (Mosquera, et al., 2015).

Sin embargo, los sistemas agroforestales se encuentran vulnerables a causa de la alteración del cambio climático que se encuentra influyendo en la adaptabilidad de las especies, dado que estas especies están influenciadas por las condiciones ambientales en donde se encuentran (Maciel et al., 2015).



En consecuencia, el cambio climático al afectar la dinámica y distribución de especies, desencadena efectos adversos como la pérdida y extinción de flora y fauna, así como el deterioro de los ecosistemas dando como resultados la pérdida de bienes y servicios ecosistémicos. Por consiguiente, para entender los impactos y las repercusiones del cambio climático, es necesario estudiar cómo influye en la dinámica biogeográfica de las especies. Para esto, se ha realizado un análisis de la dinámica y distribución espacial de las especies, considerando los factores bióticos y abióticos en el área geográfica donde se distribuyen. Esto nos permite entender la interacción de los factores y la influencia del área en donde se encuentran las especies. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL (2017), esta comprensión es necesaria para hacer frente a la incertidumbre que plantea el cambio climático para las diferentes especies y en si para preservar los bienes y servicios asociados a los ecosistemas.

En la actualidad, gracias al avance de la ciencia y las nuevas metodologías, hoy en día es posible perfeccionar el análisis de la dinámica y distribución de especies utilizando algoritmos y software que permiten obtener predicciones y representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en el futuro, considerando las variables que influyen en ella, además de generan modelos de patrones espaciales y temporales de distribución, que son útiles para evaluar los cambios que ocurren en el planeta estos avances son una herramienta potencial para mejorar la evaluación y el manejo de las especies en el futuro.

En el contexto de contribuir al entendimiento de los posibles impactos del cambio climático en los sistemas agroforestales de la región sur del Ecuador, la presente investigación se propuso como objetivo general determinar la distribución potencial actual y futura de cinco especies que forman parte de un sistema agroforestal de la región sur del Ecuador, con el fin de analizar sus dinámicas espaciales y temporales bajo escenarios de cambio climático RCP - IPCC - AR5.

Dada la relevancia económica, ambiental y la vulnerabilidad que presentan los sistemas agroforestales de la región sur del Ecuador frente al cambio climático, se consideró las especies *Vachellia macracantha*, *Ochroma pyramidale*, *Inga edulis*, *Myrsine andina* y *Pouteria sapota*, con el fin de obtener una comprensión más completa de su distribución potencial hacia escenarios futuros, llevándose a cabo bajo dos objetivos.

- Evaluar que variables bioclimáticas determinan la distribución potencial de cinco especies que forman parte de un sistema agroforestal de la Región Sur del Ecuador.
- Analizar la dinámica y distribución potencial de las cinco especies a evaluar que forman parte de un sistema agroforestal de la Región Sur del Ecuador bajo escenarios de cambio climático.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. El cambio climático.**

El cambio climático, según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2022), se refiere a cualquier modificación del clima a lo largo del tiempo, ya sea de manera natural o como resultado de actividades humanas directas o indirectas que alteran la composición de la atmósfera a nivel mundial, sumado a la variabilidad natural del clima observable en períodos comparables.

Entre las principales causas del cambio climático se encuentra el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI), producidos por actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y el cambio de uso del suelo, entre otras (Ballesteros, 2007).

Los GEI absorben y emiten radiación en diferentes longitudes de onda, lo que provoca que estas radiaciones queden atrapadas en la estratosfera, sin emitirse completamente al espacio, de esta manera, se produce un efecto de calentamiento gradual en la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes (Corominas, 2014).

### **4.2. Impactos del cambio climático en la agricultura.**

La agricultura es uno de los sectores más vulnerables ante el cambio climático a nivel mundial, dado que se encuentran estrechamente influenciados por los patrones climáticos alterados como la temperatura y precipitación (Eguiguren et al, 2015). Estos efectos desencadenan una limitada productividad, así como una previsible baja de rendimiento de cosechas y la incidencia de otros factores como plagas y enfermedades (Ballesteros, 2007).

Según González (2016), los diferentes eventos extremos provocados por el cambio climático en los últimos años, han provocado consecuencias desfavorables en los medios de vida, especialmente en la agricultura. Generando un riesgo en la disponibilidad de alimentos y el acceso de agua a productores creando inestabilidad económica, social, ambiental y a su vez afectando la producción y el consumo, de las familias productoras (Vásquez y Benavides, 2023).

Al ser la agricultura un sector prioritario como proveedor de empleos y como impulsor del crecimiento económico, se ha establecido diferentes sistemas multifuncionales que frenen la resiliencia ante el cambio climático y el buen uso de suelo (Montagnini et al., 2015). Una de estas herramientas es la aplicación de sistemas agroforestales, sin embargo, al ser altamente

dependiente del clima presenta vulnerabilidades ante el cambio climático dándose a grandes pérdidas económicas (Viguera, 2017).

#### ***4.2.1 Impactos del cambio climático en la biodiversidad.***

El cambio climático se considera una de las principales amenazas de la biodiversidad en el mundo, es un factor dominante para la dinámica y distribución de la biodiversidad mundial, de acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2022) el cambio climático se encuentra ocasionando aumentos en la temperatura media de la superficie de la tierra y de océanos y a su vez se encuentra modificando los patrones de precipitación, aumento en el nivel del mar y cambios de intensidad y frecuencia de los eventos climáticos.

Se prevé que el cambio climático tendrá efectos más fuertes y directos sobre la biodiversidad impactando en su desarrollo, fisiología y sus comportamientos durante las fases de crecimiento, reproducción y migración de especies (Aguirre et al., 2010). Estos impactos producen una modificación en la distribución, tamaño, estructura, abundancia de las poblaciones de especies y el funcionamiento de ecosistemas, dando como consecuencias la alteración en los flujos y calidad de los servicios ambientales que prestan dichos ecosistemas (IPCC, 2022).

Entre los principales impactos del cambio climático sobre la biodiversidad, se incluyen:

- Cambios en la distribución geográfica de algunas especies como consecuencia de cambios en la distribución de la precipitación (Uribe, 2015).
- Cambios en la dinámica de las poblaciones de fauna y flora cuyos ciclos de vida dependen del regular funcionamiento de cuerpos de agua cuya dinámica se vería afectada por aumentos en la variabilidad climática y por cambios en la disponibilidad de agua (IPCC, 2007).
- Afectación de la dinámica de poblaciones que habitan ecosistemas de alta montaña (páramos, lagunas y boques alto andinos) que podrían verse afectadas por los cambios hidrológicos que resulten como consecuencia de la pérdida y retirada de glaciares (IPCC, 2007).
- Afectación de sistemas agrícolas por los cambios, desplazamientos o la extinción local de poblaciones de especies polinizadoras y de controladores biológicos de plagas y enfermedades (Magrin, 2008).

### **4.3. Importancia de los sistemas forestales.**

Un sistema agroforestal es una combinación de elementos vegetales y animales, como árboles, arbustos, cultivos y ganado, que interactúan en un mismo sitio para lograr la sostenibilidad, reducir el impacto ambiental y mejorar el bienestar humano (Mendieta y Rocha, 2007). En términos generales, un sistema agroforestal se puede definir como un sistema agrícola en el que uno de sus componentes principales es un árbol y cultivos (Ansión y Dam, 1986). La importancia de estos sistemas radica en su dinámica de interacción con el medio ambiente y en los beneficios que proporcionan a la sociedad al contribuir a mitigar el impacto negativo que produce el cultivo convencional (Saborío, 2016).

#### ***4.3.1 El cambio climático y los sistemas Agroforestales.***

Desde la revolución industrial, los efectos asociados al cambio climático han incrementado paulatinamente se manifiesta a través de cambios en las variables climatológicas tanto a nivel local como global, siendo las temperaturas extremas y las precipitaciones pluviales las variables climáticas más susceptibles (Ballesteros, 2007; Quispe, 2015). Las amenazas del cambio climático para la sociedad son múltiples y de gran magnitud, afectando al sector productivo y la población, en particular las variaciones climáticas tienen efectos en la propagación de especies y plagas en el sector agrícola, lo que se traduce en la pérdida de cultivos y baja producción (Ramírez et al., 2010). Además, el aumento de gases de efecto invernadero ha obligado al sector agrícola a adoptar medidas de adaptación para mitigar su impacto y reducir su contribución a la concentración de estos gases (López et al., 2016).

En este contexto, los sistemas agroforestales son fundamentales para mitigar el cambio climático, ya que ofrecen una amplia variedad de servicios socio-ecológicos y productos (Altieri y Nicholls, 2013). Ante la amenaza que el cambio climático representa para el sector agropecuario, se ha generado un gran interés en aumentar los sumideros y utilizar técnicas como estrategias de mitigación, poniendo especial énfasis en la agroforestería como mecanismo de mitigación y adaptación al cambio climático (Gamboa et al., 2009).

#### ***4.3.2 Incidencia del cambio climático sobre la distribución de especies.***

El cambio climático es una influencia directa sobre la distribución de especies dado a que las variables climáticas son unos de los factores que delimitan la distribución de flora y fauna, ya que cada organismo requiere de ciertas condiciones óptimas de temperatura, humedad y luz para su desarrollo (Gutiérrez, 2014).

Al presentar eventos extremos de clima como es el aumento de temperatura y disminución de precipitación o viceversa, influyen en el hábitat para un adecuado desarrollo de las diferentes especies, al exceder sus intervalos de tolerancia (Ruggiero, 2021). Esto conlleva al desplazamiento de las especies a espacios geográficos con condiciones más favorables afectando a su reproducción y composición de poblaciones con llevado a la competición por nuevos recursos con otras especies y con llevando a la alteración de ecosistemas y extinción de especies u organismos, según Bravo et al. (2011), en su estudio de la distribución de las especies frente al cambio climático resalta que las incidencias del cambio climático juegan un papel clave sobre la distribución de especies teniendo como ejemplo la distribución del oso polar a consecuencia del derretimiento del hielo marino (Derocher, 2005); la reducción de la distribución de los pingüinos en la Antártida (Forcada, 2007); la reducción de la distribución de algunas especies de anfibios Neotropicales (Lips et al., 2005).

Por otro lado, los cambios repentinos o graduales en el medio ambiente, inciden negativamente en las condiciones de vida de diferentes personas encontrándose más afectado a agricultores independientes que obtienen sus ingresos de cultivos, se ven obligados o dicen abandonar sus viviendas habituales y desplazarse a sectores con más productividad o cambio de actividades dándose a un cambio de distribución de la población (Altamirano, 2021).

#### **4.4. Fonología de especies de interés de sistemas agroforestales.**

##### **4.4.1. *Inga edulis*.**

###### **a) Descripción.**

Este árbol es de tamaño mediano, alcanzando alturas de entre 8 y 15 metros. Tiene un tronco bajo y ramificado, con una copa no muy densa (Abril et al., 2018). La corteza es de color marrón claro y tiene una forma cilíndrica y recta. Sus hojas son compuestas y tienen una disposición paripinnada, con una longitud que oscila entre 15 y 25 cm (Quijia, 2020).

El raquis de las hojas tiene alas y cuenta con cuatro a seis pares de folíolos subsésiles, que son elípticos u ovalados, siendo los inferiores siempre más pequeños. La base de las hojas es obtusa o redondeada, con nervaduras laterales paralelas y glándulas interpeciolares (Lim, 2012).

Las flores de este árbol son perfumadas y están agrupadas en el ápice del raquis. Tienen un cáliz verdoso y una corola blanquecina, y son sésiles. Su fruto es una vaina cilíndrica indehiscente de color verde, con surcos longitudinales y de longitud variable, llegando incluso a un metro (Gonzales, 2011). Las semillas son negras y tienen una longitud de 3 cm, con un rango entre 1,4 y 4,5 cm. Están cubiertas por una pulpa (arilo) blanca, suave y azucarada (Falcao y Clement, 2000).

### **b. Hábitat.**

Es originaria de Centroamérica, el Caribe y la Amazonía, así como de los bosques andinos. Esta planta se desarrolla en temperaturas que van desde los 15 a los 22 °C (Silva et al., 2013).

La especie *Inga Edulis* crece bien bajo sol y clima tropical y subtropical húmedo con elevadas lluvias, también se adapta a climas marcadamente estacionales, con tres, cuatro meses de sequía (Lim, 2012).

Presenta un mejor desarrollo en suelos alcalinos y ácidos, sin embargo, el pH óptimo para el cultivo es superior a 4. Igualmente, esta planta puede soportar cierto grado de salinidad. Se adapta a precipitaciones entre 1000 mm a 1300 mm (Sobanski y Marques, 2014).

### **c. Uso.**

Se utilizan sus frutos, la pulpa que circunda la semilla por su sabor dulce a vainilla se consumen frescas, las semillas consumidas como hortalizas o asadas, son muy populares en los lugares de origen (Lim, 2012). Por su copa extendida-densa y sus diferentes usos se utiliza en la aplicación de sistemas agroforestales donde cumplen la función de sombrío transitorio para otras especies que se cultivan junta esta como es en plantaciones de café o cacao (Farfan, 2016).

## **4.4.2. *Pouteria sapota*.**

### **a. Descripción.**

*Pouteria sapota* es un árbol con una altura hasta de 40 m presenta un diámetro a la altura del pecho de más de 1 m, el tronco es derecho y puede presentar contrafuertes, la corteza externa es fisurada y se desprende en pedazos rectangulares (Villegas, 2021). Es de color gris parda a morena, con un grosor de 10 a 20 mm, el árbol contiene látex y su madera es de color crema amarillento, con olor a almendras, y sin estructuras conspicuas (Carpio, 2015).

Presentan hojas obovadas, de 20 a 30 cm de largo y hasta 10 cm de ancho sus flores son pequeñas, de color blanco o amarillo pálido y se disponen agrupadas a lo largo de las ramas (Villegas, 2016).

El fruto es redondo o elíptico, de hasta 20 cm de largo, presenta una piel áspera, gruesa, coriácea y de color marrón su pulpa es cremosa y dulce, de color salmón rojizo. Contiene de 1 a 4 semillas grandes, marrones y brillantes (Ricker, 2001).

### **b. Hábitat.**

Se presenta en climas cálidos y húmedos, de baja altitud y suelos francos, se desarrolla con temperatura media anual de 23 a 26 °C y precipitación anual de 575 a 2635 mm, es sensible a sequías, inundaciones prolongadas y vientos fuertes que producen daños en los brotes tiernos y las yemas en brotación del árbol (Arias et al., 2015).

Prefiere suelos franco arenosos, profundos, arcillosos y fértiles, con pH de 5.5 a 6.5, no tolera suelos con mal drenaje o donde la capa freática es muy alta, bajas temperaturas ni periodos prolongados de sequía, que induce la caída de hojas (Cordero, 2003).

**c. Uso.**

La especie *Pouteria sapota* es de gran importancia por el uso en sistemas de producción agroforestales y plantaciones asociado a frutales, siendo la especie más utilizada en estos sistemas cumple la función de brindar sombra y frutos de consumo (Romero et al., 2009).

El principal uso que tienen es para el consumo en fresco del fruto, así mismo se usa la madera que es de color rojizo-moreno o rojizo-brillante, fuerte y durable, para la elaboración de muebles de lujo, las semillas del *Pouteria sapota* (Azurdia, 2006).

La especie *Pouteria sapota* es de gran importancia por el uso en sistemas de producción agroforestales y plantaciones asociado a frutales, siendo la especie más utilizada en estos sistemas cumple la función de brindar sombra y frutos de consumo (Romero et al., 2009).

#### **4.4.3. *Ochroma pyramidale*.**

**a. Descripción.**

Árbol grande, de copa tipo caliciforme, el fuste es liso y puede presentar gambas, la corteza es lisa, gris, pálida y con cicatrices lineales, pero internamente fibrosa, presenta un follaje perennifolio, sus hojas son simples y alternas, acorazonadas, de 20 a 40 cm de largo, borde liso y con pelos epidérmicos rojizos (Rodríguez, 2009).

Sus flores son aromáticas, vistosas, de cinco pétalos, blancas pubescentes y con el cáliz color verde, produce frutos secos, presenta cápsula dehiscente, largas y en forma de bastón (Patiño, 2022). Asimismo, estos son semi leñosos y cilíndricos de 14 a 24 cm de largo, sus semillas son abundantes en forma de pequeña gota, ovoides, de 3 a 5 mm de largo, color castaño oscuro y se encuentran envueltas en lana amarillenta y sedosa (López, 2022).

**b. Hábitat.**

Se encuentra en bosques bajos perennifolios de crecimiento secundario, ocasional en bosques secos y húmedos, zonas pacífica y atlántica. en la zona de Ecuador se encuentra en gran parte de la cuenca del amazonas, sierra y costa en la región costa se encuentra principalmente en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas y los Ríos en la región Amazónica se encuentra en Pastaza, Morona Santiago, Napo, Orellana, Sucumbíos y Zamora Chinchipe, en la región sierra se encuentra en Pichincha e Imbabura (Jorgensen y Yopez, 1999).

**c. Uso.**



*Ochroma pyramidale* es una especie maderable que constituye uno de los principales recursos económicos de Ecuador, se la cultiva a gran escala, su madera (leño) se utiliza para la construcción de viviendas y embarcaciones, fabricación de numerosos utensilios de uso doméstico y artesanías, entre otros (Cedeño, 2021).

Al ser una especie muy demandada en el sector maderable y por los servicios que brindan y que ayudan a la conservación del suelo y agua es usada en la agroforestería, convirtiéndose en un pilar fundamental para estos sistemas debido a su importancia económica y ambiental ya que se encuentran brindando sombra para los cultivos, ganado y contribuyen a la protección y recuperación de los suelos (Luzuriaga et al., 2012). La especie *Ochroma pyramidale* al ser asociada en sistemas agroforestales con cultivos agrícolas como yuca, plátano, orito, maíz, frejol, café ayudan en la disminución de costos de manejo del primer año de la plantación (Galarza, 2009).

#### **4.4.4. *Vachellia macracantha*.**

##### **a. Descripción.**

*Vachellia macracantha* es un árbol espinoso que presenta un tamaño de 6 a 12 m de altura, tronco es macizo, de color gris oscuro, su fuste es delgado, muy ramificado, tortuoso, ocasionalmente recto (Vite, 2018). Presentan espinas largas y anchas en su base sus. Hojas compuestas, alternas, bipinnadas miden hasta 15 cm de longitud, sus foliolos son sésiles de forma oblonga, dispuestas helicoidalmente y con estípulas (Aguirre y Geada, 2017).

Sus Flores son de color amarillo dorado, fragantes, filetes de estambres coloreados a manera de borla reunidos en capítulos densos y globosos, su fruto es una legumbre aplanada un tanto curva, mide de 5-6 cm de longitud por 1 cm de ancho, café-rojizo (madura), sus Semillas son de color café oscuro por la abundante producción de semilla, en áreas alteradas crece densamente formando rodales (Granda y Guamán 2006).

##### **b. Hábitat.**

La distribución donde esta especie se encuentra, cubriendo el 50% de la superficie de climas cálidos secos de la provincia de Loja, se presenta en altitudes de entre 1600 – 2000 m.s.n.m. su zona de vida se presente mayormente en Bosque seco, bosque seco montano su crecimiento se presenta tipo de suelos laderosos, pobres, arcillosos, así como en suelos fértiles, profundos y planos donde se observa un rápido crecimiento (Castillo, 2021).

##### **c. Uso.**

La madera es dura, pesada, fuerte y fibrosa, se usa en construcciones, postes, vigas, leña y carbón, la pulpa que envuelve la semilla se usa en la preparación de refrescos, confitería, conservas, salsas y en concentraciones altas es un laxante, las semillas se utilizan como forraje

para el ganado, y en la estabilización de alimentos procesados y conversión de jugos de frutas en jaleas. (Aguirre y Geada, 2017).

#### **4.4.5. *Myrsine andina*.**

##### **a. Descripción.**

Presenta una altura de 8 a 12 m y 15 a 20 cm de diámetro de altura de pecho su tronco presenta forma cilíndrico o frecuentemente retorcido, ramificación alterna, copa densa irregular (Efloras, 2015). Sus Hojas son simples alternas, lámina de forma elíptica obovada de 3 a 3,5 cm de largo por 1,4 a 1,8 cm de ancho, margen entero, ápice redondeado y base atenuada, sus flores se encuentran agrupadas en pequeños fascículos axilares de 0,3 a 0,5 cm de largo, presentan una corola con 5 pétalos imbricados de color verde cremoso (Oliver, 2013).

##### **b. Hábitat.**

Las especies *Myrsine andina* se encuentran principalmente en bosques húmedos amazónicos y bosques muy húmedos montanos, crece entre 2000 y 4000 m de altitud es una especie de amplia distribución en la región andina del Ecuador, se presenta frecuente en el subpáramo y en los márgenes de ríos y quebradas (Castillo, 2021).

##### **c. Uso.**

Presenta un uso medicina tradicional, sus hojas cocinadas sirven para preparar baños calientes en Saraguro lo emplean para combatir granos y salpullidos, mediante la preparación de cataplasmas, su madera es empleada para la construcción de pequeñas viviendas, pero en la actualidad se la usa solamente para leña y postes (Oliver, 2013).

Es utilizada en sistemas agroforestales conjuntamente con el café, permitiendo regular la intensidad de la luz, reducción en los cambios bruscos de temperatura y el efecto de los vientos, además de reducir la erosión de los suelos (Acaro, 2018)

#### **4.5. Bases para el modelamiento de especies.**

El modelamiento de la distribución de especies es un enfoque importante en ecología y biología de la conservación que permite predecir la distribución espacial de una especie en función de variables ambientales y geográficas (Nares, 2012). Este enfoque es particularmente relevante en la era actual de cambio climático y pérdida de hábitats, ya que permite identificar áreas prioritarias para la conservación y gestionar mejor los recursos naturales (Uribe, 2015).

El modelamiento de la distribución de especies se basa en la idea de que la presencia o ausencia de una especie en un lugar determinado está influenciada por factores ambientales y geográficos, como la temperatura, la humedad, la topografía, la cobertura del suelo, entre otros (Pinzon, 2013). A partir de datos de presencia y ausencia de una especie en diferentes lugares y de las variables ambientales y geográficas asociadas, se pueden construir modelos estadísticos

que permiten predecir la distribución de la especie en áreas donde no se cuenta con datos de presencia (Milesi y Casenave, 2005).

#### ***4.5.1. Modelamiento de especies.***

En varios estudios, se han puesto a prueba diferentes softwares al momento de estimar la distribución del hábitat para especies, por medio del uso de diferentes herramientas que han permitido optimizar los resultados (Geovanny et al., 2015). Uno de estos, es Biomod2, que ofrece la posibilidad de ejecutar 10 técnicas de modelado de última generación para describir y modelar las relaciones entre una especie determinada y su entorno. Al mismo tiempo, define el nicho ecológico de una especie en particular utilizando variables ambientales (temperatura, precipitación, etc.), con el uso potencial de hacer, por ejemplo, proyecciones futuras bajo escenarios de cambio de uso de suelo y clima, aunque se ha desarrollado principalmente para ecólogos que tienen como objetivo predecir la distribución de especies, biomod2 también se puede utilizar para modelar cualquier dato binomial (por ejemplo, gen, marcadores, ecosistema, y otros), en función de cualquier variable explicativa (Thuiller et al., 2016).

### **4.6. Etapas de modelamiento.**

#### ***4.6.1. Calibración del modelo.***

La calibración de un modelo de distribución de especies es el proceso de ajuste de los parámetros del modelo para que reproduzca con precisión la distribución observada de la especie (Urra, 2018). La calibración implica la comparación de las predicciones del modelo con los datos de presencia y ausencia de la especie en diferentes localidades, y el ajuste de los parámetros del modelo para minimizar la discrepancia entre las predicciones y los datos observados (Pliscoff, 2011). La calibración es un paso crítico en el modelamiento de distribución de especies, ya que la precisión del modelo depende en gran medida de lo bien que se ajusten los parámetros del modelo a los datos observados (Grajales, 2017). Una vez que el modelo ha sido calibrado, se puede utilizar para hacer predicciones de la distribución de la especie en áreas donde no se tienen datos de presencia, y para evaluar cómo diferentes escenarios ambientales pueden afectar la distribución de la especie (Plasencia et al., 2014).

##### **4.6.1.1. Remuestreo de Jackknife.**

La prueba estadística de Jackknife se aplica con el fin de evaluar en porcentaje la importancia de cada variable bioclimática en el modelado de la distribución de la especie, para identificar y eliminar variables irrelevantes o redundantes en el modelado de especies, permitiendo mejorar la precisión del modelo y reducir el riesgo de sobreajuste cuando se

elimina una variable explicativa específica que afecte al modelado de la distribución de la especie (Carmona y García, 2019).

#### **4.6.1.2. Factor de inflación de varianza (VIF).**

Esta medida estadística, se aplica con el fin de evaluar la multicolinealidad entre las variables bioclimáticas, para identificar y excluir variables que pueden estar causando problemas en el modelado o presenten una multicolinealidad, dicho valor debe ser menor a 5 del factor de inflación de varianza (Carmona y García, 2019).

#### **4.6.2. Evaluación del modelo.**

La evaluación de modelos de distribución de especies, se basan en datos de observaciones de especies y variables ambientales, como temperatura, humedad, topografía y características del suelo (Ramos, 2014). Su evaluación se basa en una métrica comúnmente utilizada para evaluar los modelos de distribución de especies es el área bajo la curva ROC (Mota et al., 2020). Esta métrica mide la capacidad del modelo para distinguir entre presencia y ausencia de la especie en función de la distribución real de la especie y las variables ambientales. El AUC varía de 0 a 1, siendo 1 el mejor resultado posible (Amat, 2017).

Otra métrica utilizada en la evaluación de modelos de distribución de especies es el índice Kappa. Esta métrica compara la precisión del modelo con la precisión esperada por azar y proporciona una medida de la precisión global del modelo (Amat, 2017).

#### **4.6.3. Predicción y proyección espacial.**

La predicción y la proyección espacial son dos conceptos fundamentales en el modelamiento espacial, que se refiere a la capacidad de los modelos para predecir el comportamiento futuro de los fenómenos espaciales basándose en datos históricos y tendencias observadas (Vallejo, 2020). La predicción y proyección espacial se logra mediante el análisis de datos históricos y tendencias observadas para construir modelos matemáticos, estadísticos o de aprendizaje automático que permitan prever cómo se comportarán estos fenómenos en el futuro (Gutiérrez, 2014).

La predicción espacial se refiere a la visualización de los resultados de los modelos en un mapa o en una representación gráfica del espacio permitiendo comprender mejor los patrones espaciales y tomar decisiones basadas en esta información (Vera, 2016). Por otro lado, la proyección espacial se refiere a la representación gráfica de los resultados de los modelos en un mapa o en una visualización del espacio, as proyecciones espaciales pueden ser de gran utilidad para entender mejor los patrones espaciales y tomar decisiones informadas basadas en esta información (Vera, 2016).

#### 4.7. Algoritmos para generar modelos de distribución.

Se pueden distinguir cuatro grandes familias de técnicas de modelación geográfica de las especies/ecosistemas: las relacionadas a modelos estadísticos de regresiones (Modelos Lineales Generalizados (GLM), Modelos Aditivos Generalizados (GAM)), los métodos de clasificación (Random Forest (RF), Boosted de agresión tres (BRT)), los métodos de “sobre” (BIOCLIM, ENFA) y aquellos basados en algoritmos específicos (GARP, MAXENT). Además, se puede incluir como un nuevo enfoque los ensambles que ofrece biomod2 donde se utilizan técnicas para obtener modelos de consenso, buscando disminuir los sesgos y limitaciones propias del uso en forma individual de las técnicas estadísticas mencionadas (Tabla1) (Pliscoff y Castillo, 2011).

**Tabla 1.** *Métodos de modelación.*

Técnicas	Referencia	Estudios comparativos					
		A	B	C	D	E	F
<b>Redes neuronales artificiales (ANN)</b>	Lek et al. (1996)					+	
Algoritmo de envolvente bioclimática (BM)	Busby (1991)	-	-				±
Potenciación de árboles de regresión (BRT)	Friedman (2001)	+			+		
Árboles de clasificación y regresión (CART)	Vayssieres et al. (2000)			-	-		±
Análisis de factores nicho ecológico (ENFA)	Hirzel et al. (2002)					-	
Modelos aditivos generalizados (GAM)	Hastie & Tibshirani (1990)	±	+	+			±
Algoritmo genético para la producción de conjuntos de reglas (GARP)	Stockwell & Peters (1999)	±		-			+
Modelado de disimilitud generalizada (GDM)	Ferrier et al. (2007)	+					
Modelos lineales generalizados (GLM)	McCullagh & Nelder (1989)	±		+			±
Regresión adaptativa multivariada (MARS)	Friedman (1991)	±			-		
Entropía máxima (MAXENT)	Phillips et al. (2006)	+	+				
Bosque aleatorio (RF)	Breiman (2001)					+	

*Nota: Datos obtenidos de Pliscoff y Castillo (2011). Estudios comparativos: A = Elith et al. (2006), B = Hijmans & Graham (2006), C = Meynard & Quinn (2007), D = Prasad et al. (2006), E = Segurado & Araujo (2004), F = Tsoar et al. (2007). La evaluación de las técnicas es indicada como: -- (muy mal), - (mal), ± (promedio) o + (buena).*

## 5. Metodología.

La presente investigación, se diseñó utilizando un enfoque metodológico cuantitativo, el cual se basa en la recolección y análisis de datos numéricos y resulta adecuada para abordar las características y objetivos de la investigación. (Vela, 2022).

Paquete estadístico para la etapa de modelación:

- Biomod2: Se utilizó la versión 4.2-2, el cual ofrece diez modelos individuales que permitieron ajustar y validar modelos de distribución espacial a partir de datos de presencia y pseudo ausencia, con el fin de proyectar modelos de predicción en diferentes escenarios climáticos (Thuiller et al., 2016).

Software para el procesamiento de datos:

- RStudio versión 1.4.1717
- Lenguaje de programación R versión 4.2.3.
- ArcGis Pro 3.0.2.

Datos requeridos para la modelación:

- Variables bioclimáticas RCP 2.6 y RCP 8.5
- Registro de presencia de la especie
- Modelo Digital de Elevación (DEM)

Se considero tres variables topográficas que se derivan del DEM, el hillshade (sombreado de laderas), slope (pendiente) y aspect (orientación). Estos datos fueron obtenidos de Worldclim (<https://worldclim.org/>), basado en el SRTM (Farr et al., 2007) a una resolución espacial de 1km. Con el propósito de obtener modelos que presenten un mayor ajuste y detalle superior en las proyecciones futuras (Pliscoff y Castillo, 2011).

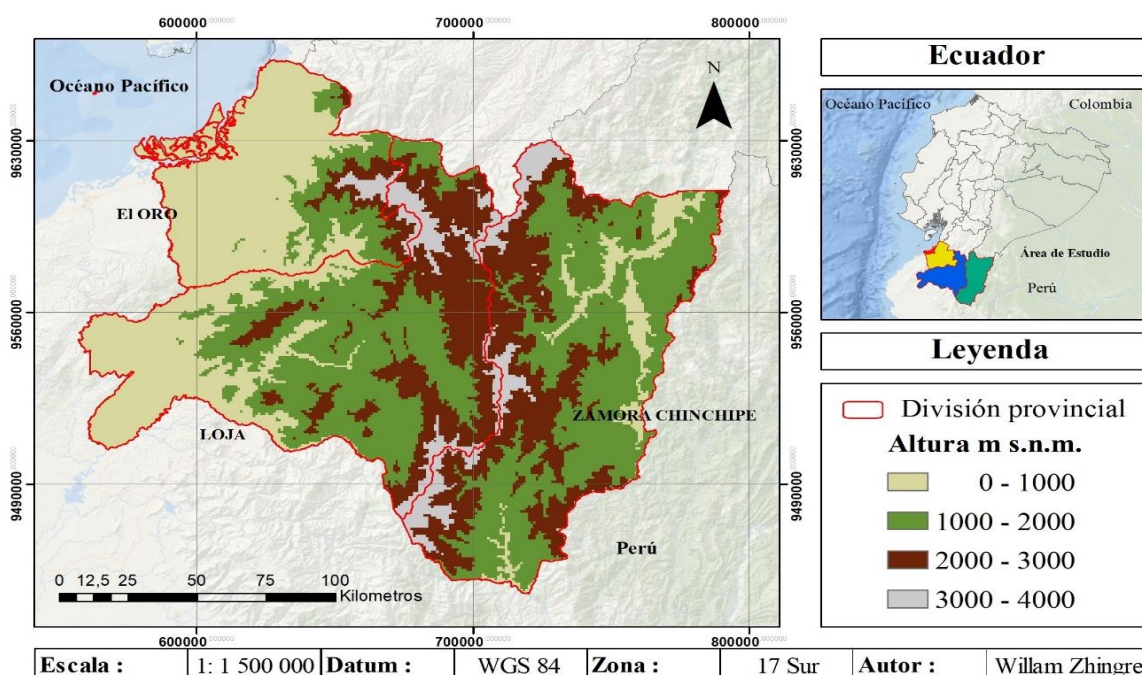
**Tabla 2.** Variables Topográficas obtenidas de Geo portal-Ecuador.

Nombre	Variable	Unidad
DEM	Elevación	m.s.n.m
Hillshade	Mapa de sombras	-
Slope	Pendiente	%
Aspect	Orientación	-

*Nota: Datos tomados de Worldclim.org.*

### 5.1. Área de estudio

La región sur del Ecuador, se encuentra compuesta por las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe, abarca el 11% del territorio nacional y se caracteriza por su gran diversidad climática (Samaniego et al., 2015).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio región sur del Ecuador .

## 5.2. Recopilación de registro de presencia.

Se recopilamos más de 100 registros para cada una de las cinco especies, cada registro brinda información acerca de la ubicación y distribución de cada especie (Tabla 3).

**Tabla 3.** Registros de presencia.

Especie	Nº de Registros
<i>Vachellia macracantha</i>	180
<i>Ochroma pyramidale</i>	155
<i>Inga edulis</i>	134
<i>Myrsine andina</i>	144
<i>Pouteria sapota</i>	108

*Nota:* Elaboración propia

Estos registros se obtuvieron del Servicio Mundial de Información sobre Diversidad Biológica (<https://www.gbif.org/>) y fueron re proyectadas al sistema UTM-WGS84 zona 17 Sur (Barba y Purgache, 2016).

La elección de las especies *Inga Edulis*, *Pouteria sapota*, *Ochroma pyramidale*, *Vachellia macracantha* y *Myrsine andina* se basó en su valor comercial y los beneficios medioambientales que ofrecen en la gestión de sistemas agroforestales (Maldonado, 2015)

Las cinco especies presentan un valor agregado en su producción de frutos, madera y flores, presentando una alta demanda en el mercado, lo que les confiere una importancia comercial para los sistemas agroforestales (Quijia et al., 2020).

Además, estas especies contribuyen a la conservación de la biodiversidad, a través de la fijación de nitrógeno, la captura de carbono, y la protección del suelo, lo que les otorga un valor ecológico (Madiedo y Tibaduiza, 2021).

### 5.3. Filtrado de puntos de presencia.

Se efectuó un proceso de filtrado de puntos de presencia, con el fin de mejorar la confiabilidad y presión de los datos, implicando la exclusión de registros basado en dos criterios:

**Precisión geográfica:** Se eliminaron los registros de presencia que se encontraron fuera del área de estudio, con el fin de asegurar una proyección confiable de los modelos en el área de investigación definida (Salazar, 2023).

**Errores de registro:** Se eliminaron los registros de presencia duplicados, con el fin de evitar discrepancias en los resultados de los modelos finales (Valencia, 2022).

### 5.4. Creación de puntos de pseudoausencia.

Se procedió a generar una malla de 10 000 puntos aleatorios o pseudoausencias dentro del área de estudio, usando el software de ArcGIS Pro por medio de la herramienta "Créate Random Points". Estos puntos aleatorios representan lugares donde las especies no se han registrado. Sin embargo, pueden presentar condiciones ambientales adecuadas para su presencia en un futuro (Hernández et al., 2018).

### 5.5. Compilación de datos puntos de presencias y ausencia.

Obtenidos los registros de presencia y ausencia, se creó una Tabla de datos en la cual se asignó el valor numérico uno a las presencias y el valor de cero a las ausencias, con el fin de preparar los datos para su procesamiento posterior en Biomod2.

**Tabla 4.** Registro de presencia y ausencia de especie.

Nº	X	Y	Presencia (1) /Ausencia (0)
1	-79.416	-3.833	1
2	-79.233	-3.633	1
3	-79.16	-3.916	1
⋮	-79.12	-4.469	0
⋮	-79.165	-4.081	0
⋮	-79.11	-4.467	0
10 000	-79.162	-4.078	0

*Nota:* Datos obtenidos del Servicio Mundial de Información sobre Diversidad Biológica.

### 5.6. Recopilación de variables bioclimáticas.

Las variables bioclimáticas se obtuvieron a una resolución de 1 km x 1km de la base de datos de Climatología de Alta Resolución para las Áreas de Superficie Terrestre de la Tierra (CHELSA), disponible en <https://chelsa-climate.org/>. La selección de las variables se realizó



para un periodo del 2020 al 2080 de los siguientes escenarios de trayectoria de concentración representativa de gases de efecto invernadero:

- **RCP 2.6:** Representa un escenario de mitigación, donde su proyección a futuro se asume medidas para reducir las emisiones de GEI, lo que lleva a una concentración atmosférica limitada de GEI y un calentamiento global moderado para el futuro (Caldas, 2018).
- **RCP 8.5:** Representa un escenario de no mitigación, como resultado, se proyecta una concentración atmosférica muy alta de GEI, lo que lleva a un calentamiento global significativo y cambios climáticos más extremos para el futuro (Riahi, 2011).

### 5.6.1. Corte y extracción de variables bioclimáticas.

Se empleó el software RStudio, junto con las librerías raster, rgdal, tidyverse, gtools y rgeos, para realizar la extracción de las variables de acuerdo al área de estudio. Posteriormente, las variables extraídas fueron re proyectadas al sistema WGS84.

**Tabla 5.** Variables bioclimáticas obtenidas de CHELSA.

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

*Nota: Información recolectada de Climatología de Alta Resolución para las Áreas de Superficie Terrestre de la Tierra.*

### 5.7. Etapas de modelación de distribución potencial.

El modelamiento se realizó con el script de Biomod2 el cual fue acoplado a las necesidades de la investigación (Anexo 1).

### **5.7.1. Calibración.**

Con el propósito de mejorar la precisión en la predicción de los modelos hacia escenarios futuros, se aplicó la métrica estadística de validación cruzada, la cual consistió en emplear el 70% de los datos obtenidos para ajustar los parámetros del modelo a proyectar, y el 30% restante de los datos para la validación del modelo (Benavidez-Silva et al., 2021).

#### **5.7.1.1. Selección de variables explicativas.**

Con el fin de evaluar la importancia de cada variable bioclimática en los modelos de distribución potencial, se aplicó dos parámetros estadísticos el remuestreo de Jackknife, que permitió evaluar la importancia de cada variable bioclimática y el factor de inflación de varianza (VIF) que mide la multicolinealidad entre las variables.

Se estableció un umbral de cinco en el índice de inflación de la varianza, con el fin de medir el grado de multicolinealidad entre las variables correlacionadas, permitiendo evaluar y excluir las variables que presentaron una multicolinealidad superior al umbral establecido (Guisan y Thuiller, 2005).

#### **5.7.2. Evaluación de modelos.**

Se llevó a cabo una evaluación de los diez algoritmos modelados, bajo el uso de las métricas estadísticas de True Skill Statistics (TSS) y Receiver Operating Characteristic (ROC). Estas métricas permitieron medir la capacidad de predicción del modelo para cada una de las especies (Guzmán et al., 2024).

Con el fin de obtener modelos más precisos en su predicción, se consideró un umbral de 0.8 en la sensibilidad y especificidad para la validación de los modelos finales, aquellos modelos que no superaron el umbral establecido no se consideraron para los ensambles finales (Anjos y de Toledo, 2018; Benavidez-Silva et al., 2021).

#### **5.7.3. Ensamble/Proyección espacial.**

Se realizó la proyección espacial de cada una de las especies hacia los años 2030, 2050 y 2080 bajo los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 del IPCC-AR5. La proyección se realizó empleando el algoritmo de forecasting, el cual permitió el ensamblaje de los modelos individuales previamente evaluados, dando como resultado un modelo con una estimación del 80% de confiabilidad para determinar la posible presencia de la especie en los diferentes escenarios futuros (Vichot, 2019).

## 6. Resultados

### 6.1. Evaluar que variables bioclimáticas determinan la distribución potencial de cinco especies que forman parte de un sistema agroforestal de la región sur del Ecuador.

Los resultados obtenidos muestran que las variables bioclimáticas bio1 (Temperatura media anual), bio2 (Rango medio diario), bio5 (Temperatura máxima del mes más cálido), bio6 (Temperatura mínima del mes más frío), bio8 (Temperatura media del cuartil más húmedo), bio10 (Temperatura media del cuartil más cálido), bio11 (Temperatura media del cuartil más frío), bio17 (Precipitación del cuartil más seco), y DEM (Modelo de Elevación Digital) no fueron consideradas como variables explicativas en el modelamiento final para ninguna de las especies en estudio, dado que presentan un VIF superior a cinco, determinando una multicolinealidad en las variables (Tabla 5).

**Tabla 6.** Evaluación de variables bioclimáticas para las cinco especies en la región sur del Ecuador.

Variables Biofísicas	<i>Vachellia macracantha</i>	<i>Ochroma pyramidale</i>	<i>Inga Edulis</i>	<i>Myrsine Andina</i>	<i>Pouteria sapota</i>
Bio 1	5,87	8,45	7,12	6,76	8,21
Bio 2	8,54	7,51	8,65	5,54	6,84
Bio 3	2,18	2,24	8,45	6,33	5,34
Bio 4	2,04	3,21	5,65	1,61	5,21
Bio 5	8,45	9,12	6,12	8,21	6,87
Bio 6	7,59	8,23	7,45	7,43	5,93
Bio 7	2,56	3,32	1,82	1,75	2,16
Bio 8	9,45	9,77	7,76	8,12	7,55
Bio 9	2,84	3,3	2,54	1,61	3,46
Bio 10	7,34	6,67	7,33	5,32	6,31
Bio 11	6,32	5,87	7,11	6,87	9,31
Bio 12	7,12	3,24	5,98	5,77	12,6
Bio 13	8,54	2,38	2,87	5,99	4,87
Bio 14	6,44	6,98	5,53	5,12	1,61
Bio 15	5,43	7,11	4,98	6,42	9,54
Bio 16	5,58	5,32	7,66	3,93	8,98
Bio 17	8,32	5,56	6,86	9,45	6,97
Bio 18	1,73	8,34	6,22	2,33	3,24
Bio 19	2,27	3,04	7,21	1,51	9,21
DEM	6,65	6,21	9,45	8,42	7,65
Aspect	7,29	7,87	8,11	2,09	1,04
Hillshade	1,66	1,22	2,69	5,76	5,54
Slope	4,25	1,87	2,52	1,71	6,32

Para el modelamiento, final se utilizó ocho variables para la especie *Vachellia macracantha*, diez variables para la especie *Ochroma pyramidale*, seis variables para la especie

*Inga edulis*, ocho variables para la especie *Myrsine andina* y seis variables para la especie *Pouteria sapota* (Tabla 6).

**Tabla 7.** Variables bioclimáticas que determinaron la distribución potencial de las cinco especies en sistemas agroforestales.

<b>Variab Biofísicas</b>	<i>Vachellia macracanta</i>	<i>Ochroma pyramidale</i>	<i>Inga Edulis</i>	<i>Myrsine andina</i>	<i>Pouteria sapota</i>
Bio 1					
Bio 2					
Bio 3	+	+			
Bio 4	+	+		+	
Bio 5					
Bio 6					
Bio 7	+	+	+	+	+
Bio 8					
Bio 9	+	+	+	+	+
Bio 10					
Bio 11					
Bio 12		+			
Bio 13		+	+		+
Bio 14					+
Bio 15		+	+		
Bio 16				+	
Bio 17					
Bio 18	+			+	+
Bio 19	+	+		+	
DEM					
Aspect				+	+
Hillshade	+	+	+		
Slope	+	+	+	+	

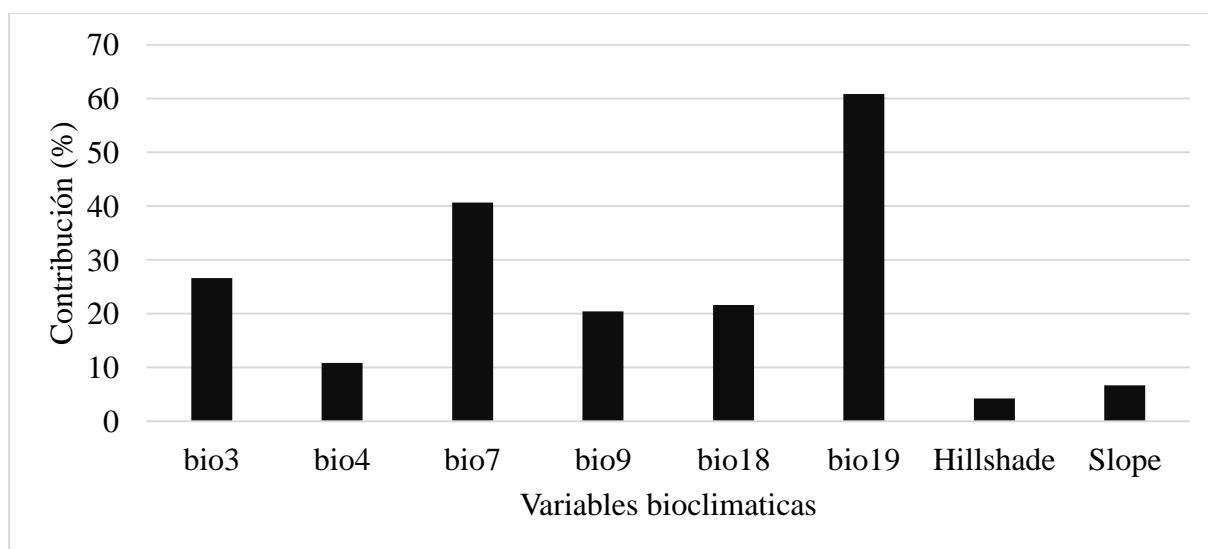
Se obtuvo como resultados 14 variables de las cuales 11 son variables bioclimáticas y tres topográficas identificado las variables bio7, bio9 como variables presentes en los cinco modelos de distribución (Tabla 7).

**Tabla 8.** Importancia de Variables bioclimáticas que determinaron la distribución potencial de las cinco especies en sistemas agroforestales.

<b>Variab Biofísicas</b>	<i>Vachellia macracanta</i>	<i>Ochroma pyra- midale</i>	<i>Inga Edulis</i>	<i>Myrsine andina</i>	<b>Pouteria sapota</b>
Bio 3	35,24	2,24	-	-	-
Bio 4	35,93	3,21	-	25,22	-
Bio 7	29,84	26,10	26,10	11,73	0,22
Bio 9	27,75	55,49	55,49	54,21	0,62
Bio 12	-	3,24	-	-	-
Bio 13	-	17,11	17,11	-	0,13
Bio 14	-			-	0,28
Bio 15	-	25,88	25,88	-	-
Bio 16	-	-	-	32,90	-
Bio 18	1,73	-	-	20,56	0,16
Bio 19	21,55	3,04	-	29,68	-
Aspect	-	-	-	6,85	0,06
Hillshade	1,37	10,90	10,90	-	-
Slope	12,86	30,49	30,49	12,06	-

### 6.1.1. *Vachellia macracantha*.

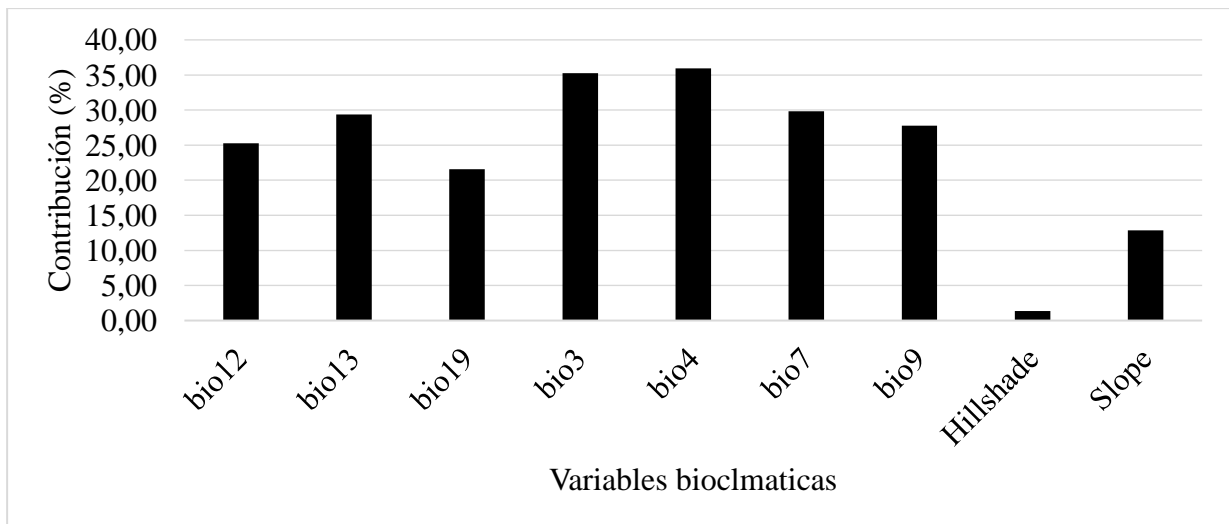
Se obtuvo ocho variables que determinaron la distribución potencial de la especie, seis son variables bioclimáticas bio3 (Isotermalidad), bio4 (Estacionalidad de la temperatura), bio7 (Rango anual de temperaturas), bio9 (Temperatura media del cuartil más seco), bio18 (Precipitación del cuartil más cálido), bio19 (Precipitación del cuartil más frío) y dos topográficas hillshade, slope, determinando la bio19 como la variable con mayor representatividad en el modelo con una contribución del 61 %, seguida por la variable bio7 con un 41% y la bio3 con un 27% de contribución, en cuanto las variables topográficas presentan una contribución menor al 10% al modelo final (Figura 2).



**Figura 2.** Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas para los modelos de distribución geográfica potencial de *Vachellia macracantha* en la región sur del Ecuador.

### 6.1.2. *Ochroma pyramidale*.

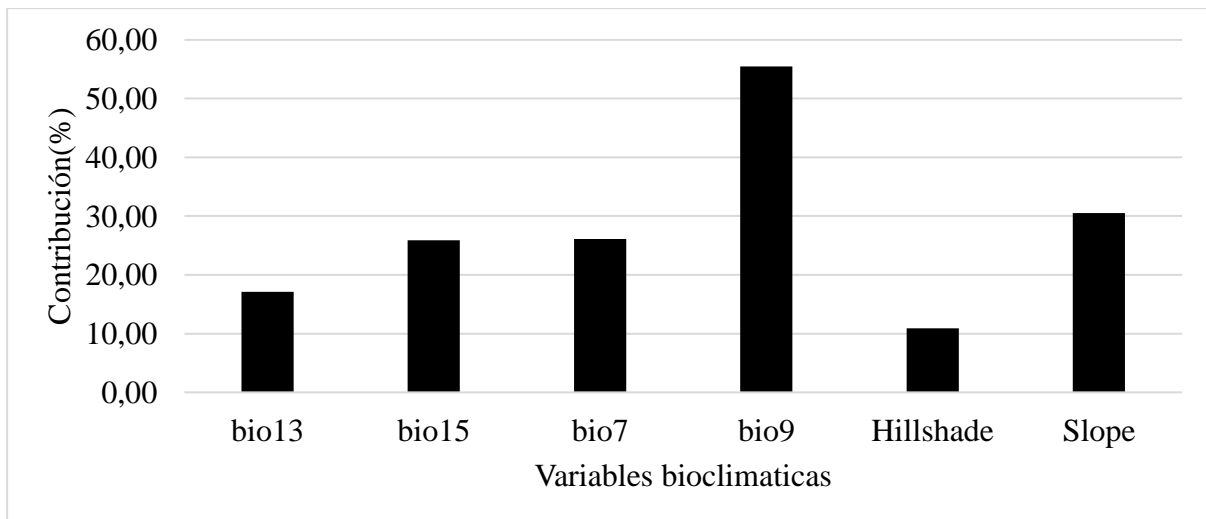
Se obtuvo nueve variables que determinaron la distribución potencial de la especie: siete variables bioclimáticas, bio4 (Estacionalidad de temperatura), bio3 (Isotermalidad), bio7 (Rango anual de temperatura) y dos topográficas, slope y hillshade. Las variables bioclimáticas que predominaron en el modelamiento final fueron la bio4, con un 36% de contribución; seguida de la bio3 y bio7 con un 35% de contribución. En cuanto a las variables topográficas, el slope presentó una contribución del 13%, seguida del hillshade con una contribución menor al 1% para el modelamiento final (Figura 3).



**Figura 3.** Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas para los modelos de distribución geográfica potencial de *Ochroma pyramidale* en la región sur del Ecuador.

### 6.1.3. *Inga Edulis*.

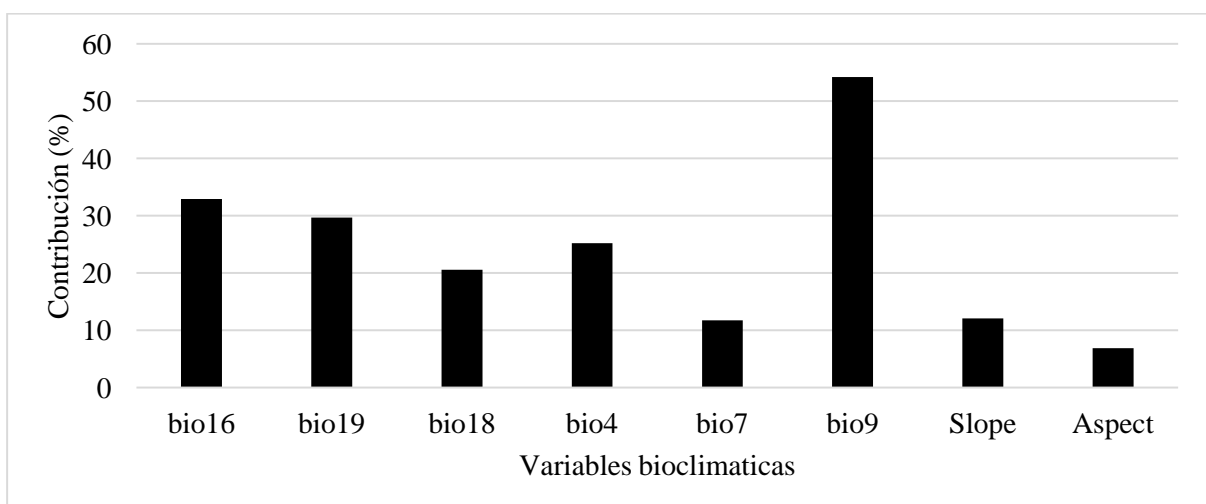
Se obtuvo siete variables que determinaron la distribución potencial de la especie, cuatro variables bioclimáticas y dos topográficas presentándose la variable bio9 (Temperatura promedio en el trimestre más seco) como la variables más representativa en el modelo con una contribución del 55%, seguido de la bio18 (Precipitación en el trimestre más caluroso) con 39% de contribución, bio15 (Estacionalidad de la precipitación) y bio7 (Rango anual de temperatura) con una contribución del 26% respectivamente, mientras que la bio13 (Precipitación del mes más lluvioso) presenta una contribución del 17% mínima. En cuanto a las variables topográficas, el slope tiene un valor de contribución del 30%, superando a las variables bioclimáticas bio13, bio15 y bio7 presentando un impacto más significativo en la determinación de la distribución potencial de la especie. Por otro lado, la variable topográfica hillshade presenta una contribución mínima de 11% (Figura 4).



**Figura 4.** Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas, para los modelos de distribución geográfica potencial de *Inga Edulis* en la región Sur del Ecuador.

#### 6.1.4. *Myrsine Andina*.

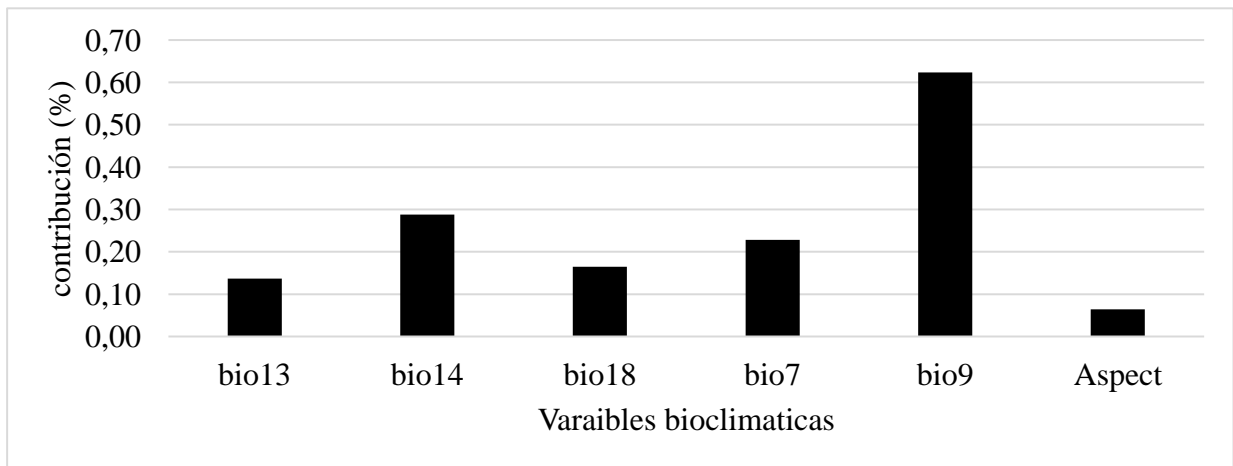
Se obtuvieron un total de ocho variables que determinaron la distribución espacial de la especie, de las cuales seis son variables bioclimáticas y dos topográficas, la variable más predominante es la bio9 (Temperatura promedio en el trimestre más seco) con una contribución del 54 %, seguida de la variable bio16 (precipitación en el trimestre más lluvioso) con una contribución del 32%, la variable bio19 (Precipitación en el trimestre más frío) tiene una contribución del 29%, seguido de la variable bio4 (Estacionalidad de temperatura) y bio7 (Rango anual de temperatura) con una contribución menor al 20%. En cuanto a las variables topográficas, el slope presenta una contribución del 12% y el aspect tiene una contribución del 7% (Figura 5).



**Figura 5.** Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas, para los modelos de distribución geográfica potencial de *Myrsine Andina* en la región sur del Ecuador.

### 6.1.5. *Pouteria sapota*.

Se obtuvieron un total de seis variables que determinan la distribución espacial de la especie *Pouteria sapota*, cinco variables bioclimáticas, bio9 (Temperatura media del trimestre más seco), bio14 (Precipitación del mes más seco), bio7 (Rango anual de temperatura), bio18 (Precipitación del trimestre más caliente) y bio13 (Precipitación del mes más húmedo) y una variable topográfica: aspect. Presentándose como la variable más predominante para el modelo la bio9 con un 62% de contribución, seguida por la bio14 con una contribución del 29% y en una contribución menor al 20% las variables bio7, bio18 y bio13, en cuanto a la variable topográfica presenta una contribución mínima del 0.6% en el modelamiento final de la especie (Figura 6 ).



**Figura 6.** Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas y topográficas , para los modelos de distribución geográfica potencial de *Pouteria sapota* en la región sur del Ecuador.



**6.2. Analizar la dinámica y distribución potencial de las cinco especies a evaluar que forman parte de un sistema agroforestal de la región sur del Ecuador bajo escenarios de cambio climático.**

Se generó un total de 30 mapas probabilísticos, distribuidos para cada escenario de cambio climático RCP 2.6 y RCP 8.5, con un nivel de confiabilidad del 80%, determinado a través de su evaluación mediante las métricas TSS y ROC.

De las cinco especies analizadas en un periodo del 2020 al 2030, la especie que presentó mayor área de ganancia bajo las presiones ambientales del escenario RCP 2.6 fue la *Ochroma pyramidale* con una ganancia de 15654 km<sup>2</sup>, si bien la ganancia es substancial, la pérdida de área también es considerable, sin embargo, la persistencia se encuentra superando su ganancia. Determinada su capacidad para mantenerse y expandirse a nuevas áreas a diferencia de las otras especies analizadas donde la ganancia no supera su pérdida (Tabla 8).

**Tabla 9.** Área total de ganancia, pérdida y persistencia escenario 2.6.

Especie	Área (km <sup>2</sup> )		
	Ganancia	Pérdida	Persistencia
<i>Vachellia macracantha</i>	5663.23	13317.60	6447.44
<i>Ochroma pyramidale</i>	15654	14005.75	12928.40
<i>Inga edulis</i>	12892.79	12919.53	10246.33
<i>Myrsine andina</i>	5459.25	6578.01	5372.71
<i>Pouteria sapota</i>	9786.36	9246.39	10691.70

Bajo las presiones ambientales del escenario RCP 8.5, se determinó que las especies *Inga edulis* con 24522.87 km<sup>2</sup>, seguido de la especie *Ochroma pyramidale* con 14856.72 km<sup>2</sup>, superan su pérdida y persistencia, demostrando su adaptabilidad bajo el escenario RCP 8.5. Sin embargo, en las especies *Vachellia macracantha*, *Myrsine andina*, *Pouteria sapota* se puede evidenciar una pérdida mayor a su ganancia y persistencia, determinando que las presiones ambientales en las que se encuentran representan un riesgo para su permanencia.

**Tabla 10.** Área total de ganancia, pérdida y persistencia escenario 8.5.

Especie	Área (km <sup>2</sup> )		
	Ganancia	Pérdida	Persistencia
<i>Vachellia macracantha</i>	745.78	16681.58	3171.38
<i>Ochroma pyramidale</i>	14856.72	14102.09	12722.11
<i>Inga edulis</i>	24522.87	8770.76	13817.14
<i>Myrsine andina</i>	4694.60	6826.83	7567.69
<i>Pouteria sapota</i>	4195.56	11721.57	10891.63

### **6.2.1. *Vachellia macracantha*.**

#### **6.2.1.1. Distribución potencial para el año 2030 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Los resultados obtenidos para la especie *Vachellia macracantha* presentan para el escenario 2030 RCP 2.6 una posible pérdida del 28 %, observándose en gran parte al norte de la provincia de Loja seguida de la provincia de El Oro y Zamora Chinchipe. Así mismo, se puede observar una ganancia del 39 %, al sur de la provincia de Zamora Chinchipe y Loja (Figura 7), dando a conocer que las condiciones ambientales podrían ser las adecuadas para la distribución de la especie en estas áreas bajo este escenario. Sin embargo, existe una persistencia del 33 % presentes en el sur de provincia de Loja, donde se evidencia que posiblemente no habrá ni pérdidas ni ganancias en la distribución de la especie (Figura 7).

Dado a sus factores ambientales en un periodo de 10 años del 2020 a 2030 (Anexo 8), se determina que su altitud bajo este escenario permanece en un rango de 0 m s.n.m. y 2500 m s.n.m. al igual que su precipitación que mantiene en un rango de 500 mm y 2000 mm (Anexo 9), donde la especie es más abundante a 1500 mm para el escenario 2030. Además, el rango de temperatura en la que se encuentra es de 24 °C a 28 °C (Anexo 10).

En el escenario futuro 2030 RCP 8.5 se presenta una pérdida del 69 % observándose en gran parte en la provincia de Loja seguido de la provincia de El Oro y Zamora Chinchipe. Así mismo se puede observar una ganancia menor del 5 % observable en la provincia de Loja y Zamora Chinchipe dando a conocer que las condiciones ambientales no son adecuadas para la distribución de la especie en estas áreas bajo este escenario. Sin embargo, existe una persistencia del 26 % presente en el sur de la provincia de Loja (Figura 7).

Considerando sus factores ambientales en un periodo de 10 de años del 2020 al 2030, para el escenario RCP 8.5, se observa una mayor presencia de la especie en altitudes que abarcan desde 0 m s.n.m. hasta 2000 m s.n.m. (Anexo 8). Así mismo, se registra una variación en la precipitación que oscila entre 500 mm y 3000 mm alcanzando una mayor concentración en torno a los 1000 mm (Anexo 9). En términos de temperatura, la especie muestra su mayor presencia en un rango que va desde los 14 °C hasta los 28 °C (Anexo 10).

#### **6.2.1.2. Distribución potencial para el año 2050 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Para el escenario futuro 2050 RCP 2.6 existe una posible pérdida del 54 % en gran parte al norte de la provincia de Loja seguido de la provincia de El Oro y Zamora Chinchipe. Así mismo se puede observar una ganancia del 13 % en la provincia de Loja y Zamora Chinchipe identificando que las condiciones ambientales presentan un conflicto para la distribución de la especie en estas áreas bajo este escenario. Sin embargo, existe una persistencia del 33 % presentes en el sur de provincia de Loja (Figura 7), donde se evidencia que posiblemente no

habrá ni pérdidas ni ganancias de la distribución de la especie, sino que se mantendrá conservada para este modelo.

Dado a sus factores ambientales en un periodo de 20 años del 2030 al 2050 su altitud se presenta desde 0 m s.n.m. hasta 300 m s.n.m. Presentando sus puntos más altos a 1200 m s.n.m. y 300 m s.n.m. (Anexo 8), en lo que respecta a la precipitación, la presencia de la especie es notable en un rango que abarca desde 500 mm hasta 2000 mm (Anexo 9), sin embargo, su mayor concentración se sitúa en el intervalo de 1000 mm a 1300 mm de precipitación. La temperatura también juega un papel crucial, y la especie muestra una afinidad en el rango de 14 °C a 28 °C, alcanzando su punto máximo a 27,5 °C (Anexo 10).

En el escenario futuro para el año 2050, bajo el modelo RCP 8.5, se prevé una pérdida de 5 % , esta pérdida se concentra principalmente en la provincia de Loja, por otro lado, se observa una ganancia menor de 5 % en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. Sin embargo, es importante destacar que estas áreas no presentarán condiciones ambientales adecuadas para la distribución de la especie en este escenario específico dado que presenta una persistencia de 12 % dispersa en la provincia de Loja siendo una superficie pequeña en comparación con la pérdida total (Figura 7).

Su conservación adquiere una importancia significativa para mantener la viabilidad de la especie en la región sur del Ecuador bajo este escenario por sus condiciones ambientales en el periodo de tiempo de 20 años del 2030 a 2050 se observa que la altitud donde se encuentra distribuida este especie presenta un rango de 0 m s.n.m. a 2000 m s.n.m. con mayor presencia en 1200 m s.n.m. (Anexo 8), con un rango de precipitación de 500 mm a 1750 mm con mayor presencia 1250 mm (Anexo 9) y una temperatura de 14 °C a 28°C con un punto máximo en 27,5 °C (Anexo 10).

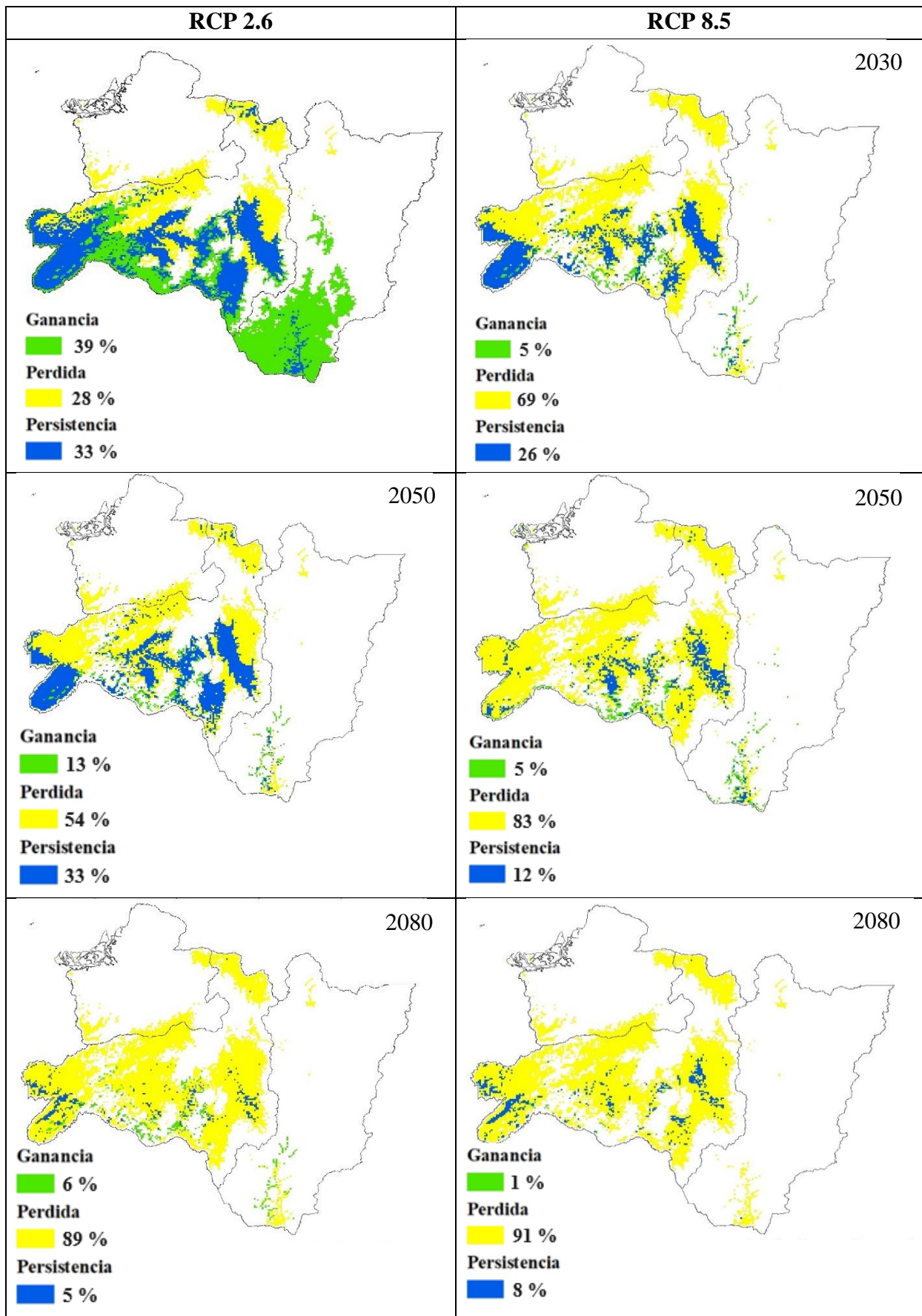
### **6.2.1.3. Distribución potencial para el año 2080 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Para el año 2080 RCP 2.6 se estima una pérdida significativa de aproximadamente 89 %, esta pérdida se presenta principalmente en la provincia de Loja, con una afectación menor en las provincias de El Oro y Zamora Chinchipe, se prevé una ganancia menor del 6 % en la provincia de Loja seguido de una persistencia del 5 % , Es importante destacar que estas áreas no presentarán condiciones ambientales óptimas para la distribución de la especie bajo este escenario específico, como se muestra en la (Figura 7), determinando que las condiciones ambientales en el periodo de 30 años del 2050 al 2080 serán desfavorables para la especie en estas áreas.

Presenta una disminución en el rango de altitud para la presencia de la especie encontrándose entre los 0 m s.n.m. a 1800 m s.n.m. con un punto máximo de mayor presencia en 1000 m s.n.m. (Anexo 8), adicionalmente su rango de precipitación ha disminuido encontrándose a 600 mm a 1500 mm con un punto máximo de presencia a 1000 m s.n.m. (Anexo 9), en términos de temperatura se registra una estabilidad en los valores manteniéndose constante entre los 14 °C a 28 °C donde su punto máximo de abundancia se encuentra en torno a los 27.5 °C (Anexo 10).

En el escenario futuro para el año 2080 RCP 8.5, se estima una pérdida de aproximadamente del 91% en toda la región sur del Ecuador. Por otro lado, se ha observado una ganancia menor del 1% segregada en las provincias de Loja. Sin embargo, estas áreas no presentarán condiciones ambientales adecuadas para la distribución de la especie en este escenario específico, como se muestra en la Figura 7 no obstante se observa una persistencia del 8 % en la provincia de Loja, la cual es una superficie relativamente pequeña en comparación con la pérdida total.

Debido que las condiciones ambientales no son las adecuadas para la distribución de esta especie presenta un rango altitudinal entre 500 m s.n.m. y 1500 m s.n.m. donde su punto más alto para la presencia se encuentra alrededor de 1000 m s.n.m. (Anexo 8), además de presenta un rango disminuido de precipitación que oscila entre los 750 mm y 1350 mm (Anexo 9) y una temperatura constante entre los 14 °C a 28 °C donde su punto máximo de abundancia se encuentra en torno a los 27.5 °C (Anexo 10).



**Figura 7.** Distribución geográfica potencial de la especie *Vachellia macracantha1* en la región sur del Ecuador

## **6.2.2. *Ochroma pyramidale*.**

### **6.2.2.1. Distribución potencial para el año 2030 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Los resultados obtenidos para la especie *Ochroma pyramidale* presentaron para el escenario futuro 2030 RCP 2.6 una posible una pérdida del 33 % observándose en toda la región sur del Ecuador, así mismo se estima una ganancia del 38 % principalmente al sur de la provincia de Loja y en menor proporción en la provincia de Zamora Chinchipe y el Oro y una persistencia del 30 % dispersa en toda la región sur del Ecuador, dando a conocer que las condiciones ambientales podrían ser las adecuadas para la distribución de la especie (Figura 8).

Sus condiciones ambientales adecuadas presentan un rango altitudinal de 0 m s.n.m. a 2500 m s.n.m. donde su punto más alto de presencia es a 2000 m s.n.m. (Anexo 11) con una precipitación en un rango de 750 mm 2250 mm con mayor abundancia alrededor de 1650 mm (Anexo 12), y una temperatura que oscila entre los 14 °C a 28°C (Anexo 13).

Para el escenario futuro de 2030 RCP 8.5, se estima una pérdida de aproximada de 31 % en toda la provincia de Loja por otro lado, se observa una ganancia aproximada de 40 % en las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y El Oro. Estos datos sugieren que las condiciones ambientales serían adecuadas para la distribución de la especie en estas áreas bajo este escenario evidenciando una persistencia de aproximadamente 29 % en toda la región sur del Ecuador (Figura 8).

Considerando sus condiciones ambientales podemos determinar que la especie presenta un rango altitudinal de 0 m s.n.m. a 3000 m s.n.m. con un punto máximo de 1350 m s.n.m. (Anexo 11) con una precipitación de 900 mm a 1600 mm con mayor presencia 1350 mm (anexo 12) y una temperatura en un rango de 14 °C a 28 °C (Anexo 13).

### **6.2.2.2. Distribución potencial para el año 2050 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Para el escenario futuro de 2050 RCP 2.6, se prevé una pérdida del 33 %, que se observa principalmente al norte de la provincia de Zamora Chinchipe, así como en las provincias de Loja y El Oro, por otro lado, se presenta una ganancia de aproximadamente del 37 % y una persistencia del 30 % distribuida en toda la región sur del Ecuador indicando que las condiciones ambientales no presentan conflictos significativos para la distribución de la especie bajo este escenario (Figura 8).

Considerando sus condiciones ambientales para el año 2050 la especie presenta un rango altitudinal de 0 m s.n.m. a 2500 m s.n.m. presentando su punto más alto de abundancia a partir de 150 m s.n.m. y 1350 m s.n.m. (Anexo 11) con un rango de precipitación que se encuentra entre los 700 mm y 1600 mm con mayor presencia a 1300 mm (Anexo 12) y una

temperatura que se encuentra entre 14 °C a 28 °C con mayor presencia de la especie a 26 °C (Anexo 13).

En el escenario futuro para el año 2050 RCP 8.5, se presenta una pérdida del 33 % distribuida en las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y El Oro. Por otro lado, se ha observado una ganancia del 37 % en toda la región sur del Ecuador con una persistencia del 30 % distribuida en toda la región sur del Ecuador.

Considerando sus condiciones ambientales para este escenario la especie presenta mayor abundancia alrededor de 100 m s.n.m. y 1000 m s.n.m. en un rango de 0 m s.n.m. a 2500 m s.n.m. (Anexo 11) además una precipitación 1250 mm en un rango de 700 mm a 1900 mm (Anexo 12) y un rango de temperatura de 14 °C a 28 °C donde existe mayor presencia de especies alrededor de los 26 °C (Anexo 13).

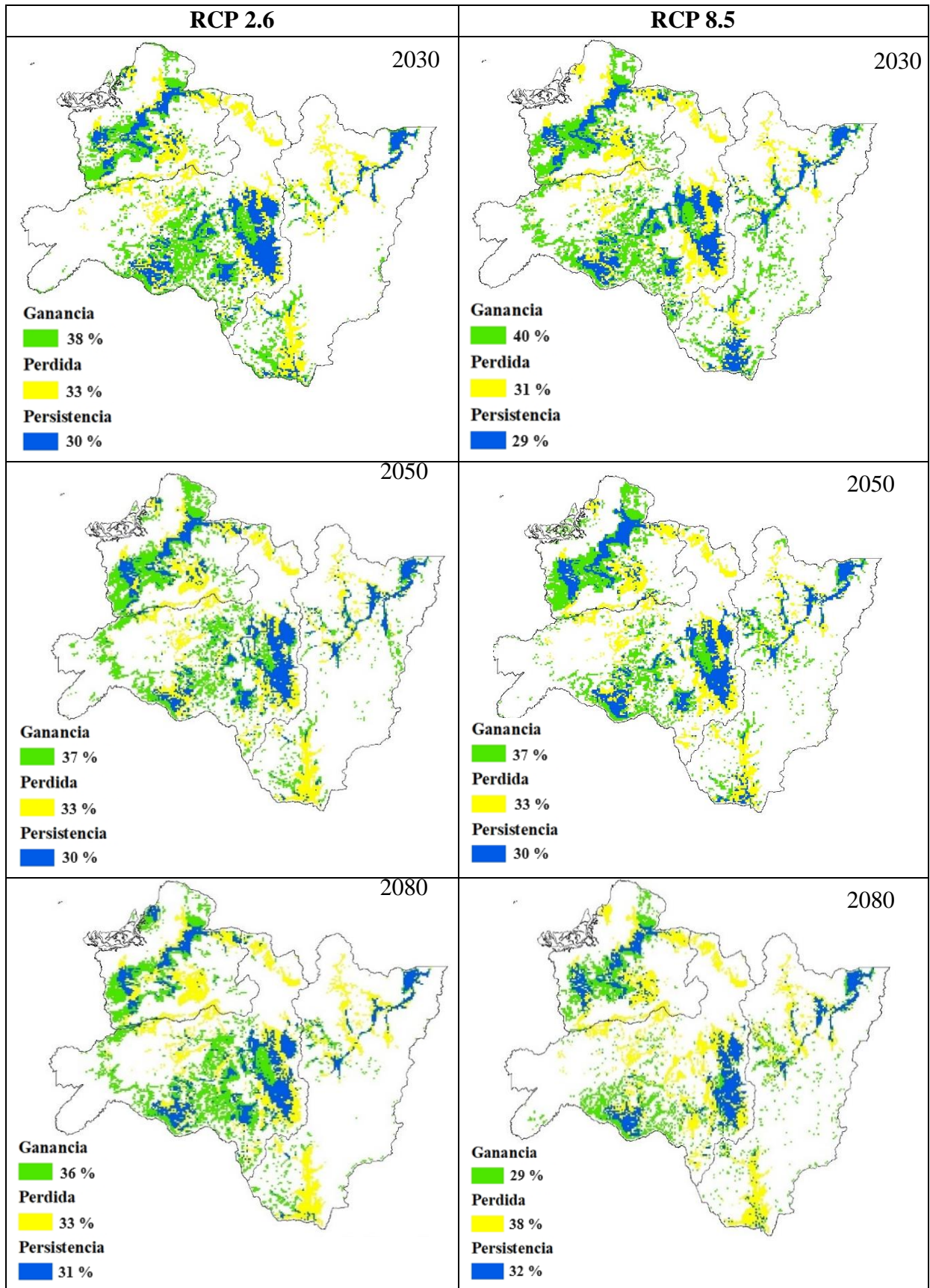
### **6.2.2.3. Distribución potencial para el año 2080 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Para el escenario futuro de 2080 RCP 2.6, se prevé una pérdida del 33 % observable en toda la región sur del Ecuador por otro lado, se prevé una ganancia de aproximada del 36 % distribuida de manera segregada en la provincia de Loja seguido de la provincia de El Oro y Zamora Chinchipe y una persistencia del 30 % observable principalmente en la provincia de Loja (Figura 8).

Considerando sus condiciones ambientales la especie presenta su distribución potencial en un rango altitudinal de 0 m s.n.m. a 2500 m s.n.m. con un punto máximo de abundancia alrededor de los 1600 m s.n.m. (Anexo 11), además presenta un rango de precipitación de 700 mm a 1600 mm con un punto máximo de presencia alrededor de los 1250 mm (Anexo 12) y una temperatura a un rango de 14 °C a 28 °C con punto máximo de 25 °C (Anexo 13).

En el escenario futuro para el año 2080, RCP 8.5 se estima una pérdida del 38 % en toda la región sur del Ecuador, y una ganancia del 29 % dispersas en áreas pequeñas, estas áreas no presentarán condiciones ambientales adecuadas para la distribución de la especie en este escenario específico, dado que presenta una persistencia del 32 % la cual es menor a su pérdida, presentándose como una amenaza para su distribución (Figura 8).

Considerando sus condiciones ambientales en un periodo de 30 años del 2050 al 2080 presentan un rango altitudinal de 0 a 2500 m s.n.m. donde presentando mayor abundancia a 100 m s.n.m. y 1150 m s.n.m. (Anexo 11), presenta un rango de precipitación de 750 mm a 1700 mm (Anexo 12) con una temperatura a un rango de 14 °C a 28 °C con un punto de abundancia máxima presente alrededor de los 26 °C (Anexo 13).



**Figura 8.** Distribución potencial de la especie *Ochroma pyramidale* en la región sur del Ecuador.



### **6.2.3. *Inga edulis*.**

#### **6.2.3.1. Distribución potencial para el año 2030 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Los resultados obtenidos para el escenario futuro 2030 RCP 2.6 determinan que podría existir una pérdida del 51 % en toda la región sur del Ecuador, así mismo se puede observar una posible ganancia del 32 % principalmente al sur de la provincia de Loja y en la provincia de Zamora Chinchipe y en menor cantidad en El Oro. Se prevé una persistencia del 17 % presente en toda la región sur del Ecuador, evidenciando que, la especie presenta problemas para mantener sus áreas de persistencia sin embargo surgen nuevas áreas de ganancia en toda la región sur del Ecuador (Figura 9).

Además, se presenta un desplazamiento de la densidad de la especie hacia mayores precipitaciones, con un pico de 1600 mm en un rango de 750 mm a 2500 mm (Anexo 15), y un aumento de presencia en temperaturas bajas en un rango de 18 °C a 27 °C, mientras que en las condiciones actuales presentan un pico que rodea los 26.5 °C (Anexo 16).

En el escenario futuro de 2030 RCP 8.5, se estima una pérdida del 17% en la provincia de El Oro y una ganancia de 55 % en la provincia de Zamora Chinchipe, seguida de Loja y El Oro.

Estos datos sugieren que las condiciones ambientales serían adecuadas para la distribución de la especie en estas áreas bajo este escenario, ya que presenta una persistencia de aproximadamente 28 % en toda la región sur del Ecuador (Figura 9), superando su pérdida y determinando que la especie no tendría problemas bajo este escenario climático y podría expandirse hacia nuevas áreas, ampliando así su distribución potencial.

Considerando sus condiciones ambientales la especie se encuentra distribuida en un rango altitudinal de 0 m s.n.m. a 2500 m s.n.m. (Anexo 14) en precipitaciones de los 500 mm a 2750 mm (Anexo 15) y con una temperatura de 18 °C a 27.5 °C (Anexo 16).

#### **6.2.3.2. Distribución potencial para el año 2050 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

En el escenario futuro para el año 2050 RCP 2.6, se estima una pérdida del 27 % presente en la provincia del Oro, seguido de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe, por otro lado, presenta una persistencia del 32 % en toda la región sur del Ecuador donde se observa que a partir de esta persistencia surgen nuevas áreas dando una ganancia de 42 % (Figura 9).

Considerando sus condiciones ambientales la especie presentan su distribución potencial en altitudes en un rango de 0 m s.n.m. a 1750 m s.n.m. con un rango de precipitación de 500 mm a 2600 mm (Anexo 15) y una temperatura de 20 °C a 28 °C presentando una disminución de abundancia de la especie en 26.5 °C (Anexo 16).

Para el escenario climático 2050 RCP 8.5, se estima una pérdida del 26 % presente en la provincia del Oro seguido de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe, por otro lado, se ha observa una persistencia del 32 % presentes en todas las provincias de la región sur del Ecuador. Cual es mayor al área que abarca la perdida y donde existen ganancias de nuevas áreas del 42 %, sugiriendo que el modelo de distribución potencial para esta especie no presenta complicaciones para su persistencia (Figura 9).

Considerando sus condiciones ambientales para la distribución potencial de la especie presentan un rango altitudinal de 0 m s.n.m. a 1600 m s.n.m. (Anexo 14), con una Precipitación de 500 mm a 2500 mm (Anexo 15) y una temperatura entre 21 °C a 27.5 °C (Anexo 16).

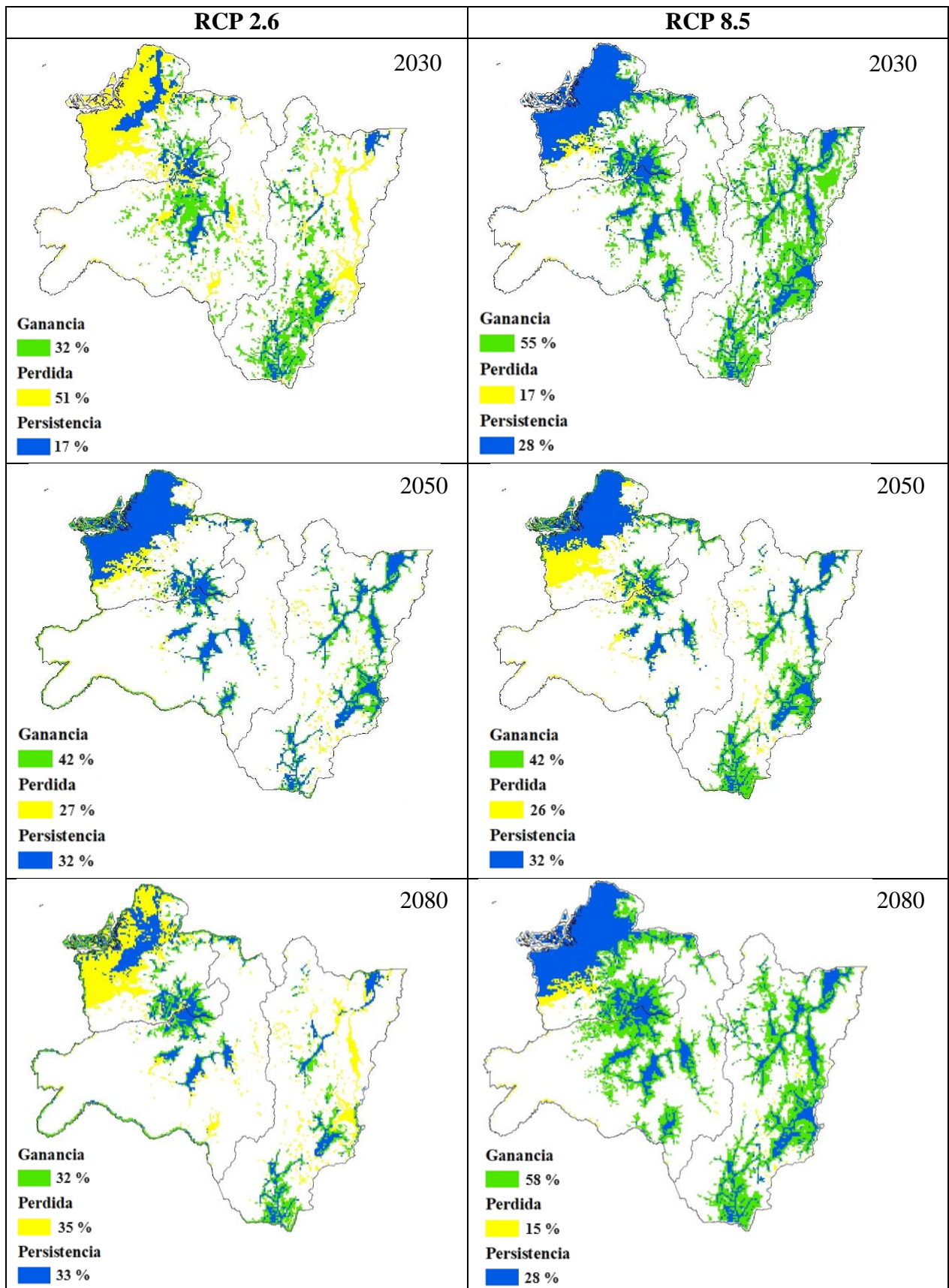
#### **6.2.3.2. Distribución potencial para el año 2080 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

En el escenario futuro de 2080 RCP 2.6, se estima una pérdida aproximadamente del 35 % en la provincia de El Oro, seguida de Zamora Chinchipe y la provincia de Loja, por otro lado, se observa una ganancia aproximadamente del 32 % y una persistencia del 33 % en toda la región sur del Ecuador (Figura 9).

Considerando que las condiciones ambientales para la distribución potencial de la especie se presenta un rango de altitudinal de 0 m s.n.m. a 2500 m s.n.m. (Anexo 14), con una precipitación de 500 mm a 2350 mm (Anexo 15), y una temperatura que oscila entre 21 °C a 27 °C (Anexo 16), se determina que la especie presenta perturbaciones para su distribución bajo este escenario climático sin embargo su persistencia es estable.

En el escenario futuro de 2080 bajo el RCP 8.5, se estima una pérdida de aproximadamente 15 % en la provincia de El Oro, así como en Zamora Chinchipe y en menor medida en la provincia de Loja, de igual manera se observa una significativa ganancia aproximadamente del 32 % en la región sur del Ecuador, partiendo desde una persistencia del 28 %, lo que sugiere que las condiciones ambientales serían favorables para la distribución de la especie en este escenario, ya que supera su perdida dando a la ganancia en nuevas áreas de distribución (Figura 9).

Las condiciones ambientales idóneas para la distribución potencial de la especie, se encuentra en un rango altitudinal de 0 m s.n.m. a 2500 m s.n.m. con un aumento de abundancia de la especie a partir de los 1000 m s.n.m. (Anexo 14) además de presentarse en una precipitación de 500 mm a 2750 mm (Anexo 15) y una temperatura entre los 20 °C y 27.5 °C (Anexo 16) permitiendo determinar que la especie no enfrentaría problemas en su distribución en el futuro bajo este escenario climático sin embargo presentara presiones altitudinales que desplazara la especie (Figura 9).



**Figura 9.** Distribución potencial de la especie *Inga edulis* en la región sur del Ecuador.

### **6.2.3. *Myrsine andina*.**

#### **6.2.3.1. Distribución potencial para el año 2030 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Los resultados obtenidos para el escenario futuro de 2030 RCP 2.6, permiten estimar una ganancia del 31 % disperso entre la provincia de Loja y Zamora Chinchipe por otro lado se observa una pérdida aproximada del 38 % presente en mayor parte al norte de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe, sin embargo, se presenta una persistencia del 31 % en los límites provinciales del Loja y Zamora Chinchipe (Figura 10).

Estos datos sugieren que las condiciones ambientales presentan una influencia para la distribución de la especie encontrándose en un rango altitudinal de 1500 m s.n.m. a 3500 m s.n.m. con una precipitación de 1250 mm a 1600 mm (Anexo 18) y una temperatura entre los 10 °C y 22 °C, (Anexo 19).

Para el escenario futuro de 2030 RCP 8.5, se estima una ganancia del 15 % dispersa entre la provincia de Loja y Zamora Chinchipe por otro lado se observa una pérdida aproximada del 38 % presente en mayor parte al norte de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe con una persistencia del 31 % en los límites provinciales del Loja Y Zamora Chinchipe (Figura 10).

Estos datos sugieren que las condiciones ambientales presentan una presión para la distribución de la especie en este escenario dado que su altitud se presenta en un rango de 1500 m s.n.m. a 3500 m s.n.m. (Anexo 17), con una precipitación entre 1250 mm a 1600 mm (Anexo 18) y una temperatura entre los 10 °C y 22 °C (Anexo 19), indicando que el escenario para esta especie no presenta las condiciones adecuadas para su proliferación sin embargo presenta una adaptación dando a la persistencia de la especie.

#### **6.2.3.2. Distribución potencial para el año 2050 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Para el escenario futuro de 2050 RCP 2.6, se estima una ganancia del 22 % dispersa entre la provincia de Loja y Zamora Chinchipe por otro lado se observa una pérdida aproximada del 45 % presentados en mayor parte al norte de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe y una persistencia del 33 % en los límites provinciales del Loja Y Zamora Chinchipe (Figura 10).

Determinando que las condiciones ambientales de la especie presentan una presión altitudinal en 2600 m s.n.m. en un rango de 200 m s.n.m. a 3500 m s.n.m. (Anexo 17), con una precipitación de 950 mm a 1600 mm con un punto máximo de abundancia presente a 1200 mm (Anexo 18), y una temperatura en un rango de 21 °C a 18 °C (Anexo 19), indicando que el escenario para esta especie no presenta las condiciones adecuadas para su proliferación.

Para el escenario futuro de 2050 RCP 8.5, se estima una ganancia del 31 % entre la provincia de Loja y Zamora Chinchipe por otro lado se observa una pérdida aproximada del 39

%, presente al norte de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe, se puede evidenciar una persistencia del 30 % en los límites provinciales del Loja Y Zamora Chinchipe (Figura 10).

Estos datos sugieren que las condiciones ambientales presentan una presión para la distribución de la especie en este escenario dado que su altitud se encuentra en un rango de 1750 m s.n.m. a 3500 m s.n.m. con una presencia de la especie en un punto máximo de 2600 m s.n.m. (Anexo 17), con una precipitación entre 1250 mm a 1600 mm (Anexo 18), a una temperatura entre los 10 °C y 20 °C con un punto máximo de 16 °C (Anexo 19), indicando que el escenario para esta especie no presenta las condiciones adecuadas para su distribución potencial.

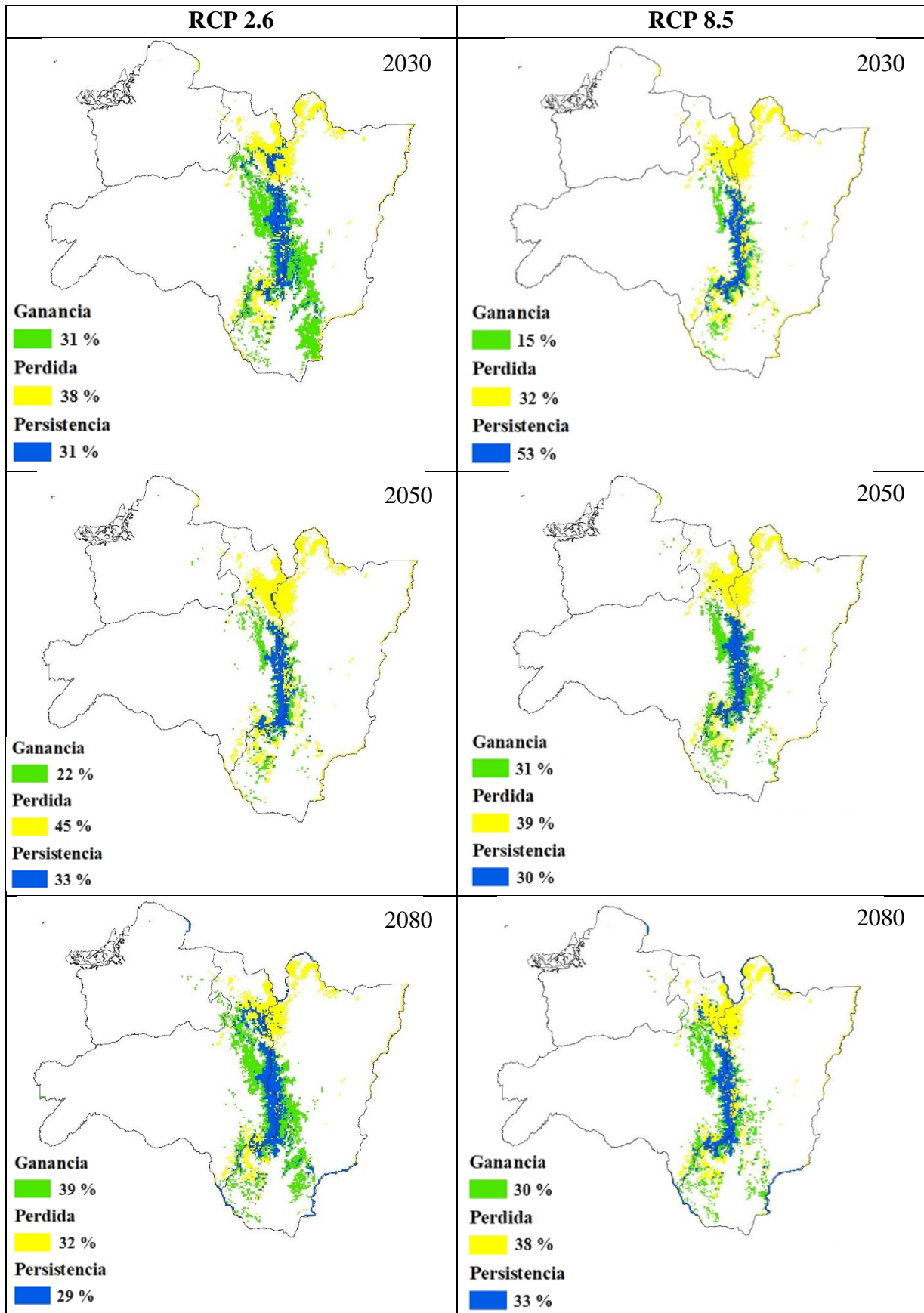
### **6.2.3.3. Distribución potencial para el año 2080 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Para el escenario futuro de 2080 RCP 2.6, se estima una ganancia del 39 % entre la provincia de Loja y Zamora Chinchipe por otro lado se prevé una pérdida aproximada del 32 % en mayor parte al norte de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe y una persistencia del 29 % en los límites provinciales del Loja Y Zamora Chinchipe (Figura 10).

Estos datos sugieren que las condiciones ambientales presentan una rango altitudinal entre los 1750 m s.n.m. y 3500 m s.n.m. (Anexo 20), con una precipitación entre 1250 mm a 1600 mm (Anexo 21) y una temperatura entre los 10 °C y 22 °C (Anexo 22), determinando que el escenario para esta especie no presenta las condiciones adecuadas para su proliferación.

Los resultados obtenidos para el escenario futuro de 2080 RCP 8.5, se estima una ganancia del 30 % distribuido entre la provincia de Loja y Zamora Chinchipe por otro lado se observa una pérdida aproximada de 38 % presentes en mayor parte al norte de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe con una persistencia del 33 % en los límites provinciales del Loja Y Zamora Chinchipe (Figura 10).

Considerando sus condiciones ambientales la especie presentan una presión en su rango altitudinal entre 2000 m s.n.m. y 3500 m s.n.m. (Anexo 20), con un máximo de abundancia en 2600 m s.n.m. además, se presenta una disminución del rango de precipitación encontrándose entre 1000 mm a 1700 (Anexo 21), y una temperatura entre los 10 °C y 22 °C con un máximo en 16 °C en (Anexo 22), determinando que el escenario para esta especie presenta las condiciones adecuadas para su persistencia.



**Figura 10.** Distribución geográfica potencial de la especie *Myrsine andina* en la región sur del Ecuador.

### **6.2.3. *Pouteria sapota*.**

#### **6.2.3.1. Distribución potencial para el año 2030 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Para el escenario futuro de 2030 RCP 2.6 se estima una ganancia del 26 % en la provincia de El Oro seguido de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe, por otro lado, se observa una pérdida aproximada del 27 % ubicada principalmente en el centro y oeste de la provincia de El Oro seguido de una persistencia del 47 % en toda la región sur del Ecuador (Figura 11).

Estos datos sugieren que las condiciones ambientales presentan un rango altitudinal entre 0 m s.n.m. y 1000 m s.n.m. (Anexo 20), con un máximo de abundancia en 600 m s.n.m. además, presenta un rango de precipitación de 500 mm a 1750 mm con un punto máximo de 1000 mm (Anexo 21) y un rango de temperatura entre los 10 °C y 22 °C determinando que el escenario para esta especie presenta las condiciones adecuadas para su persistencia (Anexo 22).

Para el escenario futuro 2030 RCP 8.6 se estima una ganancia de 24 % presente en mayor parte en la provincia de El Oro, por otro lado, se observa una pérdida aproximada del 26 % en la provincia de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe y una persistencia del 50 % al oeste en la provincia de El Oro (Figura 11).

Estos datos sugieren que las condiciones ambientales presentan un rango altitudinal entre 0 m s.n.m. y 1000 m s.n.m. (Anexo 20), con un punto máximo de abundancia en 90 m s.n.m. Además, se presenta un máximo de abundancia en 1000 mm de precipitación en un rango de 500 mm a 1750 mm (Anexo 21) con una temperatura entre los 24 °C y 27 °C (Anexo 22), determinando que el escenario para esta especie presenta las condiciones adecuadas para su persistencia.

#### **6.2.3.1. Distribución potencial para el año 2050 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

Para el escenario futuro 2050 RCP 2.6 se estima una ganancia del 28 % presente en mayor parte en la provincia de El Oro y en menor porcentaje en la provincia de Loja por otro lado se observa una pérdida aproximada del 27 % en el centro y este de la provincia de El Oro, y una persistencia del 45 % presente en mayor parte en la provincia del El Oro (Figura 11).

Considerando sus condiciones ambientales la especie se encuentra presente en un rango altitudinal entre 0 m s.n.m. y 1000 m s.n.m. (Anexo 20), con un máximo de abundancia en 60 m s.n.m. con una precipitación de 500 mm a 1750 mm con un punto máximo de abundancia alrededor de 1000 mm (Anexo 21) y una temperatura entre los 24 °C y 27 °C (Anexo 22), determinando que el escenario para esta especie presenta las condiciones ambientales adecuadas para su persistencia.

Para el escenario futuro 2050 RCP 8.5 se estima una ganancia de 10 % presente en mayor parte en la provincia Loja y Zamora Chinchipe y el Oro por otro lado se observa una pérdida aproximada del 37 % en el centro y oeste de la provincia de El Oro, y una persistencia al oeste con un 53 % (Figura 11).

Considerando sus condiciones ambientales la especie se encuentra presente en un rango altitudinal que se encuentra entre 0 m s.n.m. y 1000 m s.n.m. (Anexo 20), con un máximo de abundancia en 60 m s.n.m. con una precipitación de 500 mm a 1750 mm con un punto máximo de abundancia alrededor de 1000 mm (Anexo 21), en un rango de temperatura entre los 24 °C y 27 °C (Anexo 22), determinando que el escenario para esta especie presenta las condiciones ambientales adecuadas para su persistencia.

#### **6.2.3.1. Distribución potencial para el año 2080 RCP 2.6 y RCP 8.5.**

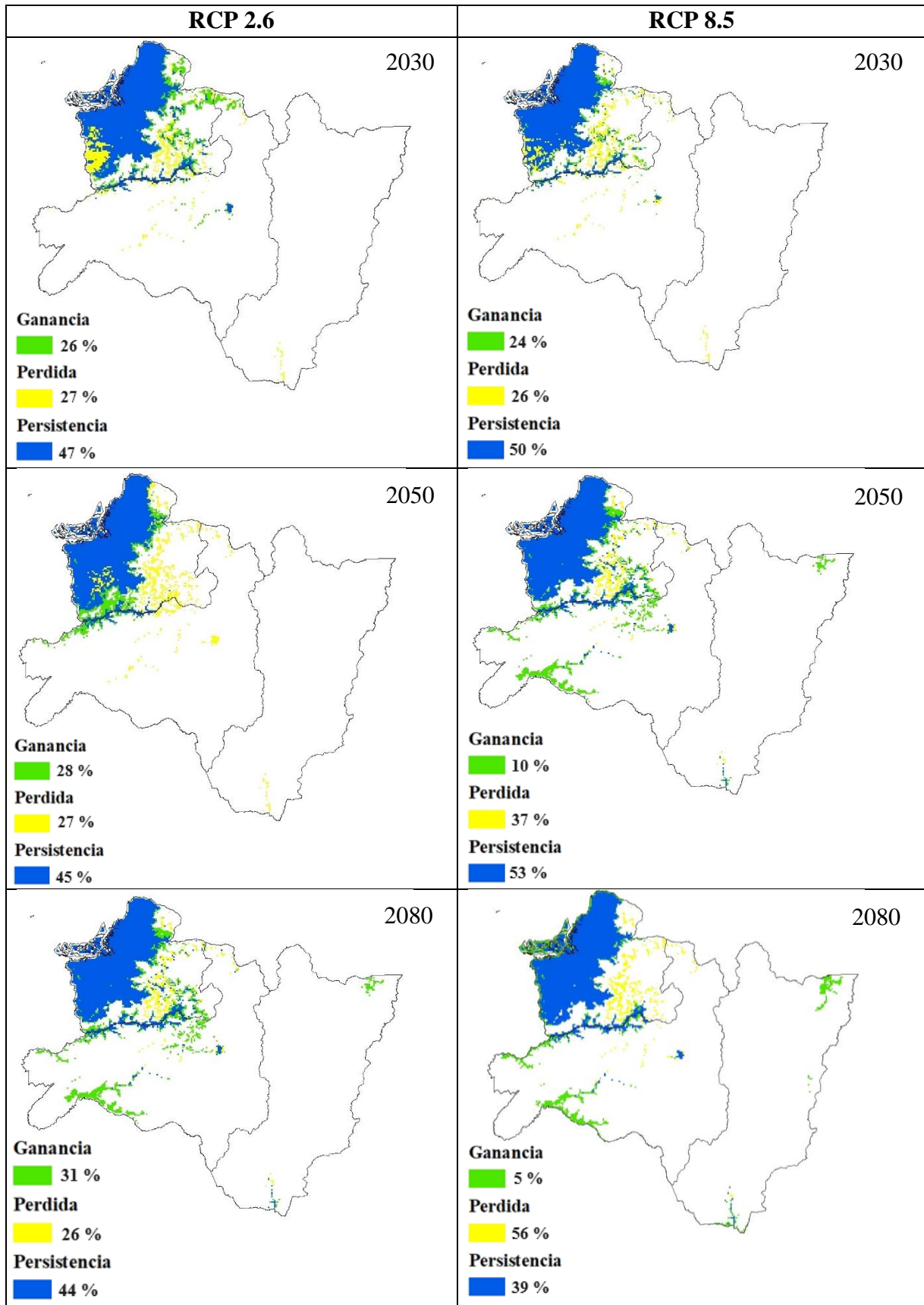
Para el escenario futuro 2080 RCP 2.6 se estima una ganancia del 31 % presente en la provincia de Loja y Zamora Chinchipe por otro lado se observa una pérdida dispersa aproximada del 26 % en el centro y este de la provincia de El Oro con una persistencia del 44 % (Figura 11).

Considerando sus condiciones ambientales la especie se encuentra presente en un rango altitudinal entre 0 m s.n.m. y 1000 m s.n.m. (Anexo 20), con un máximo de abundancia en 60 m s.n.m. con una precipitación que oscila entre los 500 mm a 1750 mm (Anexo 21), y una temperatura entre 24 °C y 27 °C (Anexo 22), determinando que el escenario para esta especie presenta las condiciones ambientales adecuadas para su persistencia.

Para el escenario futuro 2080 RCP 8.5 se estima una ganancia del 5 % presente en mayor parte en la provincia de El Oro por otro lado, se observa una pérdida aproximada del 56 % en el centro y este de la provincia de El Oro seguido de la provincia de Loja con una persistencia del 39 % al oeste de la provincia de El Oro (Figura 11).

Considerando sus condiciones ambientales la especie se encuentra presente en un rango altitudinal que se encuentra entre 0 m s.n.m. y 1000 m s.n.m. (Anexo 20), con un máximo de abundancia en 60 m s.n.m. con una precipitación de 500 mm a 1750 mm (Anexo 21), y una temperatura que oscila entre los 24 °C y 27 °C (Anexo 22), determinando que el escenario para esta especie presenta las condiciones ambientales adecuadas para su persistencia.





**Figura 11.** Distribución geográfica potencial de la especie *Pouteria sapota* en la región sur del Ecuador.

## 7. Discusión

La distribución potencial que presentaron las especies *Vachellia macracantha*, *Ochorma pyramidale*, *Inga edulis*, *Myrsine andina* y *Pouteria sapota*, evidencian una información que contribuye al futuro de la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales en sistemas agroforestales. Se determinaron para las cinco especies, dos variables dominantes la bio7 (rango anual de temperatura) y la bio9 (temperatura media del cuartil más seco), seguida de la variable topográfica hillshade. Esto sugiere que las variables climáticas no solo revelan la preferencia de las especies, además indican su capacidad para adaptarse a condiciones climáticas específicas (Chauvier et al, 2007).

Vitali y Katinas (2015), determinan que las variables bio7 y bio9 son de suma importancia para la distribución potencial de las especies, dado que presentan una influencia en la ecología de la especie, determinando su posible distribución en relación directa con las condiciones de temperatura, lo que permiten concordar con los resultados obtenidos en la presente investigación.

En el caso de la especie *Vachellia macracantha*, su distribución potencial para ambos escenarios futuros RCP 2.6 y 8.5 se encuentra definida por las variables, bio19 (Precipitación en el trimestre más frío), bio3 (Isotermalidad), bio4 (Estacionalidad de temperatura y bio9 (Temperatura promedio en el trimestre más seco). Navarrete (2019), menciona que la importancia de la disponibilidad de agua, sugiere que la especie podría ser vulnerable a los cambios invernales bajo estos dos escenarios. Esto concuerda con las variables bio3 y bio9 obtenidas en el estudio, que definen que la especie mantiene una persistencia debido a adaptaciones que le permiten enfrentar variaciones de térmicas presentes en períodos de sequía.█

Según Echavarría-Cháirez, Medina-García y Ruiz-Corral (2020), en el escenario RCP 8.5, donde se anticipa un aumento de la temperatura, al exceder los límites tolerables para la especie, se presenta una reducción en su área de distribución o una migración altitudinal, dado que el hillshade y el slope al encontrarse relacionadas con las condiciones ambientales de la especie se encuentra influyendo significativamente su distribución. Bajo el estudio de Caicedo (2013), se determina que la fenología de la especie presenta condiciones no lejos de los factores ambientales idóneos para su proliferación, manteniéndose dentro de su rango de persistencia, presentando una adaptabilidad y resiliencia para cada escenario.

En este contexto, la adaptabilidad de la especie *Vachellia macracantha* puede contribuir de manera efectiva a los sistemas agroforestales frente a los desafíos climáticos

dada su persistencia ante los cambios ambientales. Estos hallazgos concuerdan con los resultados obtenidos por Romero et al, (2020) el cual define que la especie *Vachellia macracantha* sobrevive y se desarrolla ofreciendo beneficios ecológicos y agronómicos para sistemas agroforestales como la protección de cultivos ante vientos fuertes y la fijación de nitrógeno mejorando la fertilidad del suelo y su disponibilidad de sombra, ofreciendo un microclima más favorable para el desarrollo en sistemas agroforestales.

En el escenario RCP 2.6 y RCP 8.5 para la especie *Ochroma pyramidale* se obtuvo que las variables bio4 (Estacionalidad de temperatura), bio3 (Isotermalidad), bio7 (Rango anual de temperatura), bio13 (Precipitación en el período más lluvioso), bio9 (Temperatura promedio en el trimestre más seco), bio12 (Precipitación anual), slope y el hillshade, son variables contribuyentes en la distribución potencial de la especie.

Según Jiménez et al. (2017), las condiciones idóneas para la proliferación de la especie presentan una temperatura 16 °C y 28 °C, siendo más común a 26 °C, una precipitación de 300 mm y 1700 mm, siendo más óptima alrededor de 1350 mm con una altitud que varía hasta 2500 m s.n.m. presentando su punto más alto de abundancia a 1500 msnm. Estos hallazgos concuerdan con los resultados obtenidos en la presente investigación, donde se obtiene un rango de temperatura que oscila entre los 14°C y 28 °C, presentándose con más frecuencia a 26 °C, presenta una precipitación de 500 mm a 1900 mm con un máximo de abundancia alrededor de 1250 mm en una altitud entre los 0 msnm y 2500 msnm demostrado una notable adaptabilidad a diversas condiciones climáticas y topográficas de la especie.

En relación con los sistemas agroforestales, la especie *Ochroma pyramidale* se presenta como una especie adaptable que ofrece oportunidades significativas tanto para su conservación como para su integración en sistemas agroforestales, dado a sus beneficios ecológicos contribuye a la conservación del suelo a través de sus sistemas radiculares cuáles reducen la erosión y mejoran su estructura, además de actuar como sumideros de carbono ayudando a la mitigación del cambio climático (Alvarez et al., 2023). Su inclusión en sistemas agroforestales potencia la economía, diversificando la producción de madera y aumentando los ingresos económicos, lo que posiciona como una especie esencial para la sostenibilidad ambiental y agrícola.

La especie *Inga edulis* presenta una adaptabilidad particular a ciertas condiciones ambientales, según los resultados obtenidos en la presente investigación, las variables que definen la distribución potencial de la especie presentan una relación con la resistencia a

periodos cortos de sequía, indicando una adaptabilidad a variaciones del cambio climático.

Bajo el estudio de Abril et al (2018), en relación con los sistemas agroforestales podemos determinar que la variable bio18 (Precipitación en el trimestre más caluroso) desempeña un papel fundamental al proporcionar sombra que contribuye al manejo de temperatura para en especie coexistentes en cultivos, la bio15 (Variabilidad de las precipitaciones anuales) y la bio7 (Fluctuaciones de temperatura) resultan cruciales para identificar las especies capaces de tolerar variaciones en la precipitación y temperatura, garantizando así una producción óptima de los cultivos asociados.

De igual manera, la presencia de pendiente y la luz directa favorece la distribución uniforme de agua y nutrientes, definiendo una adaptabilidad bajo las variables bioclimáticas y topográficas a considerar en la planificación y diseño de sistemas agroforestales para garantizar la sostenibilidad y resiliencia en cultivos (Farfan y Sánchez, 2016). La especie *Myrsine andina* presenta para el escenario RCP 2.6 y RCP 8.5 una relación estrecha con la bio9 (Temperatura promedio en el trimestre más seco).

Este hallazgo determina una capacidad notable para soportar condiciones de temperatura durante periodos secos, representando una gran importancia para la agricultura, dado que indica una resistencia de la especie a temperaturas elevadas, contribuyendo a la persistencia de cultivos en periodos más secos y calurosos.

Según Navas, (2016) la especie presenta una relación con la variable bio16 (precipitación en el trimestre más lluvioso) y bio19 (Precipitación en el trimestre más frío), estos hallazgos concuerdan con la investigación asegurando que la especie en sistemas agroforestales permite la disponibilidad de agua en cultivos, y el equilibrio hídrico en sistemas agroforestales durante los meses fríos.

La altitud es un factor determinante para esta especie, que presenta una tendencia de desplazamiento en respuesta a la variación térmica. Sus temperaturas oscilan entre 10 °C y 22 °C, junto con una precipitación entre 950 mm y 1700 mm.

Estos valores reflejan que, para ambos escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5, la especie enfrenta presiones para su adaptabilidad, cambiando su rango altitudinal, su precipitación y su temperatura requerida. Sin embargo, Según Tania (2018), su persistencia y su adaptabilidad a diferentes altitudes, la convierten en una opción valiosa para la diversificación de sistemas agroforestales, ofreciendo potenciales beneficios en términos de biodiversidad, control de erosión de suelo, y resiliencia climática, sugiriendo que

cultivos con necesidad de sombra junto a esta especie presentan mayores rendimientos por su copa obteniendo beneficios económicos rentables para los sistemas agroforestales.

La distribución potencial de la especie *Pouteria sapota* para el escenario RCP 2.6 y 8.5 se encuentra definida por la variable bio9 (Temperatura media del trimestre más seco), bio7 (Rango anual de temperatura). Estas variables influyen en la capacidad de la especie para adaptarse a variaciones de temperatura. Sin embargo, Núñez (2017) menciona que la precipitación es crucial para la distribución de la especie, lo cual concuerda con las variables obtenidas bio14 (Precipitación del mes más seco) y bio18 (Precipitación del trimestre más caliente) que determinan su preferencia por un rango de precipitación específico, con un pico de abundancia alrededor de 1000 mm y una adaptabilidad a periodos de precipitación cortos que pueden llegar a los 1750 mm lo cual determina que la influencia en microclimas locales, son factores determinantes en la distribución de la especie.

Basándose en el estudio de Espinosa (2016), la relación de la especie *Pouteria zapote* con las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo presenta rangos temperaturas entre 20 °C y 32 °C con una tolerancia de temperaturas altas de 38 °C con una precipitación de 1000 mm y altitudes de 0 a 1300 msnm relacionado con los resultados obtenidos su distribución potencial hacia escenarios futuros presentan condiciones ambientales para su desarrollo a una altitudinal de 0-1000 msnm, con un rango de precipitación de 500 mm a 1750 mm y una temperatura que oscilan entre 24 °C y 27 °C las cuales son condiciones recurrentes que demuestran ser ideales para la especie.

La distribución potencial especie *Pouteria sapota* en su modelamiento a futuro para ambos escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 presenta variaciones climáticas del 2030 hasta el 2080 con fluctuaciones de ganancia y pérdida, sin embargo, mantiene una persistencia de la especie, Estas características según Villegas, (2016) indican que esta especie puede contribuir a los sistemas agroforestales, por su diversificación de productos y la resiliencia ambiental mitigando los riesgos con las plagas, enfermedades y el cambio climático.

## 8. Conclusiones

Los modelos de distribución potencial obtenidos para las cinco especies bajo la metodología aplicada en la presente investigación determinaron un óptimo desempeño en los modelos para cada una de las especies dado al uso de métricas estadísticas como son la aplicación de la prueba de jackknife que permitió evaluar la contribución de cada una de las 23 variables evaluadas y bajo la prueba de inflación del factor de varianza VIF obteniendo un 80 % de confiabilidad para cada una de las especies modeladas.

De las 23 variables analizadas se determinó que las variables bio1 (Temperatura media anual), bio2 (Rango medio diurno), bio5 (Temperatura máxima del mes más cálido), bio6 (Temperatura mínima del mes más frío), bio8 (Temperatura media del cuartil más húmedo), bio10 (Temperatura media del cuartil más cálido), bio11 (Temperatura media del cuartil más frío) y bio17 (Precipitación del cuartil más seco) y el DEM no presentaron una contribución para ninguna de las cinco especies modeladas las cuales fueron excluidas por su inflación del factor de varianza (VIF) alto.

Dado el modelamiento de distribución potencial para las cinco especies en ambos escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 las variables más representativas fueron el rango anual de temperatura (bio7), la temperatura media del cuartil más seco (bio9), el mapa de sombras (hillshade) y la pendiente (slope) cuáles se presentan como variables predictoras cruciales que influyen directamente en la germinación y el crecimiento de las especies y cuáles determinan la distribución geográfica potencial hacia escenarios futuros.

La dinámica y distribución potencial para las cinco especies modeladas presentaron fluctuaciones de ganancia y pérdida bajo presiones ambientales dadas por cada uno de los escenarios de cambio climático, demostrando mantener una persistencia de las cinco especies para ambos escenarios con una emisión de gases de efecto invernadero en 2 °C para el escenario RCP 2.6 y 4.8 °C para el escenario RCP 8.5, sin embargo, la persistencia de las especies no son constantes por lo que esta tienen a perderse y recuperarse por lo que su desarrollo de nuevas áreas de distribución potencial es baja.

Los datos obtenidos de modelos predictivos hacia escenarios futuros son cruciales para la planificación y el manejo adaptativo de las cinco especies, la información de ganancia perdida y persistencia así como las variables influyentes para cada una de las especies, facilitan la implementación de prácticas agrícolas y de conservación dado que brindan una perspectiva a futuro de su comportamiento bajo la influencia del cambio climático, la anticipación y adaptación a las tendencias climáticas emergentes aseguran

la resiliencia de los sistemas agroforestales lo que garantiza una productividad y sostenibilidad a largo plazo, alineando las prácticas de conservación con las proyecciones climáticas para una gestión efectiva en sistemas agroforestales.

## **9. Recomendaciones.**

Considerando la información obtenida en el desarrollo de la presente investigación se recomienda para futuras investigaciones considerar expandir el área de estudio, lo que podría revelar áreas potencialmente habitables que se encuentren en la periferia del área actualmente considerada.

Es esencial considerar el número de observaciones de las especies a modelar sea representativos en el área de estudio, además de someter estos datos a un filtrado, considerando la precisión geográfica, posibles errores de identificación y la presencia de valores atípicos.

Se recomienda para futuras investigaciones evaluar la calidad de los modelos utilizando métricas relevantes, como TSS y ROC, para obtener una evaluación más precisa y detallada de del rendimiento de los modelos.

Los modelos de distribución potencial generados en la presente investigación pueden servir como punto de partida para la toma de decisiones en la planificación de medidas de conservación y adaptación en los sistemas agroforestales adaptados al cambio climático, por lo que se debería considerar para la planificación ha futuro.



## 10. Bibliografía

- Abril-Saltos, R. V., Ruiz-Vázquez, T. E., Alonso-Lazo, J., Cabrera-Murillo, G. M., & Meric, O. A. (2018). Crecimiento inicial de *Eugenia stipitata*, *Inga spectabilis* e *Inga Edulis* en Napo, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 275-291.
- Acaro, T. Y. S. (2018). Caracterización de la vegetación y el microclima en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales en la zona cafetalera Chaguarpamba-Olmedo [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/20897/1/TaniaYasminSarrangoAcaro.pdf>
- Aguilera Maldonado, A. E. (2013). Plan de ordenación territorial del cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe. oai:dspace.ucuenca.edu.ec:123456789/4294
- Aguirre Mendoza, Z., & Geada-López, G. (2017). Estado de conservación de los bosques secos de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(1), 207-228.
- Aguirre, N., Ojeda, T., y Eguiguren, P. (2010). El cambio climático y la conservación de la biodiversidad en el Ecuador. *Artículos de investigación Acuicultura*, 1(1), 17.
- Alia-Tejagal, I., Colinas-León, M. T., Martínez-Damián, M. T., & Soto-Hernández, R. M. (2005). Daños Por Frío En Zapote Mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore and Stearn). I. Cambios En Volátiles, Firmeza y Azúcares Totales. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(1), 17-17.
- Altamirano, T. (2021). Refugiados ambientales: cambio climático y migración forzada. Fondo Editorial de la PUCP.
- Amat, E. M. (2017). Modelización del hábitat potencial actual y futuro del datilero del desierto (Balanites).
- Arias, R., Martínez, J., Sobolev, S., Blancarte-Jasso, N. H., Simpson, S., Ballard, y Scheffler, B. E. (2015). Desarrollo de un gran conjunto de marcadores microsatélites en zapote (*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore & Stearn) y su potencial uso en el estudio de la especie. *Moléculas*, 20(6), 11400-11417.
- Azurdia, C. (2006). Tres especies de Zapote en América Tropical: (*Pouteria campechiana*, *P. Sapota* y *P. viridis*) (Vol. 6). *Crops for the Future*.
- Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p.

- Bravo Cadena, Jessica; Sánchez Rojas, Gerardo; Gelviz-Gelvez, Sandra Milena. “Estudio de la distribución de las especies frente al cambio climático”. Cuadernos de Biodiversidad. N. 35 (mayo 2011). ISSN 1575-5495, pp. 12-18
- Caicedo, C. M. A., Melo, W. M., Guerrero, J. A., Ceron, A. G., & Santacruz, E. I. (2013). Especies arbóreas y arbustivas con potencial silvopastoril en la zona de bosque muy seco tropical del norte de Nariño y sur del Cauca. *Revista Agroforestería Neotropical*, (3).
- Carpio, C. A., Hernández, V. A. G., Aguilera, J. A. M., y Monter, Á. V. (2015). Estudio fenológico en Zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore & Stearn] GUERRERO, MÉXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(1), 71-79.
- Castillo Villamarín, J. G. (2021). Caracterización de extractos obtenidos a partir de Tarqui Myrsine Andina (Mez) Pipoly, planta nativa del cerro Teligote (Bachelor's tesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos).
- Catagña, F. C., Vega, C. B., Dávalos, A. B., Vascones, N. L., & Carrión, D. (2019). Evaluación de Servicios Ambientales de un Bosque de ceja Andina para la Gestión del Recurso Forestal en Zonas alto Andinas. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 8(2), 149-156.
- Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., de Grau, P., Prieto-González, R., y Bravo, M. E. (2013). Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional. informe, México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Cedeño Valero, D. D. (2021). Manejo agronómico del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en el Ecuador (Bachelor's tesis, BABAHOYO: UTB, 2021).
- Chaguarpamba-olmedo. Edu.ec. Recuperado el 7 de septiembre de 2023, de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/20897/1/TaniaYasminSarangAcaro.pdf>
- Chamba-Morales, M. D., Lapo-Paredes, L. E., y Vásquez, E. R. (2019). La agricultura familiar campesina en el cantón Catamayo, provincia de Loja. *CEDAMAZ*, 9(2), 66-74.
- Chauvier, Y., Zimmermann, N. E., Poggiato, G., Bystrova, D., Brun, P., & Thuiller, W. (2021). Novel methods to correct for observer and sampling bias in presence-only species distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 30(11), 2312-2325.

- Coitiño Banquero, H. I. (2019). Efectos de las carreteras en el paisaje y la distribución de medianos y grandes mamíferos en Uruguay.
- Contreras Valdovinos, A. N. (2019). Estrategias de modelación interacción especie ambiente en función del rendimiento de materia seca en cultivos de cobertura <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/12715>
- Cordero, J. (2003). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Bib. Orton IICA/CATIE.
- Corominas, J. (2014). Los primeros minutos del efecto invernadero. Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias, 11(1), 100-107.
- Cuervo Robayo, A. P., Escobar, L. E., Osorio Olvera, L. A., Nori, J., Varela, S., Martínez Meyer & Townsend Peterson, A. (2017). Introducción a los análisis espaciales con énfasis en modelos de nicho ecológico.
- Derocher, A. 2005. Population ecology of polar bears at Svalbard, Norway. *Popul Ecol.* 47:267–275.
- Echavarría-Cháirez, F. G., Medina-García, G., & Ruiz-Corral, J. A. (2020). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11, 63-74.
- Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda-Luna, T., & Aguirre-Mendoza, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica (p. 184). N. Aguirre (Ed.). Universidad Nacional.
- Enríquez Pinedo, L. C. (2021). Distribución potencial de *Polylepis rodolfo-vasquezii* L. Valenzuela & I. Villalba y *Polylepis canoi* W. Mendoza en función a variables climáticas, topográficas y edáficas región Junín”.
- Farfan, F., & Sánchez, P. M. (2016). Densidad de siembra del café variedad Castillo en sistemas agroforestales en el departamento de Santander Colombia.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2), 880–881. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>

- Forcada, J. 2007. Cambio climático y sus repercusiones en la megafauna de la Antártica. En: Duarte (Eds) Impactos del calentamiento global sobre los ecosistemas polares. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es>
- Galarza, G. W. (2009). Plan de inversión para el establecimiento de 300 hectáreas de balsa (*Ochroma pyramidale*), con fines comerciales en la parroquia La Unión, del cantón Jipijapa. Periodo 2009 (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum).
- Gonzales Reátegui, W. J. (2011). Evaluación del efecto de guano de las islas en el crecimiento de guaba (*Inga Edulis* C. Martius) y pino chuncho (*Schizolobium parahyba* (velloso) Blake) var. *Amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby asociados con especies del género *Heliconia*.
- Gonzalez, C. Z. (2016). Impactos del cambio climático en la agricultura y seguridad alimentaria. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 269-291.
- Grajales Olarte, L. V. (2017). Wallace-Sibylla: plataforma para el modelado de distribución de especies aplicando redes neuronales profundas. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/a8781a18-28e4-4ecb-b1ae-d53cc8025217>
- Guitérrez, E., & Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(1), 179-188.
- Gutiérrez Pesquera, L. M. (2016). Thermal tolerance across latitudinal and altitudinal gradients in tadpoles.
- Guzmán-Santiago, J. C., De los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Vargas-Larreta, B., Gómez-Cárdenas, M., Rodríguez-Ortiz, G., & Corona-Núñez, R. O. (2024). Efecto del cambio climático en la distribución de las especies de clima templado en Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, 102(1), 39-53.
- Hernández, O. G. (2018). Guisan, A., Thuiller, W., Zimmermann, NE, 2017. *Habitat Suitability and Distribution Models. With Applications in R*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. ISBN: 9781108505512. 478 páginas. Pirineos, 173, rb006-rb006.
- Hernández, O. G., Artigas, R. C., González, J. M. S., & García, L. V. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (78), 88-126.

- ICUC. 2005. Tres Especies de zapote en América Tropical: *Pouteria campechiana* (Canistel), *P. sapota* (zapote mamey) y *P. viridis* (zapote verde). International Centre for Underutilised Crops. Universidad de Southampton, Southampton, U.K.
- IPCC, 2022: Contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU., 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.Cambio climático 2022: impactos, adaptación y vulnerabilidad.
- Jiménez Romero, E., Garcías Franco, L., Carranza Patiño, M., Carranza Patiño, H. M., Morante Carriel, J., Martínez Chévez, M., & Cuásquer Fuel, J. (2017). Germinación y crecimiento de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en Ecuador. *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 243-250.
- Lara-Resendiz, R. A., Galina-Tessaro, P., Pérez-Delgadillo, A. G., Valdez-Villavicencio, J. H., & Méndez-de La Cruz, F. R. (2019). Efectos del cambio climático en una especie de lagartija termófila de amplia distribución (*Dipsosaurus dorsalis*): un enfoque ecofisiológico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90.
- Leal-Nares, Ó., Mendoza, M. E., Pérez-Salicrup, D., Geneletti, D., López-Granados, E., & Carranza, E. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(4), 1152-1170.
- Lim, T. K. (2012). *Inga edulis*. En *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* (pp. 715–719). Springer Netherlands.
- LIPS K. R., P. A. Burrowes, J. R. Mendelson, Parra-Olea G. 2005. Amphibian Population Declines in Latin America: A Synthesis. *Biotropica* 37:222–226.
- Lizares Castillo, M. (2017). Comparación de modelos de clasificación: regresión logística y árboles de clasificación para evaluar el rendimiento académico. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/7122>
- Lojka, B., Dumas, L., Preininger, D., Polesny, Z., & Banout, J. (2010). The use and integration of *Inga Edulis* in agroforestry systems in the Amazon-review article. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 43(4), 352-359.

- López García, M. A. (2007). Descripción y caracterización de nichos ecológicos: una visión más cuantitativa del espacio ambiental. Centro de Investigación en Matemáticas, AC.
- López Ramón, M. G. (2022). Efecto de dos tratamientos pregerminativos con tres sustratos en la propagación de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.(BALSA) en un vivero de Huamboya.
- López, J. L. B., Méndez, U. R., Bautista, A. R., & López, J. S. B. (2016). Revisión de las técnicas para el modelado de la distribución de las especies. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 4(1), 176-187.
- Lozano, P. (2002). Los tipos de bosque en el sur de Ecuador. *Botanica Austroecuatoriana. Estudios sobre los recursos vegetales en las provincial de El Oro, Loja y Zamora-Chinchi*. Abya-Yala, Quito, 29-49.
- Luo, M., Wang, H., & Lyu, Z. (2017). Evaluating the performance of species distribution models Biomod2 and MaxEnt using the giant panda distribution data. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 28(12), 4001-4006.
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria*, 25(2), 03-19.
- Madiedo Camelo, A. M., & Tibaduisa Martínez, A. V. (2021). Propuesta de diseño de un sistema agroforestal para incrementar la captura de carbono y conservación de suelos empleando especies eficientes. Estudio de caso finca Casa Blanca ubicada en la vereda Bobace, Bojacá-Cundinamarca.
- Magrin, G. (2008), Cambio Climático en América Latina: Su influencia en el sector agrícola y en la producción del cultivo de papa., (págs. 26-41). Mar del Plata.
- Maldonado Arciniegas, F. J. (2015). Evaluación de la germinación de semillas de *Vachellia macracantha* usando métodos de escarificación (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2015.).
- Marín-Gómez, O. H., Castaño-González, A. F., & Gómez-Marín, G. D. (2012). Fenología del guamo *Inga edulis* (Fabales: Mimosoideae) en dos agroecosistemas del Quindío, Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 23(2), 127-133.
- Milesi, F. A., & Lopez de Casenave, J. (2005). El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología austral*, 15(2), 131-148.

- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. Sistemas agroforestales funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Editorial CIPAV, Cali, Colombia, 269-297.
- Mota Vargas, C., Encarnación Luévano, A., Ortega Andrade, H. M., Prieto Torres, D. A., Peña Peniche, A., & Rojas Soto, O. R. (2020). Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Navarrete Macedo, C. E. (2019). Distribución potencial de especies forestales amenazadas y endémicas raras mediante modelos de nicho ecológico. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4038>
- Navas de los Reyes, J. C. (2016). Modelación de la distribución potencial de tres especies de Puya como insumo para la planificación de su conservación en alta montaña del Distrito Capital.
- Neder, C. (2016). El bentos de Caleta Potter (Antártida): Un meta-análisis usando modelos de distribución de especies (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Córdoba).
- Núñez-Colín, C. A., Alia-Tejacal, I., Villarreal-Fuentes, J. M., Escobedo-López, D., Rodríguez-Núñez, J. R., & Peña-Caballero, V. (2017). Distribución, caracterización eco-climática y zonas potenciales de cultivo del zapote mamey en México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 23(2), 75-88.
- Oliver, J. (2013). Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca Azuay - Ecuador. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 33 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Patiño Ganchozo, E. Y. (2022). Determinación del rendimiento y costos de producción en los procesos de transformación primaria de la madera de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.(balsa) en el cantón Quevedo y sus zonas de influencia (Bachelor's thesis, Quevedo-Ecuador).
- Pinzon, J., & Spence, J. R. (2013, July). Modelos de distribución de especies y hotspots de biodiversidad. In *Memorias 40 Congreso Socolen* (Vol. 40, pp. 281-319).
- Plasencia-Vázquez, A. H., Escalona-Segura, G., & Esparza-Olguín, L. G. (2014). Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta zoológica mexicana*, 30(3), 471-490.

- Plaza Aspiazu, X. I. (2021). Efectos de cinco sustratos en la producción de plántulas de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en el cantón Paján, provincia de Manabí (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61-79.
- Quijia-Quijia, M., Castillo-Torres, S., Vasquez-Castillo, W., & Racines-Oliva, M. (2020). Fenología floral de la guaba (*Inga edulis*) en un valle interandino del Ecuador. *Enfoque UTE*, 11(3), 25-34.
- Ramos, Ó., & Mestre Carrillo, G. (2014). Tras las huellas de las especies: modelos de distribución geográfica. *Biodiversidad Colombia*, 1(4), 17-26.
- Rangel Sánchez, L. K. (2017). ¿Modelos de distribución de especies o polígono mínimo convexo?: evaluación del estado de conservación de libélulas del género *argia* (odonata: coenagrionidae) comparando modelos de distribución potencial.
- Ricker, M. (2001). Manejo y evaluación económica de una especie arbórea de la selva tropical: El mamey (*Pouteria sapota*). *Plantas, cultura y sociedad: estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo*, 21, 287-308.
- Rodríguez, F. R., & Córdoba, G. T. (2009). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción Balsa. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 6(17), 64-66.
- Romero, H. A. R., Mora, M. G. S., & Herrera, J. A. (2009). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas-México. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 97-110.
- Larsen, T. H., Brehm, G., Navarrete, H., Franco, P., Gómez, H., Mena, J. L.,... & Canhos, V. (2012). Desplazamientos de los rangos de distribución y extinciones impulsados por el cambio climático en los Andes tropicales: síntesis y orientaciones. *Herzog, SK, Martínez, R., Jorgensen, PM & Tiessen, H. Cambio climático y biodiversidad en los Andes*, 57-82.
- Ruggiero, A. (2001). Interacciones entre la biogeografía ecológica y la macroecología: aportes para comprender los patrones espaciales en la diversidad biológica. *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*, 81-94.
- Saavedra, N. S. (1992). Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones. *Ingeniería e investigación*, (28), 31-40.



- Salazar Cervantes, E. (2023). Modelo de distribución regional de alta resolución del traslape espacial entre el hábitat del tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) y los barcos de pesca (Master's thesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC).
- Samaniego-Rojas, N., Eguiguren, P., Maita, J., & Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur del Ecuador: historia y tendencias. Cambio climático y biodiversidad: estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador. Programa de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Universidad Nacional de Loja, Loja, 43-63.
- Sasmito, S. D., Murdiyarso, D., Friess, D. A., & Kurnianto, S. (2016). Can mangroves keep pace with contemporary sea level rise? A global data review. *Wetlands Ecology and Management*, 24, 263-278.
- Schulte-Uebbing, L., Hansen, G., Hernandez, A. M., & Winter, M. (2015). Chapter scientists in the IPCC AR5—experience and lessons learned. *Current opinion in environmental sustainability*, 14, 250-256.
- Silva, E. M.; Rogez, H.; Da Silva, I. Q. y Larondelle, Y. (2013). Improving the Desorption of *Inga Edulis* Flavonoids from Macroporous Resin: Towards a New Model to Concentrate Bioactive Compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 558–564. doi: 10.1016/j.fbp.2012.11.005
- Sobanski, N. y Marques, M. (2014). Effects of Soil Characteristics and Exotic Grass Cover on the Forest Restoration of the Atlantic Forest Region. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 217–222. doi: 10.1016/j.jnc.2014.01.001
- Solomon, S. (2007, diciembre). IPCC (2007): El cambio climático es la base de la ciencia física. En *Agu fall meeting abstracts* (Vol. 2007, pp. U43D-01).
- Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., Breiner, F., Georges, M. D., & Thuiller, C. W. (2016). Package 'biomod2'. Species distribution modeling within an ensemble forecasting framework. <ftp://137.208.57.37/pub/R/web/packages/biomod2/biomod2.pdf>
- Urza Pérez, C. (2018). Modelos de distribución de la especie *Eulidia yarrellii* en relación con su competidor (*Thaumastura cora*), región de Arica y Parinacota. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/153025>
- Valencia Cubillos, L. S. (2022). Distribución espacio-temporal del calderón piloto de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*, Gray 1846) en la Región del Gran Caribe.

- Vallejo Arévalo, W. H. (2020). Generación de un modelo de predicción espacial de la deforestación en la jurisdicción de Corpochivor para el periodo 2017-2047 basado en mapas de cobertura y análisis de variables espaciales con dinámica EGO.
- Vásquez-Dávila, S., & Bravo-Benavides, D. (2023). Impacto del cambio climático en la producción agrícola de la provincia de Loja, periodo 2007-2020. *Revista Económica*, 11(1), 93-103.
- Vela Zarama, L., & Santacruz Narváez, L. I. (2022). Modelación climática para la distribución potencial de la especie de frailejones «*Espeletia pycnophylla* cuatrec», presente en el complejo de Páramos Chiles-cumbal en el departamento de Nariño: recomendaciones para la conservación de la especie.
- Vera Aravena, D. (2016). Patrones de distribución espacial y representatividad de las especies arbóreas presentes en los territorios de Chile y Argentina. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143512>
- Vichot-Llano, A., Bezanilla-Morlot, A., Martínez-Castro, D., & Centella-Artola, A. (2019). Estado actual de la aplicación de métodos de reducción de escala a las proyecciones de cambio climático en Centroamérica y el Caribe. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(2).
- Viguera, B., Martínez-Rodríguez, M. R., Donatti, C. I., Harvey, C. A., & Alpízar, F. (2017). Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación (No. 630.2515 M692m). CATIE, Proyecto CASCADA.
- Villegas Chora, G. B. (2021). Manejo agronómico del cultivo de mamey colorado (*Pouteria sapota*) (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021).
- Villegas-Monter, A. (2016). Zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) Moore & Stearn], diversidad y usos. *Agro Productividad*, 9(4).
- Vitali, M. S., & Katinas, L. (2015). Modelado de distribución de las especies argentinas de *Smallanthus* (Asteraceae), el género del “yacón”: un cultivo potencial para la agricultura familiar.
- Vite Martínez, R. C. (2018). Influencia del sustrato en la producción de plantones de Faique (*Acacia macracantha humb. & bonpl ex wild*). Valle del Medio Piura.
- Yasmin, T., Acaro, S., Max, C., & Córdova, E. (2018). Caracterización de la vegetación y el microclima en Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica l.*) En Tres pisos altitudinales en la zona cafetalera.

## 11. Anexos.

### Anexo 1. Script Utilizado para el modelamiento.

```
library(biomod2)
library(sp)
library(raster)
library(dismo)
library(rJava)
library(xlsx)
library(ggplot2)
library(lattice)
library(caret)
library(ggExtra)
library(egg)
library(gridExtra)
library(egg)
library(raster)
library(ggpubr)
library(reprex)
library(tidyterra)
library(ggtext)

# DEFINIR DIRECTORIO DE TRABAJO Y CARGAR LAS VARIABLES -----
-----

# Directorio de trabajo
setwd ("C:/ECOSISTEMAS")
# Cargar datos de los ecosistemas a modelar
data <- read.csv('Csv/AdBn01.csv', header = TRUE, sep = ";") # con esto
cargamos el ecosistema
head(data)
# Seleccionamos la columna que tiene el ecosistema o especie
myRespName <- 'especie'
# Obtener los datos correspondientes a ausencia/presencia
myResp <- as.numeric(data[, myRespName])
# Obtener las coordenadas correspondientes a cada presencia/ausencia
myRespXY <- data[, c('X', 'Y')]

# CARGAR LAS VARIABLES BIOLCIMATICAS
myExpl <- stack(list.files("Variables_Biofisicas/current",
full.names=T), RAT = FALSE)
#myExpl <- (myExpl*01)-273.15
#writeRaster()
#plot(myExpl)

# SELECCION DE VARIABLES
# Se verifica id's donde existen presencia de la ecosistema
puntos_ecosistema.ejemplo<-data.frame(data[1:167,c("X", "Y")])
ecosistema.ejemplo_cell_id <- cellFromXY(subset(myExpl,1),
puntos_ecosistema.ejemplo)

ecosistema.ejemplo_df <- na.omit(as.data.frame(myExpl))
head(ecosistema.ejemplo_df)
```

```

# -----
-----
library(maptools)

ecosistema.ejemplo.spatial.points <- puntos_ecosistema.ejemplo
coordinates(ecosistema.ejemplo.spatial.points) <- ~X+Y
wgs84 <- "+proj=longlat +ellps=WGS84"
projection(ecosistema.ejemplo.spatial.points) <- CRS("+proj=longlat
+datum=WGS84")

myExpl.ecosistema.ejemplo_cor <-
extract(myExpl,ecosistema.ejemplo.spatial.points)
str(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
myExpl.ecosistema.ejemplo_cor <-
na.omit(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
# CORRELACIONES -----
-----
maxent()

jackknife_ecosistema.ejemplo_sur<- maxent(myExpl,
as.data.frame(data[1:167,c("X", "Y")]))

jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Jackknife/ecosistema.
ejemplo.jpeg", width = 1600, height = 1600, res=125)
plot(jackknife_ecosistema.ejemplo_sur, type="b", col="black", pch =
16)
dev.off()

pdf("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Jackknife/ecosistema.e
jemplo.pdf")
plot(jackknife_ecosistema.ejemplo_sur, type="b", col="black")
dev.off()

# Correlaci?n, colinearidad y variance inflation factor (VIF)

prueba<-as.data.frame(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
prueba <- na.omit(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
# ---
correlacion_ecosistema.ejemplo<-cor(x = prueba, method = "pearson")
write.xlsx(correlacion_ecosistema.ejemplo,
"Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Correlacion/pearson_ecosist
ema.ejemplo.xlsx")
# ---
#
jpeg("C:/Modelacion_R/TESIS/AdBn01/correlacion/ecosistema.ejemplo.xlsx
", width = 1600, height = 1000, res=125)
# ecospat.cor.plot(prueba)
# dev.off()
# ---
library(corrplot)
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Correlacion/ecosistema
.ejemplo_corrplot.jpeg", width = 1600, height = 1600, res=125)
corrplot(corr = cor(x = prueba, method = "pearson"), method =
"number")
dev.off()
# ---
library(usdm)

```

```

library(rio)

vifcor(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor, th=0.7)
vif<-vifcor(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor, th=0.7)
capture.output(vif,
file="Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/vif/ecosistema.ejemplo
.doc")

# ELECCION DE VARIABLES EXPLICATIVAS -----
-----

myExpl_ecosistema.ejemplo <- stack(subset(myExpl, c("bio13","bio14",
"bio18","bio7","bio9","aspect_region_sur")))

myExpl.ecosistema.ejemplo_cor <-
extract(myExpl_ecosistema.ejemplo,ecosistema.ejemplo.spatial.points)
str(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
myExpl.ecosistema.ejemplo_cor <-
na.omit(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
myExpl.ecosistema.ejemplo_cor <-
as.data.frame(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)

vif(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
vifstep(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
vifcor(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor, th=0.7)
vif<-vif(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
write.xlsx( vif,
"Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/vif/ecosistema.ejemplo.xlsx
")

prueba_sub_cor<-as.data.frame(myExpl_ecosistema.ejemplo)
prueba_sub_cor <- na.omit(prueba_sub_cor)
post_correlacion_bosque_caducifolio<-cor(x = prueba_sub_cor, method =
"pearson")
write.xlsx(post_correlacion_bosque_caducifolio,
"Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Correlacion/post_corr_ecosi
stema.ejemplo.xlsx")

# -----
-----

# Format Data with true absences
myBiomodData <- BIOMOD_FormatingData(resp.var = myResp,
expl.var = myExpl_ecosistema.ejemplo,
resp.xy = myRespXY,
resp.name = myRespName)
pdf("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Ausencias/myBiomodData.
pdf")
plot(myBiomodData)
dev.off()

# Transform true absences into potential pseudo-absences
myResp.PA <- ifelse(myResp == 1, 1, NA)

```

```

# Format Data with pseudo-absences : random method
myBiomodData.r <- BIOMOD_FormattingData(resp.var = myResp.PA,
  expl.var = myExpl_ecosistema.ejemplo,
  resp.xy = myRespXY,
  resp.name = myRespName,
  PA.nb.rep = 1,
  PA.nb.absences = 10000,
  PA.strategy = 'random')
pdf("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Ausencias/myBiomodData.
ra.pdf")
plot(myBiomodData.r)
dev.off()

bm_DefaultModelingOptions()

# Create default modeling options 196
myBiomodOptions <- BIOMOD_ModelingOptions()
myBiomodOptions

# VALIDACION DE DATOS -----
-----

# Several validation strategies can be combined
DataSplitTabla.b <- bm_CrossValidation(bm.format = myBiomodData,
  k = 1,
  nb.rep = 1,
  do.full.models = TRUE)
DataSplitTabla.y <- bm_CrossValidation_strat(bm.format = myBiomodData,
  k = 1,
  strat = "y")
# Verificar si DataSplitTabla.y tiene al menos dos columnas
if (ncol(DataSplitTabla.y) < 2) {
  missing_cols <- 2 - ncol(DataSplitTabla.y)
  DataSplitTabla.y <- cbind(DataSplitTabla.y, matrix(NA, nrow =
nrow(DataSplitTabla.y), ncol = missing_cols))
}

colnames(DataSplitTabla.y)[1:2] <- c("RUN11", "RUN12")
myBiomodCV <- cbind(DataSplitTabla.b, DataSplitTabla.y)
head(myBiomodCV)

# MODELACION -----
-----

# Model single models
myBiomodModelOut <- BIOMOD_Modeling(bm.format = myBiomodData,
  bm.options = myBiomodOptions,
  modeling.id = 'AllModels',
  models = c("GLM", "GAM", "GBM", "CTA", "ANN", "SRE", "FDA",
"MARS", "RF",
  "MAXENT.Phillips"),
  nb.rep = 1,
  data.split.perc = 70,
  # data.split.Tabla = myBiomodCV,
  var.import = 3,
  metric.eval = c('TSS', 'ROC'),
  do.full.models = FALSE)

```

myBiomodModelOut

```
# EVALUACION DE LAS VARIABLES -----
-----
# Get evaluation scores & variables importance
get_evaluations(myBiomodModelOut)
get_evaluations<-get_evaluations(myBiomodModelOut)
write.xlsx( get_evaluations,
"Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/modelos/evaluación_m
odelos.xlsx")

get_variables_importance(myBiomodModelOut)
get_variables_importance<-get_variables_importance(myBiomodModelOut)
write.xlsx( get_variables_importance,
"Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/modelos/variables_im
portancia.xlsx")
# Represent evaluation scores & variables importance
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/modelos/evaluac
ion_mean.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotEvalMean(bm.out = myBiomodModelOut)
dev.off()
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/modelos/evaluac
ion_modelos.jpeg", width = 19600, height = 900, res=125)
bm_PlotEvalBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by = c('alگو',
'algo'))
dev.off()
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/modelos/evaluac
ion_corridas.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotEvalBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by = c('alگو',
'run'))
dev.off()
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/modelos/evaluac
ion_variables.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by =
c('expl.var', 'alگو', 'alگو'))
dev.off()
bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by =
c('expl.var', 'alگو', 'full.name'))
#bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by =
c('expl.var', 'alگو', 'dataset'))####ERROR##
#bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by = c('alگو',
'expl.var', 'dataset'))

# Represent response curves
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Curvas_respuesta/modelos/med
ian.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotResponseCurves(bm.out = myBiomodModelOut,
models.chosen = get_built_models(myBiomodModelOut)[c(1:10,
12:14)],
fixed.var = 'median')
dev.off()
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Curvas_respuesta/modelos/mea
n.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotResponseCurves(bm.out = myBiomodModelOut,
```

```

        models.chosen = get_built_models(myBiomodModelOut)[c(1:10,
12:14)],
        fixed.var = 'mean')
dev.off()
bm_PlotResponseCurves(bm.out = myBiomodModelOut,
        models.chosen = get_built_models(myBiomodModelOut)[3],
        fixed.var = 'median',
        do.bivariate = TRUE)

# ENSAMBLE DE LOS MODELOS -----
-----

# Model ensemble models
#myBiomodem <- BIOMOD_EnsembleModeling(bm.mod = myBiomodModelOut,
# models.chosen = 'all',
# em.by = 'all',
# metric.select = c('TSS'),
# metric.select.thresh = c(0.8),
# var.import = 3,
# metric.eval = c('TSS', 'ROC'),
# prob.mean = TRUE,
# prob.median = TRUE,
# prob.cv = TRUE,
# prob.ci = TRUE,
# prob.ci.alpha = 0.05,
# committee.averaging = TRUE,
# prob.mean.weight = TRUE,
# prob.mean.weight.decay = 'proportional')
myBiomodem <- BIOMOD_EnsembleModeling(bm.mod = myBiomodModelOut,
        models.chosen = 'all',
        em.by = 'all',
        metric.select = c('TSS', 'ROC'),
        metric.select.thresh = c(0.8,0.8),
        var.import = 3,
        metric.eval = c('TSS', 'ROC'),
        em.algo = c('EMmean', 'EMcv', 'EMci', 'EMmedian', 'EMca',
'EMwmean'),
        prob.ci.alpha = 0.05,
        EMwmean.decay = 'proportional')
myBiomodem

# EVALUACION DE LOS MODELOS -----
-----

# Get evaluation scores & variables importance
get_evaluations(myBiomodem)
get_evaluations<-get_evaluations(myBiomodem)

write.xlsx( get_evaluations,
"Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/ensambles/evaluacion
_ensemble.xlsx")

get_variables_importance(myBiomodem)
get_variables_importance<-get_variables_importance(myBiomodem)

```



```

write.xlsx( get_variables_importance,
"Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/ensambles/variables_
importancia.xlsx")

# Represent evaluation scores & variables importance
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/ensambles/evalu
acion_mean.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotEvalMean(bm.out = myBiomodem, group.by = 'alگو',
main="asdasdasd",
xlim = c(0.5,1), ylim = c(0.5,1))
dev.off()
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/ensambles/evalu
acion_ensamble.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotEvalBoxplot(bm.out = myBiomodem, group.by = c('alگو', 'alگو'))
dev.off()
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Evaluaciones/ensambles/evalu
acion_variables.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodem, group.by = c('expl.var',
'alگو', 'alگو'))
dev.off()
bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodem, group.by = c('expl.var',
'alگو', 'merged.by.run'))
bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodem, group.by = c('alگو',
'expl.var', 'merged.by.run'))

# Represent response curves
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Curvas_respuesta/ensamble/me
dian.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotResponseCurves(bm.out = myBiomodem,
models.chosen = get_built_models(myBiomodem)[c(1, 6, 7)],
fixed.var = 'median')
dev.off()
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Curvas_respuesta/ensamble/me
an.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
bm_PlotResponseCurves(bm.out = myBiomodem,
models.chosen = get_built_models(myBiomodem)[c(1, 6, 7)],
fixed.var = 'mean')
dev.off()
bm_PlotResponseCurves(bm.out = myBiomodem,
models.chosen = get_built_models(myBiomodem)[c(1, 6, 7)],
fixed.var = 'median',
do.bivariate = TRUE)

# -----
-----

# Project single models
myBiomodProj <- BIOMOD_Projection(bm.mod = myBiomodModelOut,
proj.name = 'Current',
new.env = myExpl_ecosistema.ejemplo,
models.chosen = 'all',
metric.binary = 'all',
metric.filter = 'all',
build.clamping.mask = TRUE)
myBiomodProj

```

```

jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Proyeccion/Project_single_models.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
plot(myBiomodProj)
dev.off()

```

```

# Project ensemble models (from single projections)
myBiomodemProj <- BIOMOD_EnsembleForecasting(bm.em = myBiomodem,
      bm.proj = myBiomodProj,
      models.chosen = 'all',
      metric.binary = 'all',
      metric.filter = 'all')
myBiomodemProj
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Proyeccion/Project_ensemble_models.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
plot(myBiomodemProj)
dev.off()

```

```

# PROYECCION AL FUTURO -----
-----

```

```

# Load environmental variables extracted from BIOCLIM (bio_3, bio_4,
bio_7, bio_11 & bio_12)

```

```

myExplFuture <- stack(list.files("Variables_Biofisicas/2080_rcp_60",
full.names=T), RAT = FALSE)
myExplFuture <- stack(subset(myExplFuture, c("bio13", "bio14",
      "bio18", "bio7", "bio9", "aspect_region_sur")))
# Project onto future conditions
myBiomodProjectionFuture <- BIOMOD_Projection(bm.mod =
myBiomodModelOut,
      proj.name = 'Future',
      new.env = myExplFuture,
      models.chosen = 'all',
      metric.binary = 'TSS', "ROC",
      build.clamping.mask = TRUE)
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Proyeccion/myBiomodProjectionFuture.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
plot(myBiomodProjectionFuture)
dev.off()

```

```

myBiomodemProj_future <- BIOMOD_EnsembleForecasting(bm.em =
myBiomodem,
      bm.proj = myBiomodProjectionFuture,
      models.chosen = 'all',
      metric.binary = 'all',
      metric.filter = 'all')
jpeg("Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Plots/Proyeccion/myBiomodemProj_future.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
plot(myBiomodemProj_future)
dev.off()

```

```

# Load current and future binary projections

```

```

CurrentProj <-
stack("C:/ECOSISTEMAS/especie/proj_Current/proj_Current_especie_ensem
le_TSSbin.TIF")
FutureProj <-
stack("C:/ECOSISTEMAS/especie/proj_Future/proj_Future_especie_ensemble
_TSSbin.TIF")
# Compute differences

myBiomodRangeSize <- BIOMOD_RangeSize(proj.current = CurrentProj,
proj.future = FutureProj)

myBiomodRangeSize$Compt.By.Models

pdf("C:/ECOSISTEMAS/Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Range_size/Com
pute_differences.pdf")
plot(myBiomodRangeSize$Diff.By.Pixel)
dev.off()
# REPRESENTACION DE LOS RESUSLTADOS -----
-----
# Represent main results
pdf("C:/ECOSISTEMAS/Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Range_size/pru
eba2.pdf")
# Represent main results
gg=ggplot2::geom_range_size(bm.range = myBiomodRangeSize,
  do.count = TRUE,
  do.perc = TRUE,
  do.maps = TRUE,
  do.mean = TRUE,
  do.plot = TRUE,
  row.names = c("Ecosistema", "Dataset", "Run", "Algo"))

dev.off()

## plot de dinamica de rangos

ecosistema.ejemplo_src_map <- stack(myBiomodRangeSize$Diff.By.Pixel)
names(ecosistema.ejemplo_src_map) <- c()

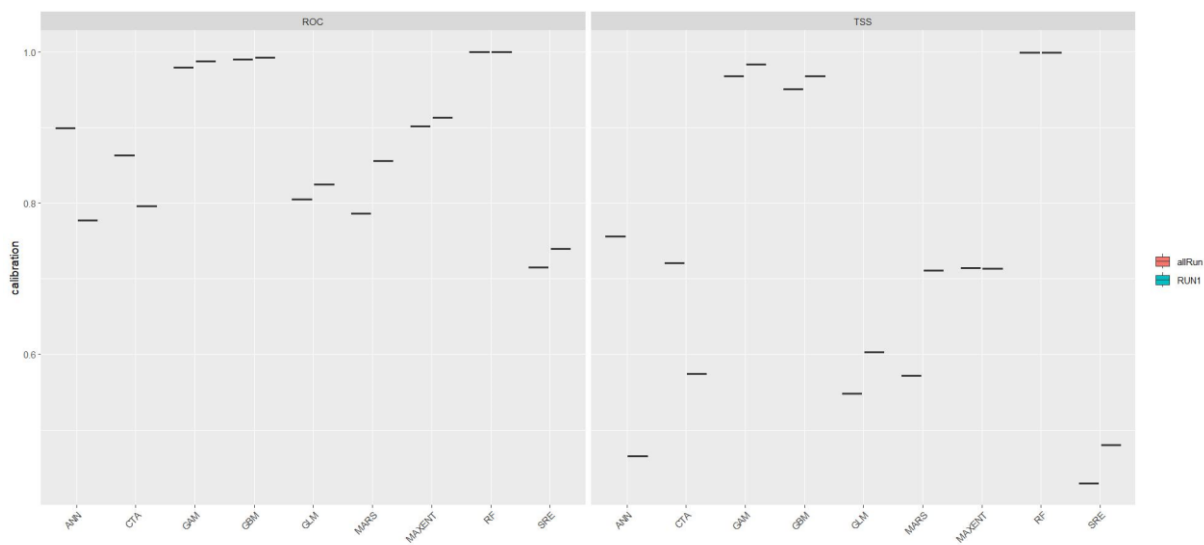
my.at <- seq(-2.5,1.5,1)

pdf("C:/ECOSISTEMAS/Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Range_size/din
amica_rangos/myColorkey.pdf")
myColorkey <- list(at=my.at, ## where the colors change
  labels=list(
    labels=c("lost", "pres", "abs", "gain"), ## labels
    at=my.at[-1]-0.5 ## where to print labels
  ))
dev.off()

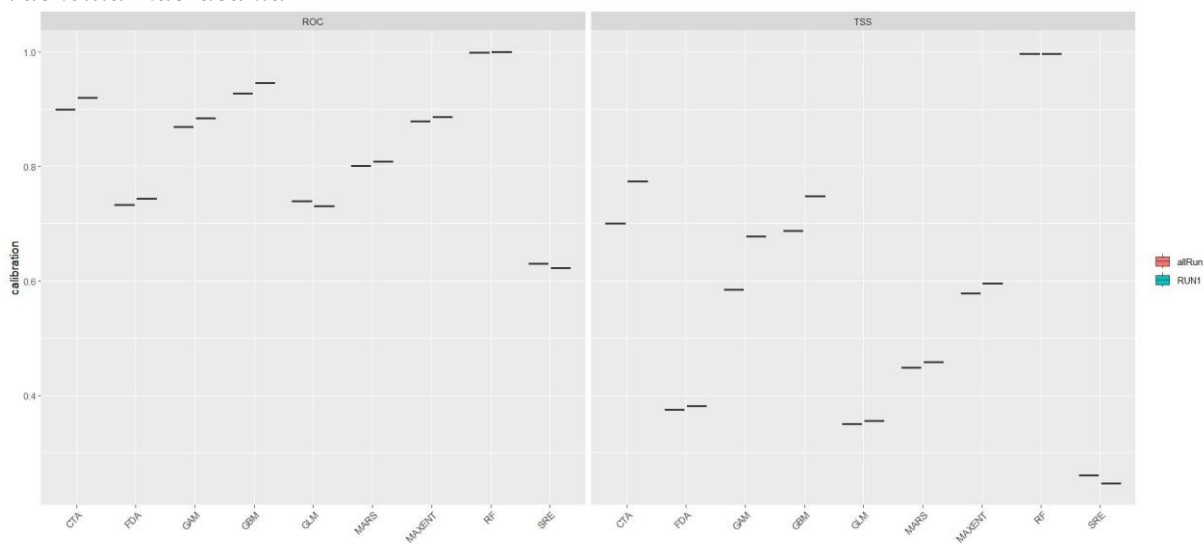
pdf("C:/ECOSISTEMAS/Ecosistema/Ecosistema_AdBn01_output/Range_size/din
amica_rangos/rasterVis.pdf")
rasterVis::levelplot( ecosistema.ejemplo_src_map,
  main = "ecosistema.ejemplo range change",
  colorkey = myColorkey,
  layout = c(3,4) )
dev.off()

```

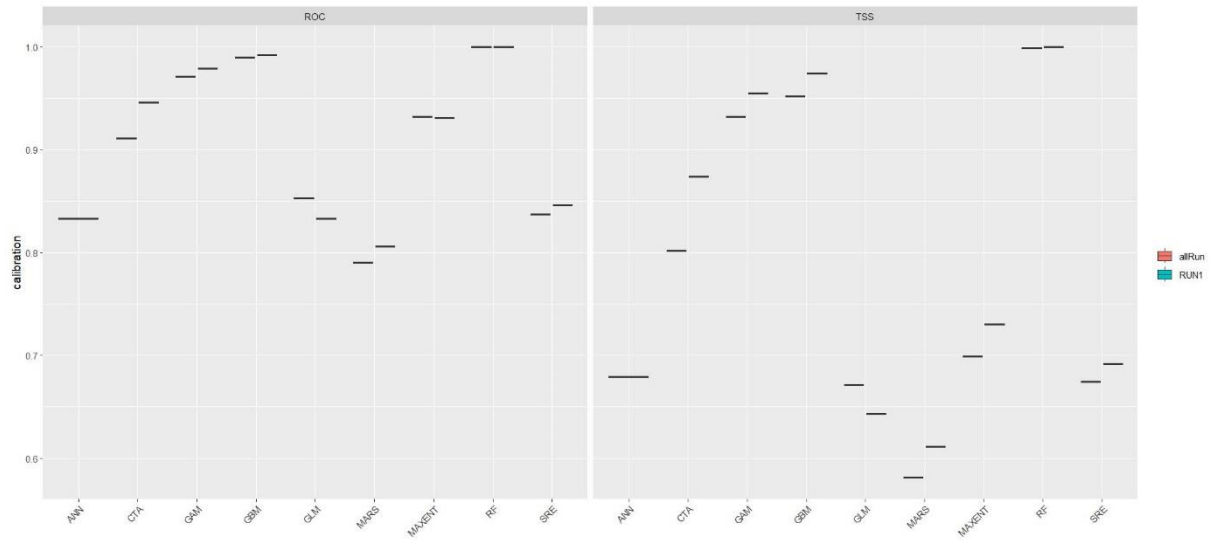
## Anexo 2. Evaluación de modelos TSS y ROC



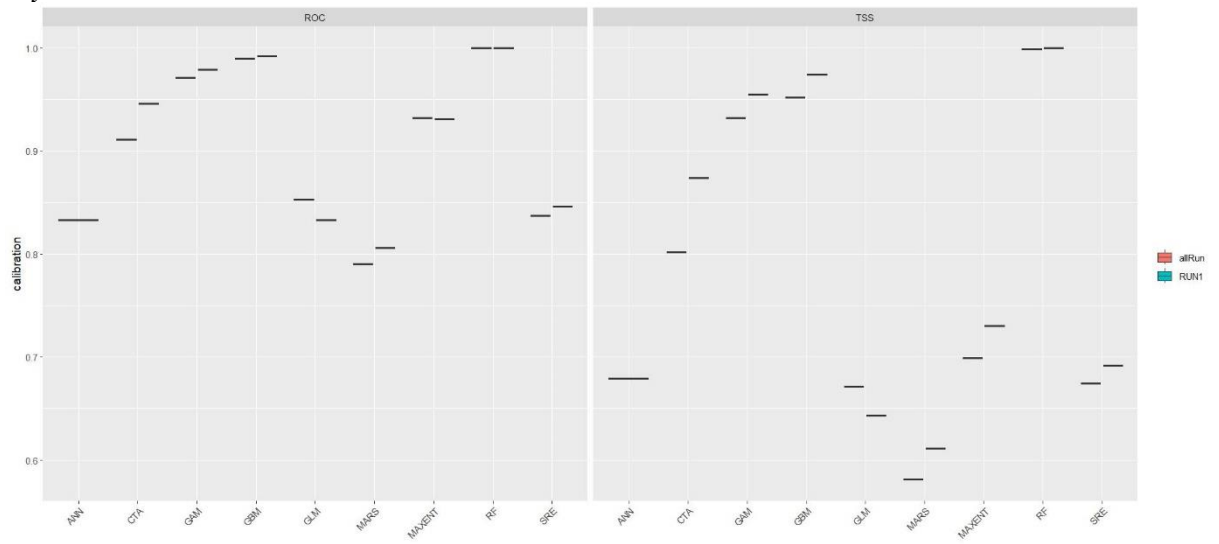
### *Vachellia macracanta*



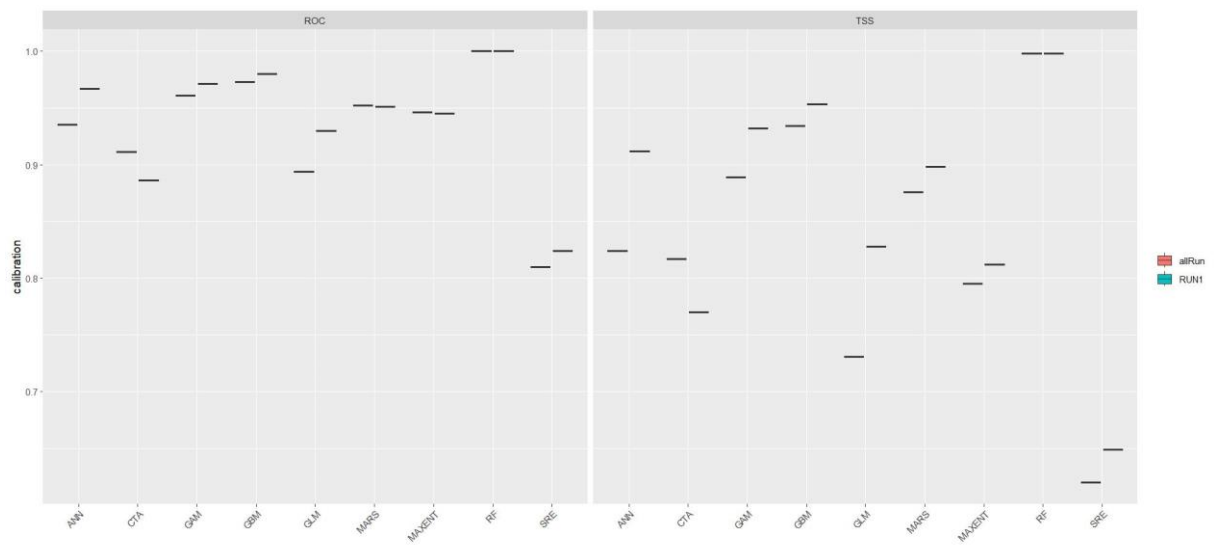
### *Ochormia piramidales*



*Myrsine Andina*

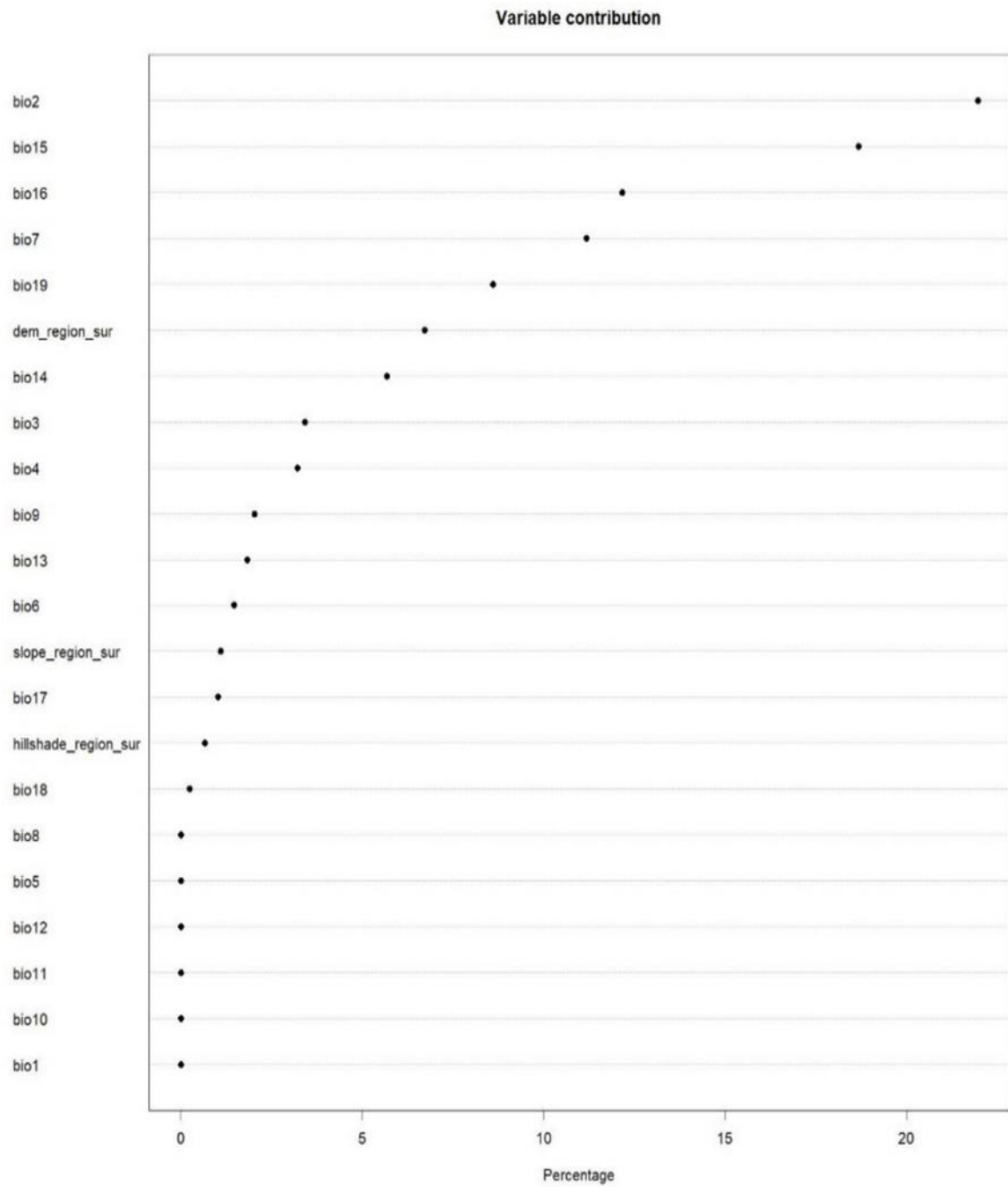


*Inga edulis*

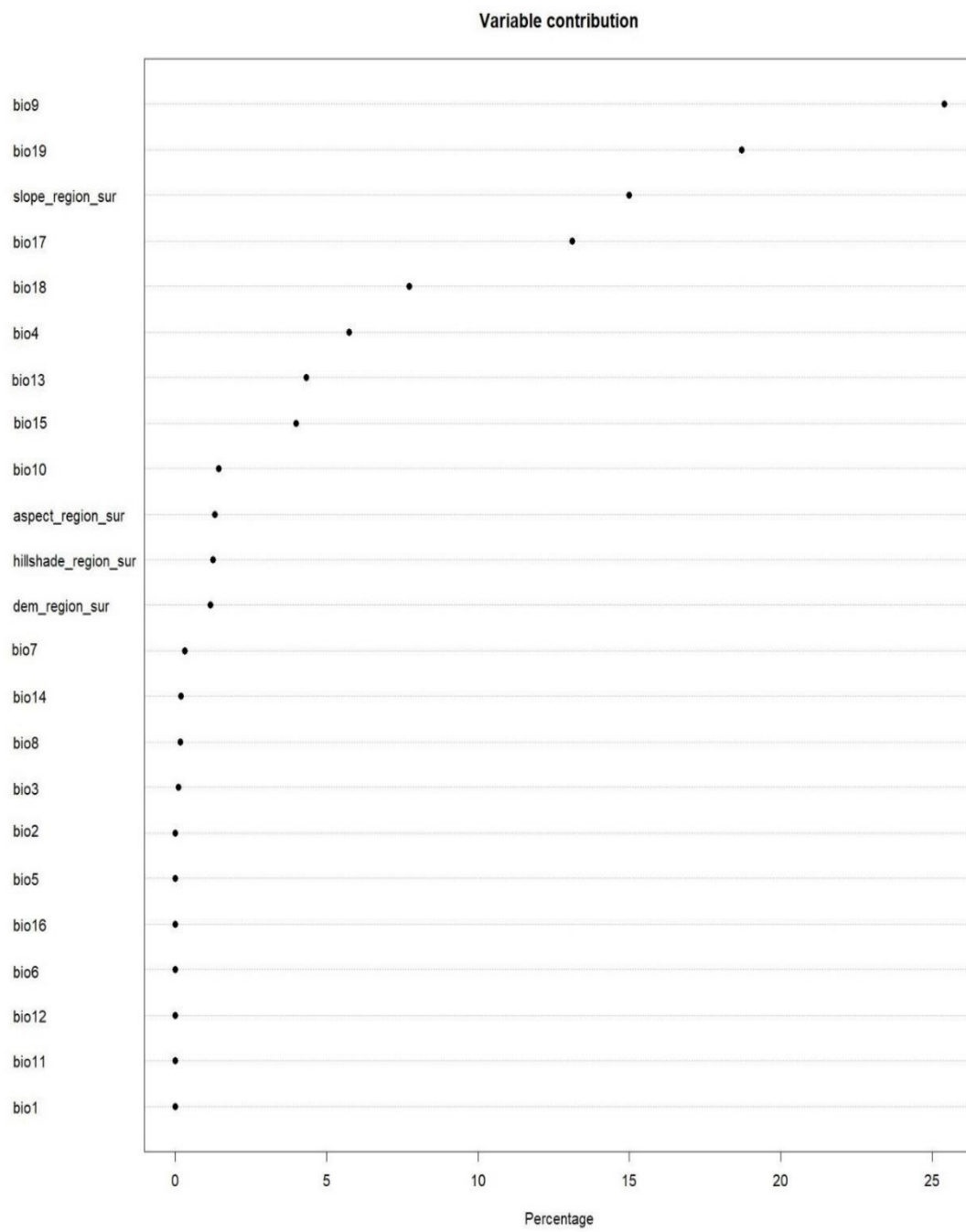


*Pouteria sapote*

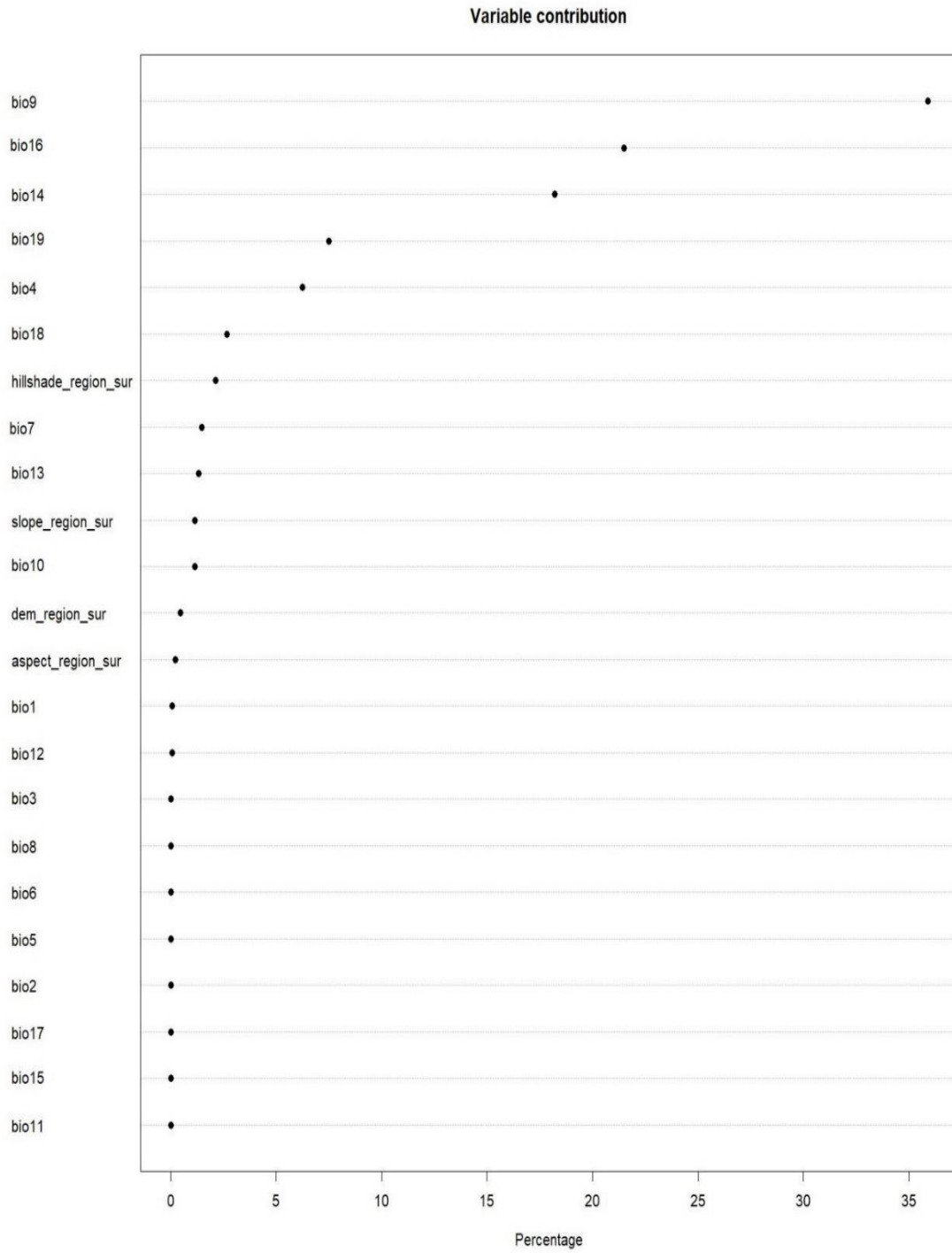
Anexo 3. Evaluación de Jackknife-*Vachellia macracantha*.



#### Anexo 4. Evaluación de Jackknife-*Ochorma pyramidale*.

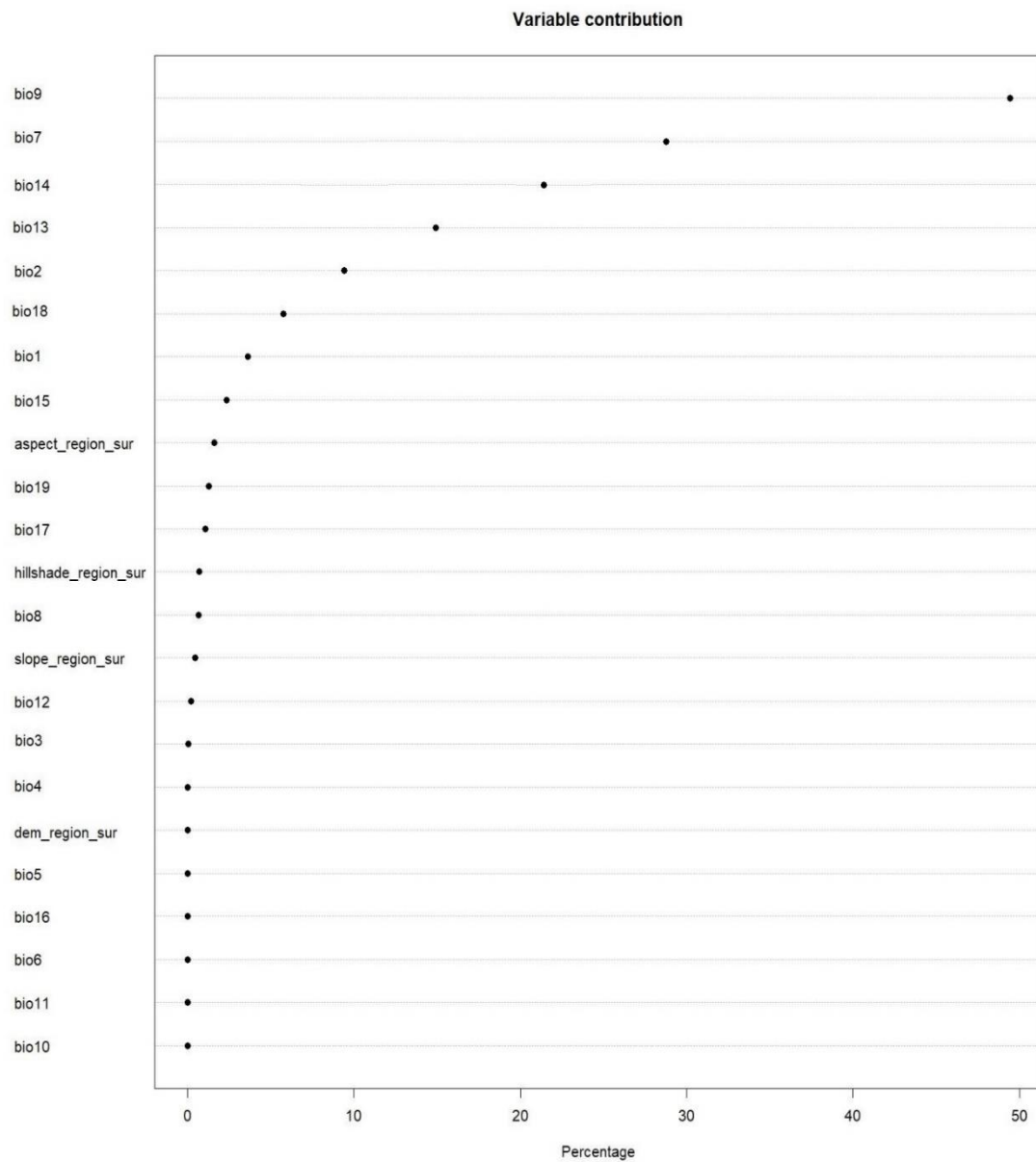


Anexo 5. Evaluación de Jackknife-*Inga edulis*.

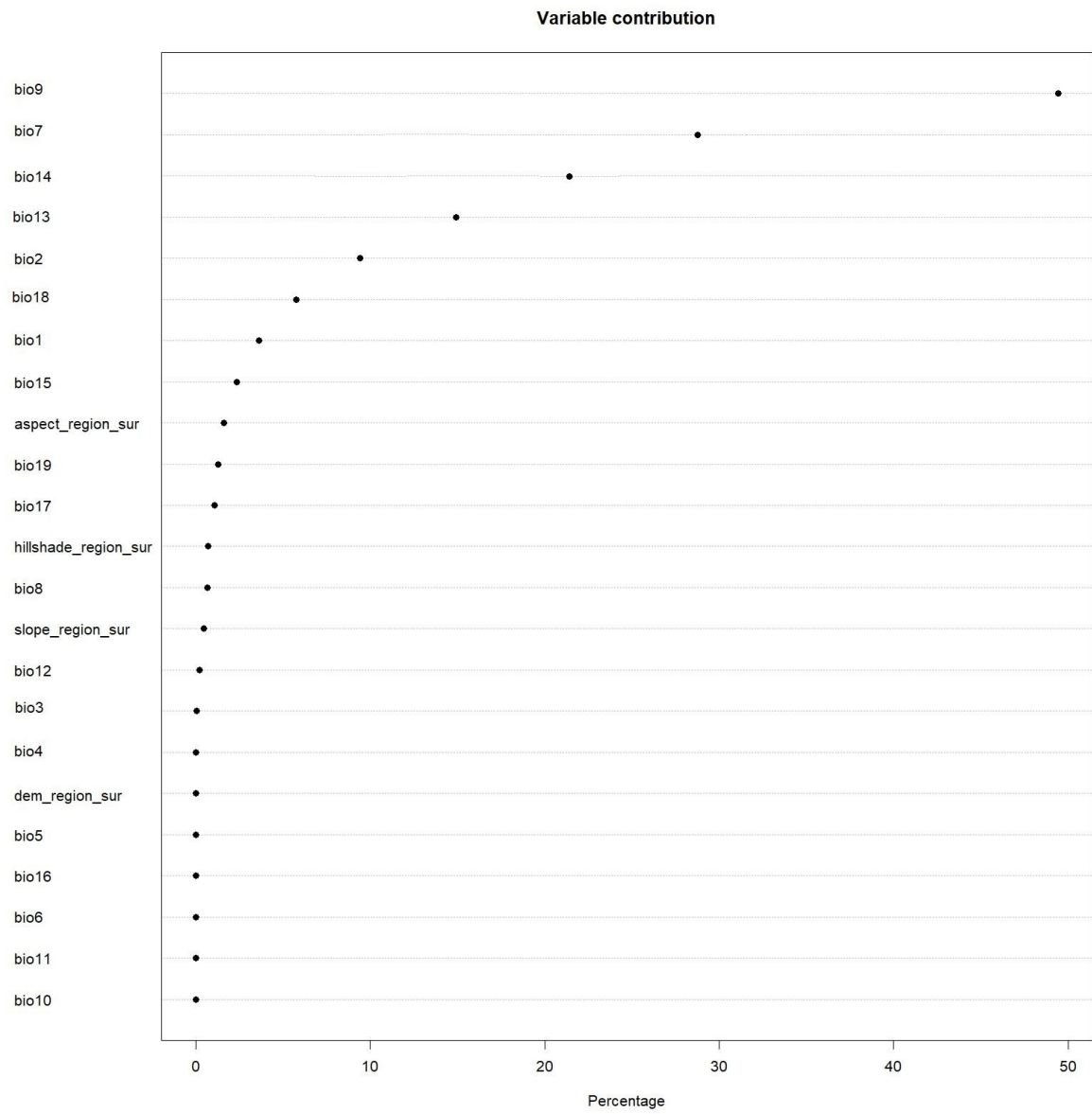




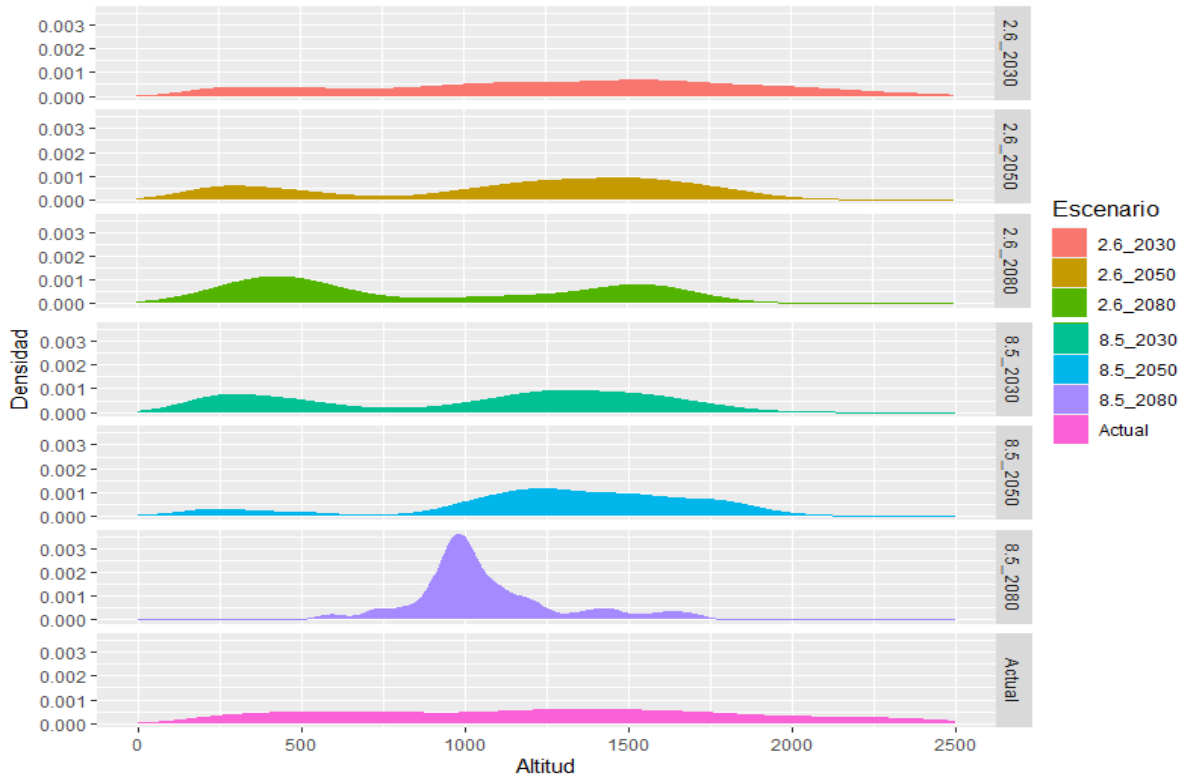
## Anexo 6. Evaluación de Jackknife-*Myrsine andina*.



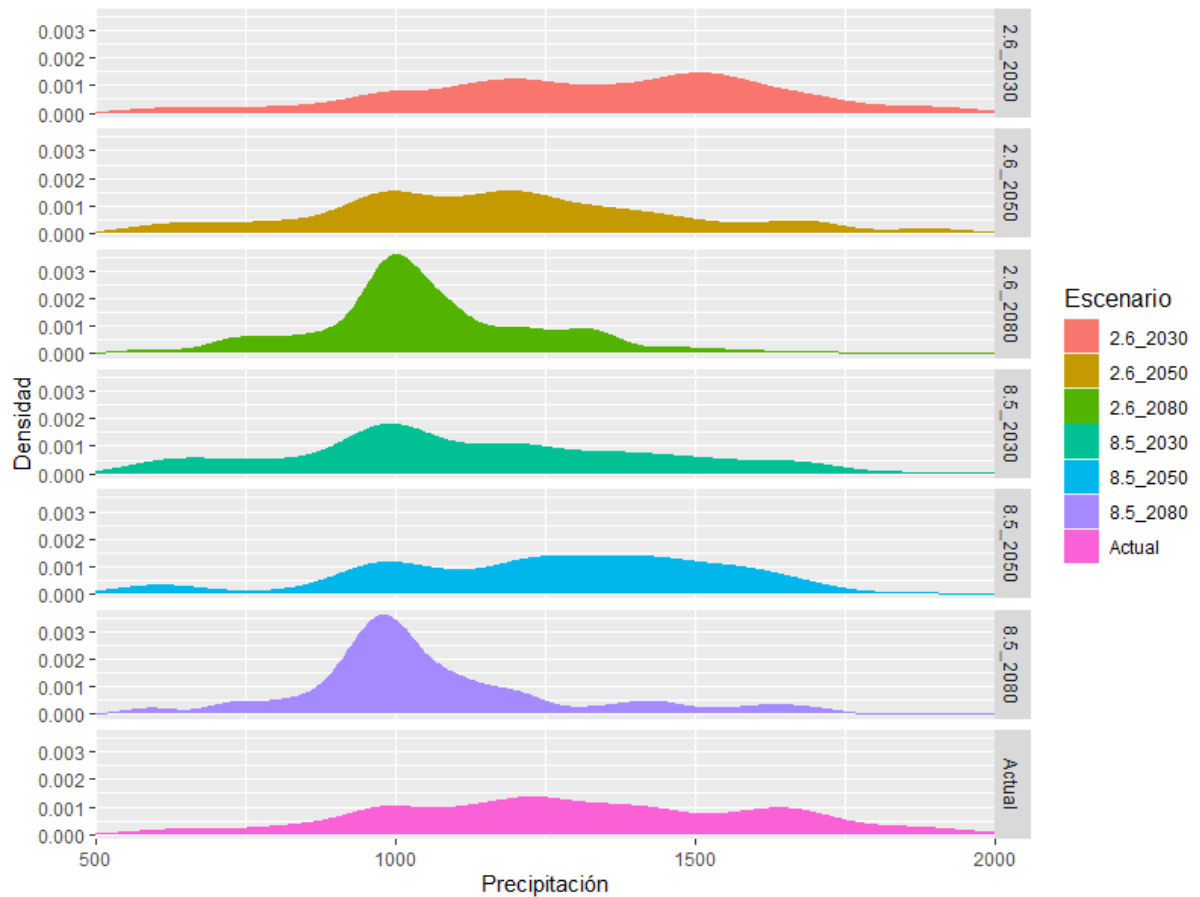
Anexo 7. Evaluación de Jackknife-*Pouteria sapota*.



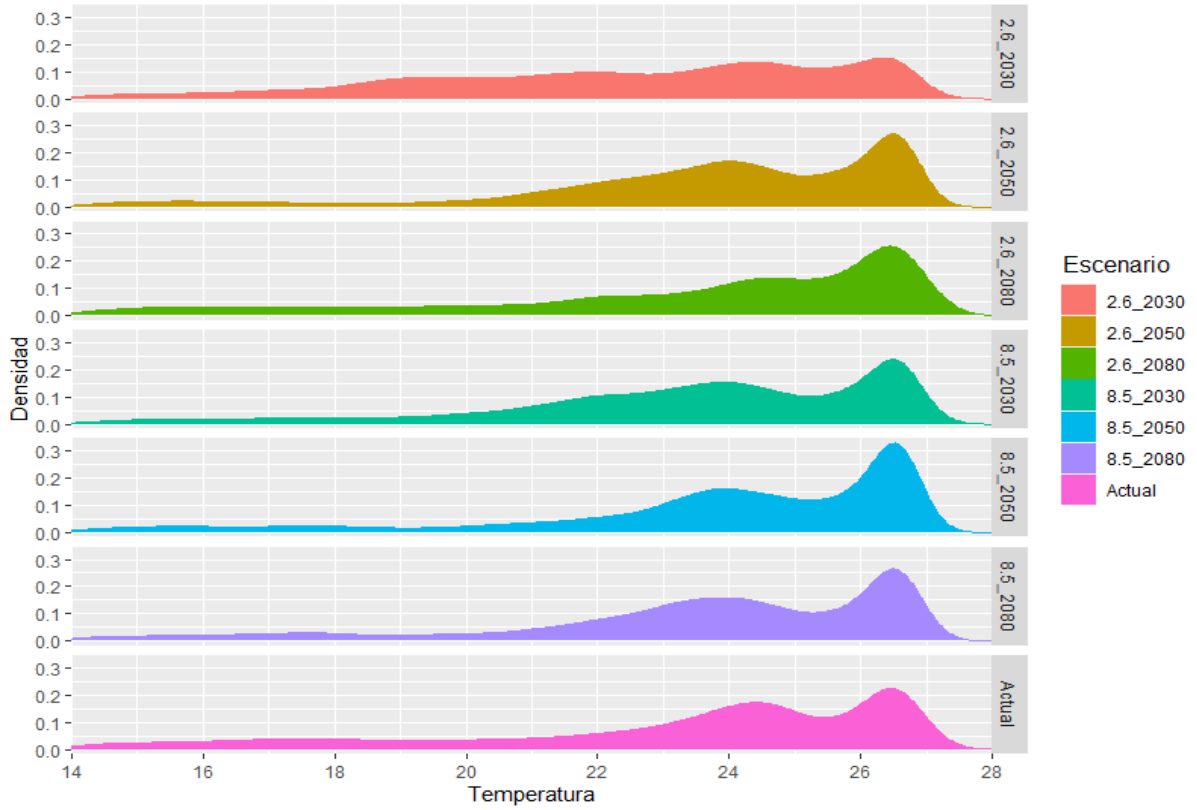
**Anexo 8.**Factor ambientales-Altitud *Vachellia macracantha*.



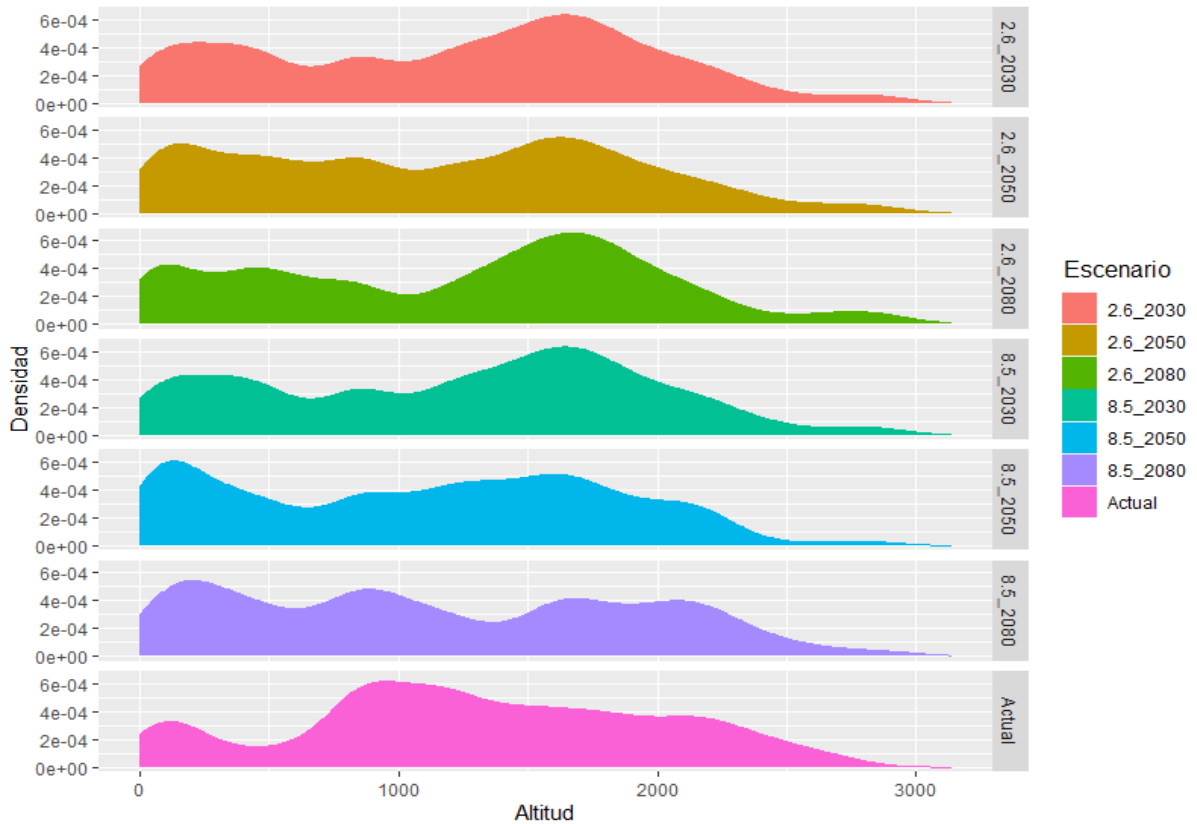
**Anexo 9.**Factor ambientales-Precipitacion *Vachellia macracantha*.



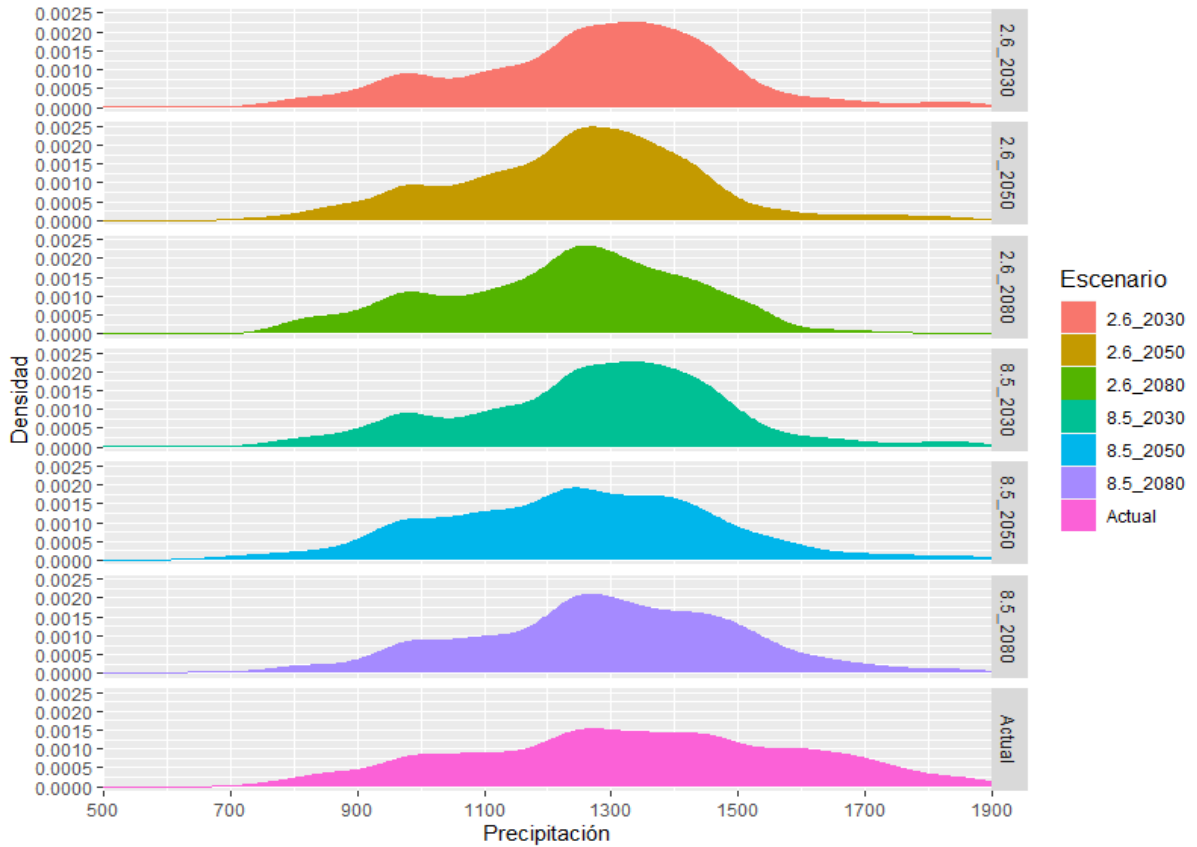
**Anexo 10.**Factor ambientales-Temperatura *Vachellia macracantha*.



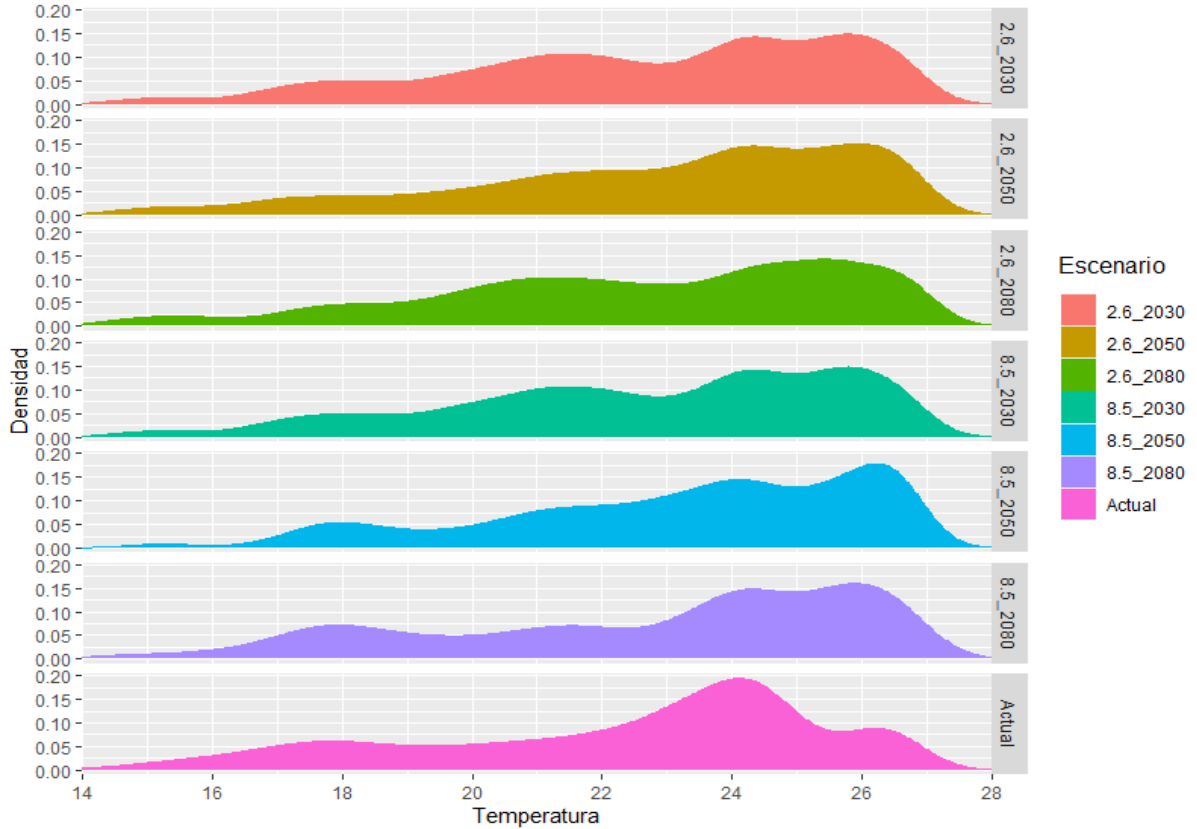
**Anexo 11.** Factores ambientales-Altitud *Ochroma pyramidale*.



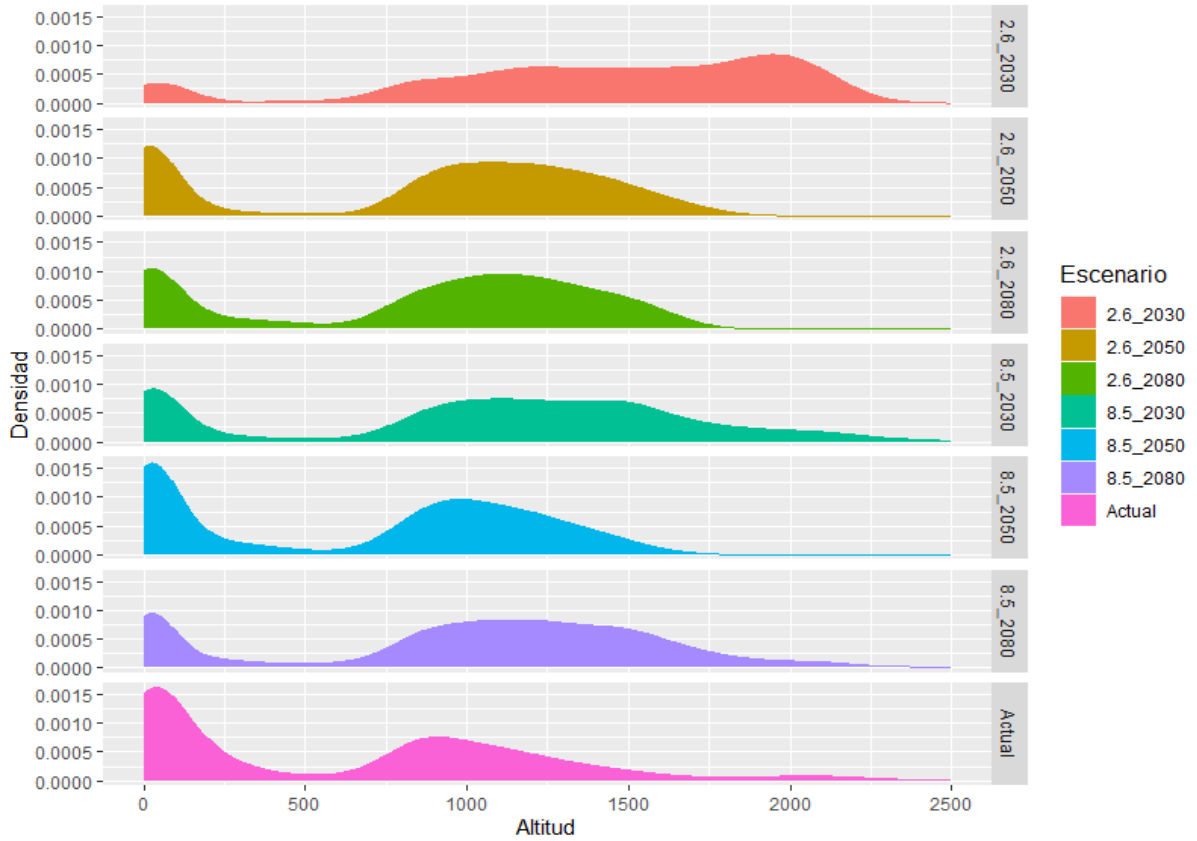
**Anexo 12.**Factores ambientales-Precipitación *Ochroma pyramidale*.



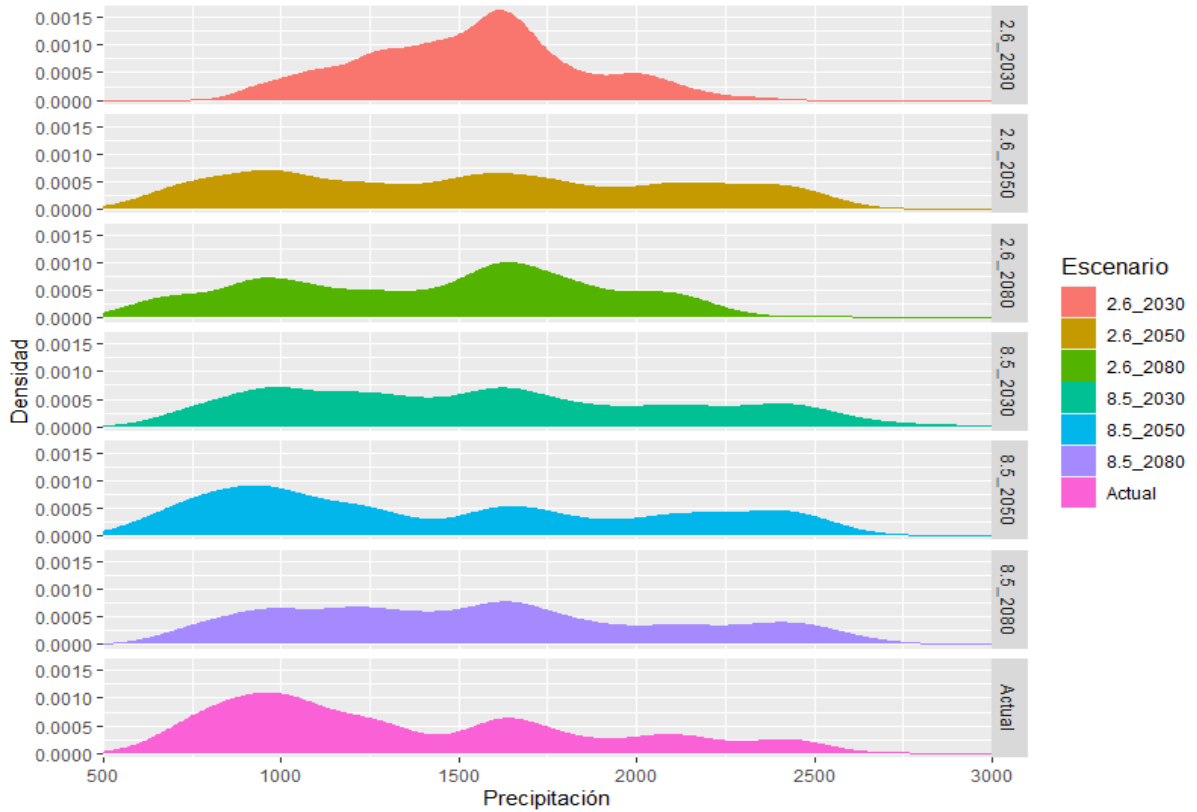
**Anexo 13.**Factores ambientales-Temperatura-*Ochorma pyramidale*.



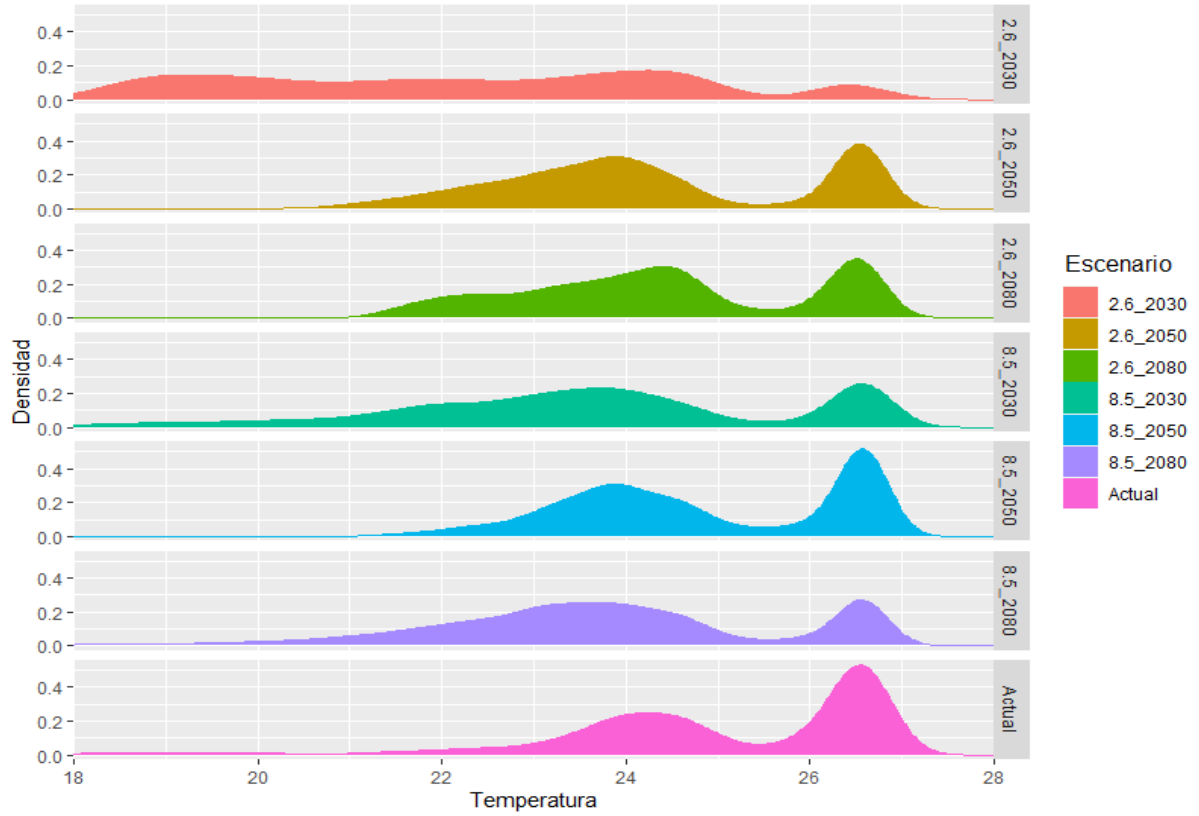
**Anexo 14.** Factores ambientales-Altitud *Inga edulis*.



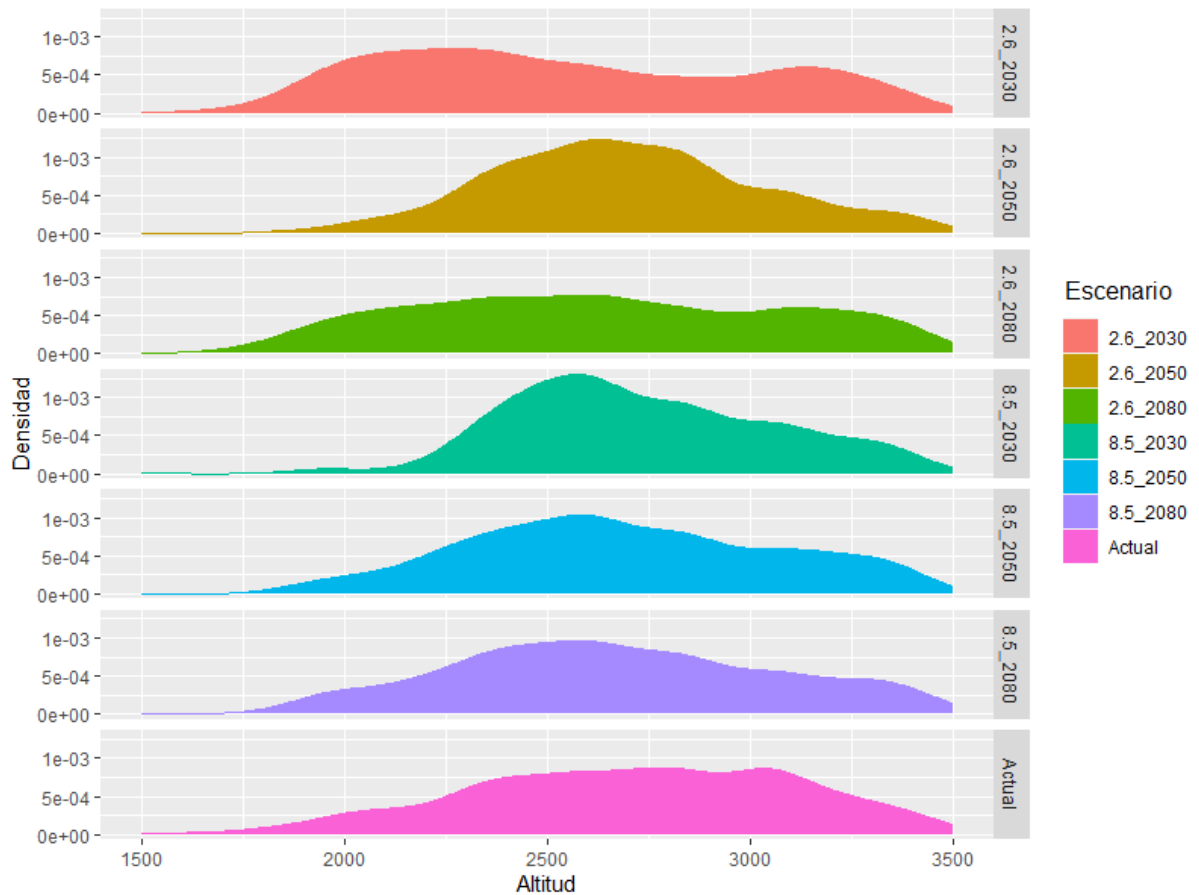
**Anexo 15.** Factores ambientales-Precipitacion *Inga edulis*.



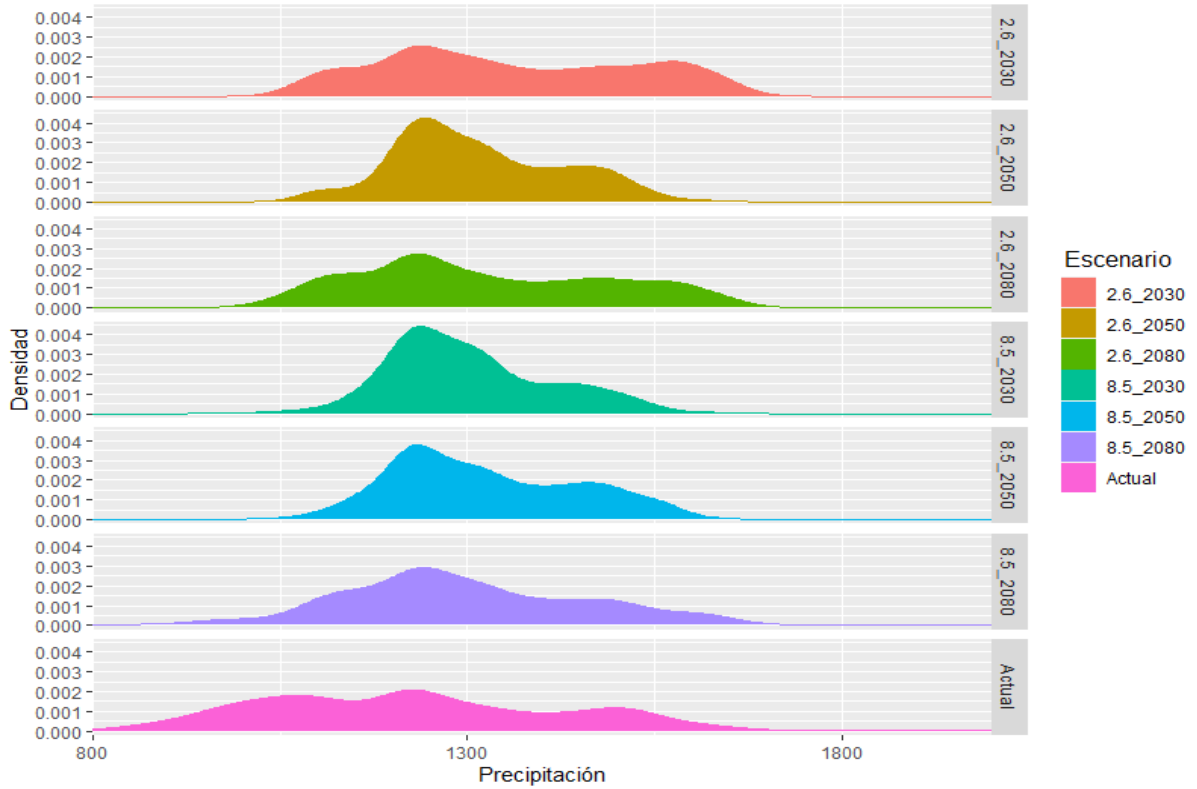
**Anexo 16.** Factores ambientales-Temperatura *Inga edulis*.



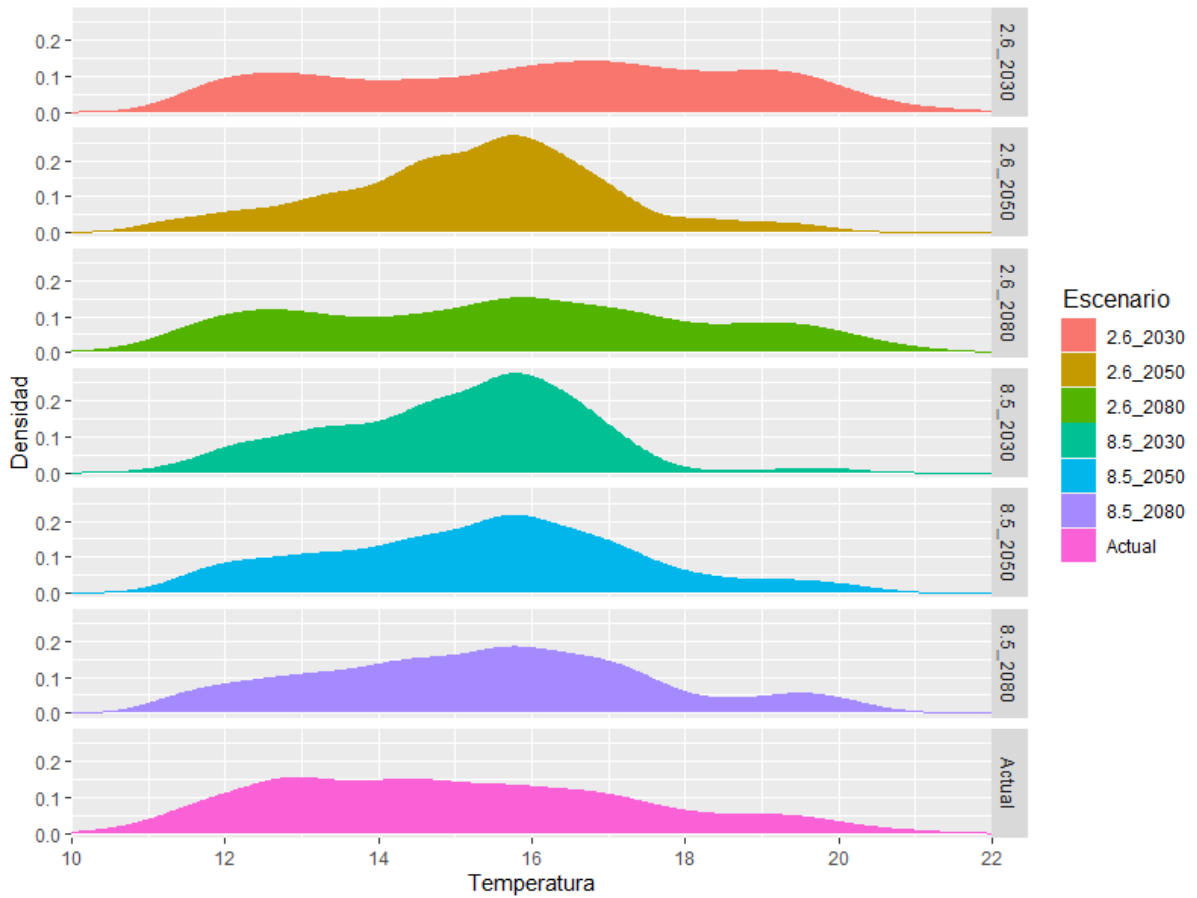
**Anexo 17.** Factores ambientales-Altitud *Myrsine andina*.



**Anexo 18.** Factores ambientales- Precipitación *Myrsine andina*.

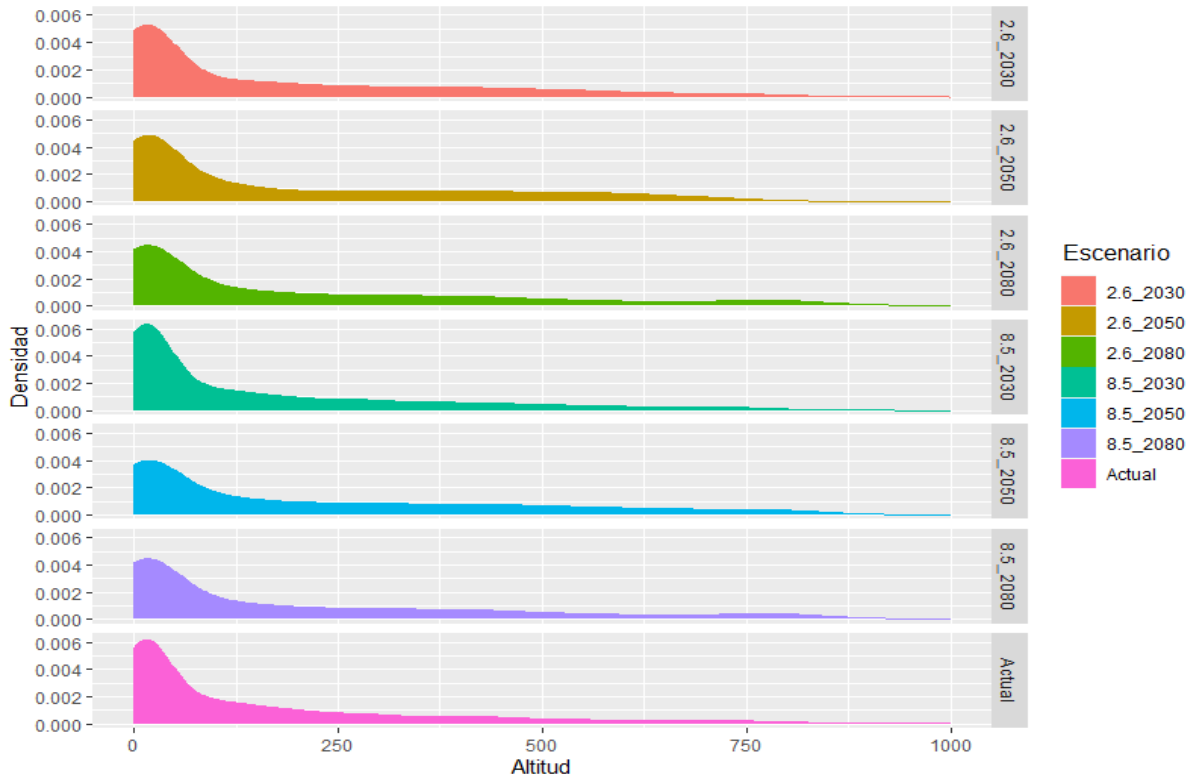


**Anexo 19.** Factores ambientales- Temperatura *Myrsine andina*.

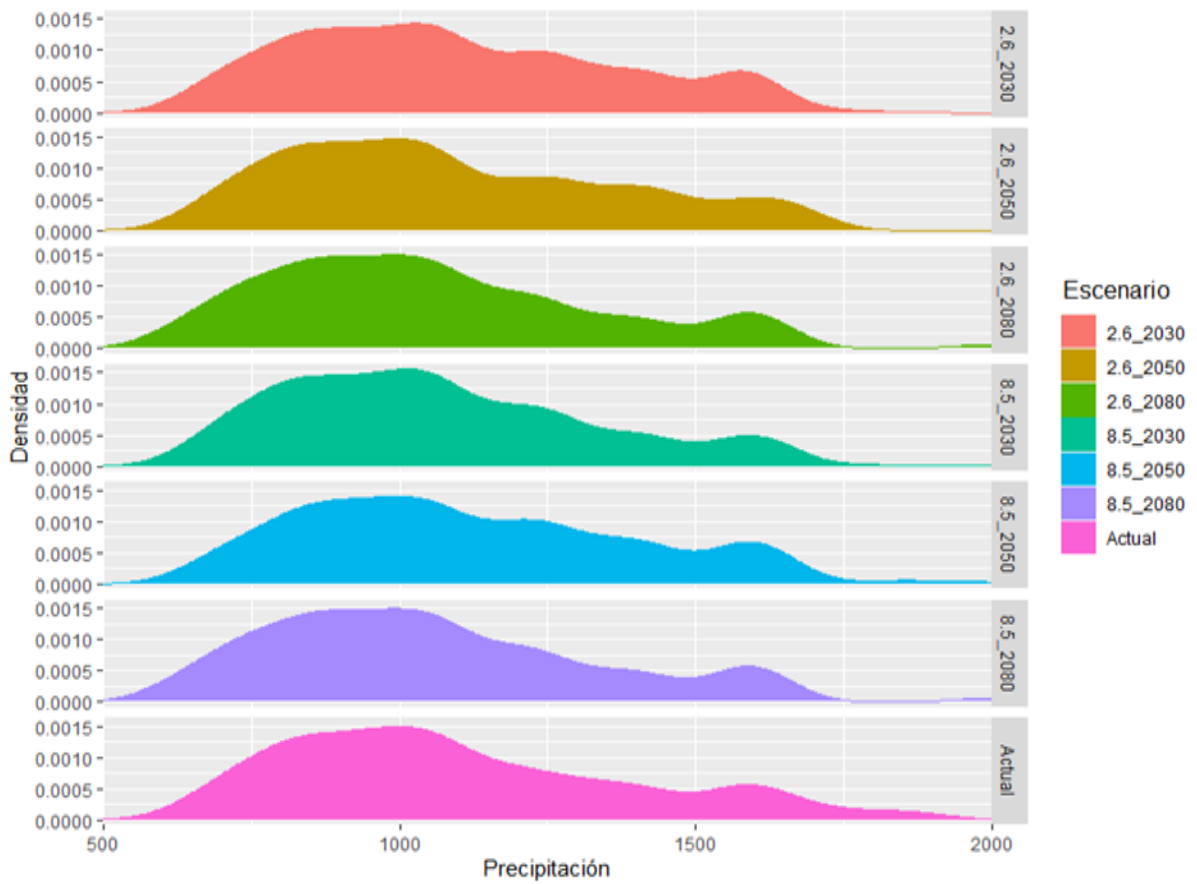




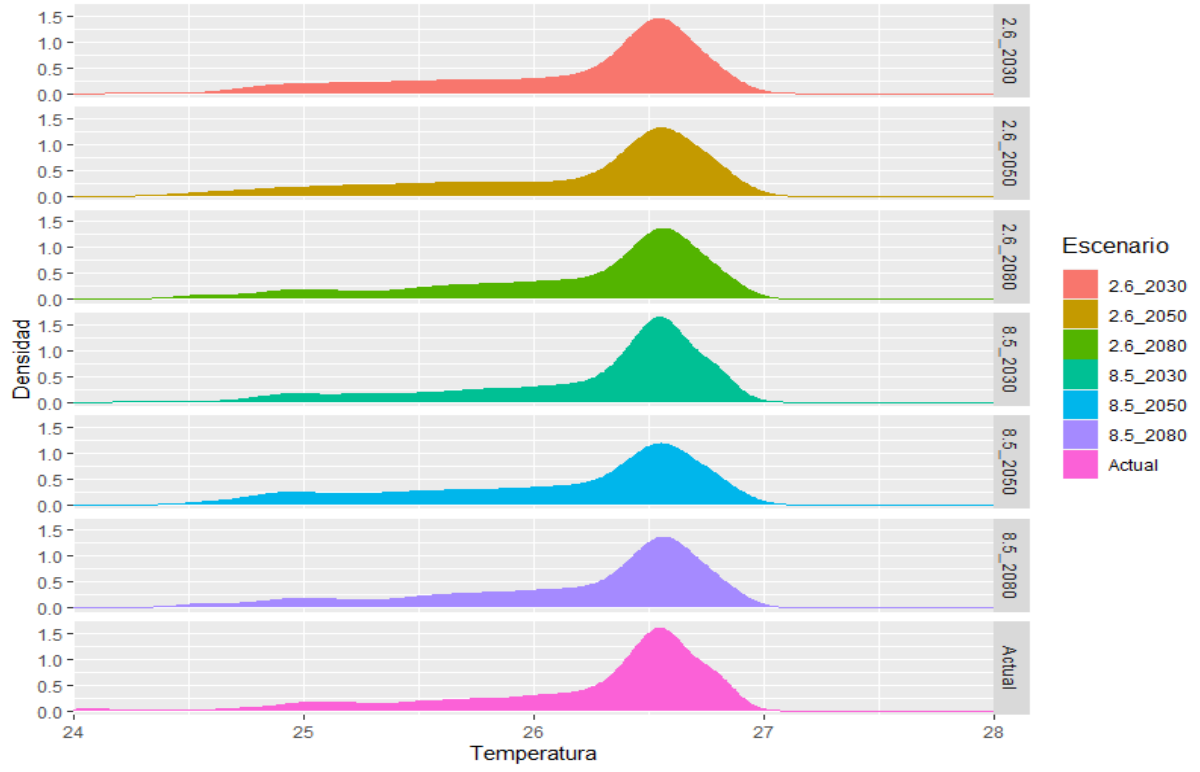
**Anexo 20.** Factores ambientales-Altitud *Pouteria sapota*.



**Anexo 21.** Factores ambientales-precipitación *Pouteria sapota*.



**Anexo 22.** Factores ambientales-temperatura *Pouteria sapota*.



**Anexo 23.** Certificación de traducción del resumen.

**Lic. Larry Palacio**

Con cédula de identidad 1103982987, certificado como traductor e intérprete en la Senecyt con registro **MDT-3104-CCL-279678**,

# **C E R T I F I C O:**

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen de la tesis, **“ANÁLISIS DE LA DINÁMICA Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL-ACTUAL Y FUTURA DE CINCO ESPECIES EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO”**, cuya autoría de Willam Alexander Zhingre Jiménez, con cédula 1150077830, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Se autoriza a los interesados hacer uso de la misma para los trámites que crean convenientes.

Emitida en Loja, a los 8 días del mes de marzo de 2024.

Atentamente



Firmado electrónicamente por  
**LARRY BRYAN PALACIO**  
**ARMIJOS**

Lic. Larry Palacio

**Licenciado en Ciencias de la Educación mención Idioma Inglés**