



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

#### Carrera de Ingeniería Agrícola

### Cambios de uso del suelo: impactos sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* bajo escenarios de cambio climático en la Región Sur del Ecuador

Trabajo de Titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Agrícola

#### AUTOR:

Gilson Israel González Zúñiga

#### DIRECTOR:

Ing. Aníbal Eduardo González, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 17 de febrero de 2023

Ing. Aníbal Eduardo González, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Cambios de uso del suelo: impactos sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* bajo escenarios de cambio climático en la Región Sur del Ecuador**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de la autoría del estudiante Gilson Israel González Zúñiga, con cedula de identidad Nro. 1150983037, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Atentamente,

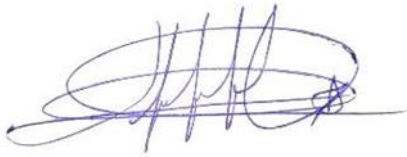
Ing. Aníbal Eduardo González, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## Autoría

Yo, **Gilson Israel González Zúñiga**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación denominado: “**Cambios de uso del suelo: impactos sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* bajo escenarios de cambio climático en la Región Sur del Ecuador**”, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o 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 Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150983037

Fecha: 03 de abril del 2023

Correo electrónico: [gilson.gonzalez@unl.edu.ec](mailto:gilson.gonzalez@unl.edu.ec)

Teléfono: 0988211380

**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**

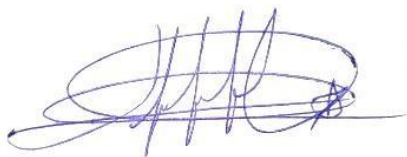
Yo, **Gilson Israel González Zúñiga**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **“Cambios de uso del suelo: impactos sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* bajo escenarios de cambio climático en la Región Sur del Ecuador”** como requisito para optar al Grado de Ingeniero Agrícola, 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 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, en la ciudad de Loja a los tres días del mes de abril del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Gilson Israel González Zúñiga

Cédula de identidad: 1150983037

Dirección: Loja, barrio Yahuarcoma

Correo electrónico: [gilson.gonzalez@unl.edu.ec](mailto:gilson.gonzalez@unl.edu.ec)

Teléfono: 0988211380

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

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

## **Dedicatoria**

Dedico mi Trabajo de Titulación de manera especial a mis padres, a Washington González y Miriam Zúñiga. Estas dos maravillosas personas, con su esfuerzo, dedicación y ejemplo me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas, a quienes han velado por mí durante el arduo camino para convertirme en profesional.

**Gilson Israel González Zúñiga**

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a la Universidad Nacional de Loja que me permitió salir adelante con mis estudios académicos, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables – FARNR, al personal administrativo de la carrera de Ingeniería Agrícola y del Centro de Investigaciones Territoriales – CIT, al Ing. Aníbal González Mg. Sc. por su valiosa orientación durante este periodo de investigación, al Ing. César Benavidez Silva Mg. Sc. y a todos mis catedráticos que me han guiado con sus conocimientos.

De igual forma quiero dar las gracias a todos los que han puesto a mi disposición esta oportunidad, conocimientos y experiencias para ayudarme a alcanzar la cima de mi carrera profesional, a mis queridos colegas y amigos, por su apoyo, amistad y consideración.

Gracias a todas estas personas, hoy puedo presentar los resultados de mi investigación.

**Gilson Israel González Zúñiga**

## 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>vii</b>
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras .....	x
Índice de anexos .....	xi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Cambio de uso del suelo.....	6
4.2. Factores que inciden sobre un cambio de uso del suelo.....	6
4.3. Modelos de cambio de uso del suelo.....	7
4.4. Modelamiento de distribución de especies.....	7
4.5. Métodos de modelación de distribución de especies .....	7
4.5.1. Modelos estadísticos de regresiones .....	8
4.5.2. Métodos de clasificación .....	8
4.5.3. Métodos de “sobre” .....	8
4.5.4. Algoritmos específicos para generar modelos de distribución.....	8
4.5.5. Ensamblajes de técnicas .....	9
4.6. Ventajas de los modelos de distribución de especies .....	9
4.7. Desventajas de los modelos de distribución de especies.....	10
4.7.1. Hipótesis de pseudoequilibrio y representatividad.....	10
4.7.2. Relaciones bióticas .....	10
4.7.3. Ausencia de la componente espacial en el proceso.....	11
4.7.4. Ausencia de la componente temporal en el proceso .....	11
4.7.5. Dificultad de hacer modelos fiables para especies generalistas .....	12
4.8. Variables relacionadas a la distribución de especies.....	12
4.9. Aplicaciones de los modelos de distribución de especies .....	13

4.10.	Evaluación de los Modelos de distribución de especies .....	14
4.11.	Características generales de la especie <i>Syzygium jambos</i> .....	14
4.11.1.	Descripción Taxonómica.....	14
4.11.2.	Descripción Botánica .....	15
4.11.3.	Descripción de factores climáticos.....	15
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>16</b>
5.1.	Área de estudio.....	16
5.2.	Modelos de Distribución potencial de la especie <i>Syzygium jambos</i> .....	18
5.2.1.	Presencias y pseudo-ausencias de la especie <i>Syzygium jambos</i> .....	18
5.2.2.	Variables Bioclimáticas y Topográficas .....	18
5.2.3.	Calibración del Modelo.....	19
5.2.4.	Evaluación del Modelo.....	20
5.2.5.	Predicción y proyección espacial del Modelo.....	21
5.3.	Comparación de modelos: cambios de uso del suelo y distribución de especies.....	21
5.4.	Análisis Estadístico .....	23
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>24</b>
6.1.	Distribución potencial actual y futura de la especie <i>Syzygium jambos</i> en la Región Sur del Ecuador, bajos distintos contextos climáticos .....	24
6.2.	Comparación de modelos: cambios de uso del suelo y distribución de la especie <i>Syzygium Jambos</i> , bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080 .....	29
<b>7.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>31</b>
7.1.	Modelar las zonas de distribución potencial actual y futura de la especie <i>Syzygium jambos</i> en la Región Sur del Ecuador.....	31
7.1.1.	Modelo de distribución potencial actual .....	31
7.1.2.	Modelos de distribución potencial futuros .....	31
7.1.3.	Intervalos de precipitación media anual.....	32
7.1.4.	Intervalos de temperatura media anual.....	32
7.1.5.	Intervalos altitudinales .....	32
7.2.	Comparar los modelos de cambio de uso del suelo con los modelos de distribución potencial de la especie <i>Syzygium jambos</i> .....	33
7.2.1.	Uso del suelo .....	33
7.2.2.	Distribución Potencial actual y futuras menos uso del suelo.....	33
<b>8.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>34</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>35</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>36</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>55</b>



## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Taxonomía <i>Syzygium jambos</i> .....	14
<b>Tabla 2.</b>	Categorías de uso actual del suelo en la región Sur del Ecuador.....	17
<b>Tabla 3.</b>	Variables Bioclimáticas.....	19
<b>Tabla 4.</b>	Técnicas de modelación presentes en Biomod2.....	20
<b>Tabla 5.</b>	Clasificación de uso del suelo basados en PFT (Plant Functional Type) bajo escenarios SSP - RCP en 2015 hasta 2100 según categoría.....	22
<b>Tabla 6.</b>	VARIABLES A CONSIDERAR – ANÁLISIS VIF.....	24
<b>Tabla 7.</b>	Evaluación de las técnicas de modelación con los métodos ROC y TSS. ....	24
<b>Tabla 8.</b>	Superficie actual y futura de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE.....	26
<b>Tabla 9.</b>	Descripción de los escenarios. ....	27
<b>Tabla 10.</b>	Descripción por escenario de los intervalos de temperatura anual, precipitación anual y altitud, de la especie <i>Syzygium Jambos</i> . ....	28
<b>Tabla 11.</b>	Distribución Potencial actual y futuras menos uso del suelo.....	30

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Mapa base Región Sur del Ecuador – Categorías de uso del suelo. ....	17
<b>Figura 2.</b> Distribución potencial Actual de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE. ....	25
<b>Figura 3.</b> Combinación de proyecciones futuras bajo los escenarios RCP 4.5 y 6.0. ....	26
<b>Figura 4.</b> Distribución Potencial de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en relación con su superficie. ....	28
<b>Figura 5.</b> Uso del suelo y distribución actual de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE. .	29

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b>	Análisis de componentes principales - espacio climático/espacio geográfico. ....	55
<b>Anexo 2.</b>	Prueba Jackknife para las variables de importancia. ....	55
<b>Anexo 3.</b>	Correlación de Pearson para las 23 variables biofísicas. ....	56
<b>Anexo 4.</b>	Evaluación de las técnicas de modelación mediante el test TSS y ROC. ....	56
<b>Anexo 5.</b>	Evaluación de los ensambles de los modelos mediante el test TSS y ROC. ....	57
<b>Anexo 6.</b>	Algoritmo aplicado en R Core Team v4.1.3 (2022) para la validación de Datos. ....	57
<b>Anexo 7.</b>	Algoritmo utilizado en R Core Team v4.1.3 (2022) para calibrar el modelo con las 10 técnicas de modelación que ofrece Biomod2 v4.0. ....	58
<b>Anexo 8.</b>	Algoritmo utilizado en R Core Team v4.1.3 (2022) para el ensamble de los modelos. ....	58
<b>Anexo 9.</b>	Distribución Potencial de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE escenario 2030 RCP 4.5. ....	59
<b>Anexo 10.</b>	Distribución Potencial de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE escenario 2030 RCP 6.0. ....	59
<b>Anexo 11.</b>	Distribución Potencial de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE escenario 2050 RCP 4.5. ....	60
<b>Anexo 12.</b>	Distribución Potencial de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE escenario 2050 RCP 6.0. ....	60
<b>Anexo 13.</b>	Distribución Potencial de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE escenario 2080 RCP 4.5. ....	61
<b>Anexo 14.</b>	Distribución Potencial de la especie <i>Syzygium Jambos</i> en la RSE escenario 2080 RCP 6.0. ....	61
<b>Anexo 15.</b>	Certificación de traducción Abstract. ....	62

## **1. Título**

**Cambios de uso del suelo: impactos sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* bajo escenarios de cambio climático en la Región Sur del Ecuador**

## 2. Resumen

*Syzygium Jambos* es una especie agroforestal endémica del Ecuador, esto se debe no sólo a su supervivencia y establecimiento, sino también a su capacidad para aumentar su población en condiciones geográficas y climáticas muy diferentes. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto del cambio de uso del suelo sobre la distribución de la especie en la región sur del Ecuador mediante enfoque correlativo de modelación para entender su distribución actual y futura en distintos escenarios climáticos y bajo dinámicas espaciales y temporales. Los modelos de distribución potencial se efectuaron utilizando registros de presencia de la especie, 19 variables bioclimáticas, 4 variables topográficas y la librería Biomod2 v4.0 implementada en R Core Team v4.1.3 (2022). Se ejecutaron métodos estadísticos con la finalidad de eliminar la multicolinealidad y sobre ajuste de los modelos, para ello se implementaron dos métodos: correlación de Pearson y el factor de inflación de la varianza (VIF). La evaluación de los modelos y ensambles se cumplió utilizando los test ROC y TSS logrando valores mayores a 0.80. Los modelos de distribución potencial fueron para el presente y bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080, para lo cual se determinaron las áreas de ganancias, pérdidas y persistencias para cada modelo con ayuda de los sistemas de información geográfica – SIG. Adicionalmente, se realizó una comparación de los modelos de distribución potencial mediante el cruce de capas con los modelos de cambio de uso del suelo que utilizan la información geográfica de cobertura terrestre basados en 20 tipos de cobertura PFT bajo los escenarios SSP2 – RCP 4.5 y SSP4 – RCP 6.0 para el presente y para los años 2030, 2050 y 2080. Logrando finalmente, un amplio análisis acerca de cómo podría distribuirse la especie *Syzygium Jambos* en la región sur del Ecuador.

**Palabras clave:** *Syzygium Jambos*, escenarios climáticos, ensambles, modelos de distribución potencial, cambios de uso del suelo.

## 2.1. Abstract

*Syzygium Jambos* is an endemic agroforestry species of Ecuador, this is due not only to its survival and establishment, but also to its ability to increase its population in very different geographic and climatic conditions. The present research aimed to evaluate the impact of land use change on the distribution of the species in the southern region of Ecuador through a correlative modeling approach to understand its current and future distribution in different climatic scenarios and under different spatial and temporal dynamics. The potential distribution models were carried out using species presence records, 19 bioclimatic variables, 4 topographic variables and the Biomod2 v4.0 library implemented in R Core Team v4.1.3 (2022). Statistical methods were used to eliminate multicollinearity and overfitting of the models, for which two methods were implemented: Pearson correlation and Variance Inflation Factor (VIF). The evaluation of the models and assemblages was carried out using the ROC and TSS tests, achieving values greater than 0.80. The potential distribution models were for the present and under the RCP 4.5 and RCP 6.0 climate scenarios for the years 2030, 2050 and 2080, for which the areas of gains, losses and persistence were determined for each model with the help of geographic information system – GIS. Additionally, a comparison of the potential distribution models was made by crossing layers with land use change models using geographic land cover information based on 20 PFT cover types under the SSP2 - RCP 4.5 and SSP4 - RCP 6.0 scenarios for the present and for the years 2030, 2050 and 2080. Finally, a comprehensive analysis of how the *Syzygium Jambos* species could be distributed in the southern region of Ecuador was achieved.

**Key words:** *Syzygium Jambos*, climate scenarios, assemblages, potential distribution models, land use changes.

### 3. Introducción

Ecuador tiene uno de los niveles más altos de riqueza de especies de flora y fauna a escala global (Delgado et al., 2011). El hotspot del Choco-Darién en el occidente ecuatoriano; y, principalmente zonas como el sur del Ecuador han sido identificadas como centros de biodiversidad (Mittermeier et al., 2011). Sin embargo, la biodiversidad distribuida en esta zona está siendo amenazada por distintas presiones antrópicas como cambios de uso del suelo, promovidos por la ganadería, crecimiento urbano, agricultura y la deforestación (Jakob, 2017); provocando además, impactos sobre el balance de los sistemas terrestres locales, modificando la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas (Balthazar et al., 2015); cambios en la configuración del paisaje (Tapia et al., 2015); y, modificaciones al sistema climático (Thies et al., 2014).

En el mismo contexto, en la Región Sur del Ecuador los estudios se han enfocado en evaluar patrones de cambio del suelo y deforestación, fragmentación y configuración espacial de los bosques. Estos estudios han demostrado que el impacto de la transición de uso del suelo en los ecosistemas depende de la cobertura existente antes de la transición y del tipo de cobertura establecida durante la transición (Hall et al., 2012). En consecuencia, se requiere una visión a largo plazo de los cambios de uso del suelo o de la transición de los mismos (Balthazar et al., 2015). Por otra parte, los estudios paleo ecológicos preliminares podrían darnos pistas acerca de que podrían existir cambios importantes en la vegetación bajo fenómenos climáticos futuros (Brunschön y Behling, 2010), debido a su alta vulnerabilidad. Además de las amenazas ya conocidas en esta zona, especialmente en el bosque seco, que potencialmente podría ser muy sensible al cambio climático debido a su dependencia de lluvias estacionales con patrones irregulares (Allen et al., 2017). Los modelos climáticos señalan un aumento de la precipitación general, pero una disminución anual en la precipitación de la estación seca, provocando eventos de sequía marcada, impactando en las tasas de reclutamiento, supervivencia y crecimiento de especies de árboles (Castro et al., 2018); en consecuencia, podría requerirse acciones inmediatas para su conservación (Aguirre et al., 2021).

Por lo tanto, En respuesta a estos factores naturales, podría esperarse bien un desplazamiento de las áreas de distribución de las especies o una adaptación rápida de los organismos a las nuevas condiciones ecológicas (Moreno, 2006). Debido a lo anterior, existe la necesidad de mejorar el entendimiento de la dinámica de cambio de uso del suelo a través de modelos y proyecciones a escalas globales, regionales y temporales, particularmente con un enfoque sobre la explicación espacial de los procesos y resultados (Mishra et al., 2014). Los

resultados obtenidos en este proyecto podrán originar un cambio positivo dentro de la región Sur del Ecuador, en donde se enfoca el área de investigación de la especie *Syzygium jambos*, y de esta manera plantear alternativas de sostenibilidad para el manejo de esta especie. Finalmente es necesario resaltar que este proyecto podría contribuir a conservar la vida de los ecosistemas terrestres y de la misma forma mitigar los efectos del cambio climático y las presiones antrópicas sobre los ecosistemas que se encuentran en la región Sur del Ecuador.

### **Objetivo General**

Evaluar el impacto de cambio de uso del suelo sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador mediante enfoque correlativo de modelación para entender su distribución actual y futura en distintos escenarios climáticos y bajo dinámicas espaciales y temporales.

### **Objetivos Específicos**

- Modelar zonas de distribución potencial actual y futura de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador, bajo distintos contextos climáticos.
- Analizar la dinámica de uso del suelo sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador bajo distintos escenarios climáticos.



## **4. Marco teórico**

### **4.1. Cambio de uso del suelo**

El cambio de uso del suelo se puede concebir como la suma de las transiciones físicas del uso del suelo asociado a las acciones humanas a través del tiempo (Pineda, 2011). La actuación del ser humano en un territorio adquiere mayor significado con las primeras sociedades agrícolas, no obstante, en épocas recientes con el desarrollo científico y tecnológico el hombre ha incrementado su capacidad para desarticular o perturbar el lugar que habita, ocupando posiciones cada vez más dominantes dentro de la estructura y dinámica de un territorio, sobrepasando así su capacidad de carga (García et al., 2001).

López et al. (2001) reconocen en el cambio de uso del suelo dos modalidades: 1) conversión de un tipo de categoría a otra; por ejemplo, de bosque a pastizal y 2) Modificación dentro de la misma categoría; por ejemplo, de áreas de cultivo de temporal cultivos de riego. El análisis de estas dos formas de cambio requiere de diferentes métodos y técnicas de realización. La conversión implica un cambio evidente y la modificación es un cambio más sutil entre las coberturas por lo que requiere de un gran nivel de detalle para ser detectada. En forma pragmática, el concepto de cambio del suelo se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan sobre una cobertura, la cobertura se refiere a los objetos que se distribuyen sobre un territorio determinado.

### **4.2. Factores que inciden sobre un cambio de uso del suelo**

Los cambios de uso del suelo están relacionados a dinámicas naturales, factores biofísicos y antrópicos, a través de factores socioeconómicos, políticos, institucionales y demográficos (Geist y Lambin, 2002; Verburg et al., 2004; Burkhard et al., 2009), están provocando pérdida, fragmentación y degradación del hábitat de especies animales y vegetales (Pira, 2019). Estos cambios en el uso del suelo y las tasas de deforestación obedecen a la demanda de productos agropecuarios, forestales, así como del crecimiento urbano (Curatola et al., 2015).

Los cambios de uso del suelo más importantes que deben ser estudiados son derivados de factores antropogénicos, puesto que tienen un impacto sobre los ecosistemas terrestres, la pérdida y la fragmentación de hábitat; y, crean impactos negativos sobre la vida humana (Islam y Ahmed, 2011).

#### **4.3. Modelos de cambio de uso del suelo**

Los modelos de cambio de uso del suelo se consideran como herramientas importantes para analizar las causas y consecuencias de la dinámica de cambio de uso del suelo y los procesos subyacentes que derivan transformaciones importantes. (Reynoso et al., 2016). Actualmente, con los avances en la tecnología de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG) se han desarrollado modelos con capacidad adecuada para modelar y predecir el cambio de uso del suelo. También, se han desarrollado varios enfoques para modelar y predecir la dinámica de cambio de uso del suelo (Islam y Ahmed, 2011; Mishra et al., 2014; Kumar et al., 2014).

#### **4.4. Modelamiento de distribución de especies**

El modelado del nicho ecológico de especies mediante algoritmos computacionales usa datos de la presencia comprobada de las especies conjuntamente con variables ambientales para producir modelos correlativos de las condiciones más adecuadas del hábitat que determinan la distribución de las especies (Peterson et al., 2011). Las aplicaciones de estos modelos son relevantes en investigaciones sobre biología de la conservación, biogeografía, epidemiología, en el impacto potencial del cambio climático, en las proyecciones de ocurrencia geográfica de las especies invasoras y en la identificación de zonas y regiones geográficas que requieren ser exploradas (Guisan y Zimmermann, 2000; Hansen et al., 2001; Anderson et al., 2003; Elith y Leathwick, 2009; Peterson et al., 2011; Saupe et al., 2012).

Los modelos de distribución de especies, y los modelos de nicho ecológicos (ambientales), juegan un papel importante en la cuantificación de las relaciones especies-hábitat y en la predicción de la distribución de especies en investigaciones ecológicas, conservación y la gestión ambiental (Robinson et al., 2017). Estos modelos predicen la probabilidad de que una especie objetivo esté presente en una ubicación determinada o para cuantificar la idoneidad del hábitat en función de múltiples variables predictoras que representan condiciones ambientales vinculadas al uso del suelo y la persistencia del hábitat de las especies (Elith y Leathwick, 2009).

#### **4.5. Métodos de modelación de distribución de especies**

Se pueden distinguir cuatro grandes familias de técnicas de modelación de la distribución 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 regression trees (BRT)), los métodos de "sobre" (BIOCLIM, ENFA) y aquellos basados en algoritmos específicos

(GARP, MAXENT). Además, se puede incluir como un nuevo enfoque los programas que utilizan ensambles de técnicas para obtener modelos de consenso, buscando disminuir los sesgos y limitaciones propias del uso en forma individual de las técnicas estadísticas mencionadas (Pliscoff y Fuentes, 2011).

#### **4.5.1. Modelos estadísticos de regresiones**

Los métodos basados en regresiones múltiples han sido los más utilizados para modelar (Guisan et al., 2002), ya que permiten establecer de forma clara el modelo estadístico que describe la relación entre las variables descriptivas y la presencia conocida de las especies/ecosistemas. Además, en las evaluaciones comparativas entre técnicas de modelación, estos métodos han sido identificados como una de las técnicas de mejor resultado en la proyección sobre el espacio geográfico del modelo final (Elith et al., 2006).

#### **4.5.2. Métodos de clasificación**

Estos métodos se basan en clasificaciones fundamentadas en reglas, donde se asigna una clase para cada combinación de las variables predictivas que generan el modelo de distribución (Guisan y Zimmermann, 2000). Algunas de las técnicas que se encuentran dentro de esta categoría, por ejemplo, Random Forest (Breiman, 2001), han sido identificadas como las de mejores resultados al momento de discriminar la importancia de las variables para la definición del modelo final (Prasad et al., 2006), pero a su vez, la caracterización del conjunto de reglas que define el modelo final es muy compleja, por lo que se hace difícil de interpretar (Pliscoff y Fuentes, 2011).

#### **4.5.3. Métodos de “sobre”**

Los métodos de “sobre” se basan en el establecimiento de combinaciones de rangos de valores mínimos y máximos. Entre las variables utilizadas para la definición del nicho, donde se define un espacio o “sobre” en que se da la combinación de valores deseada, dentro del espacio n-dimensional de las variables (Busby, 1991). Este es el enfoque más antiguo de modelación, pero se ha ido abandonando con el tiempo, ya que ofrece una definición muy poco flexible del espacio climático, sin tomar en cuenta los distintos tipos de interacciones que se dan entre las variables (por ejemplo, colinealidad) o el efecto de la distancia geográfica entre las presencias (autocorrelación espacial) (Pliscoff y Fuentes, 2011).

#### **4.5.4. Algoritmos específicos para generar modelos de distribución**

En los últimos años ha tomado fuerza el uso de técnicas basadas en algoritmos específicos (máxima entropía, algoritmos genéticos). Han significado un aumento exponencial en el número de publicaciones y estudios asociados a la modelación de la distribución

geográfica de las especies y ecosistemas, por la facilidad de su aplicación y la rapidez con que se pueden obtener resultados. En este contexto destaca el software MAXENT (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011) que, usando un algoritmo de máxima entropía, logra resultados robustos en términos de la proyección espacial de la distribución, especialmente cuando se cuenta con pocos datos de presencias; sin embargo, la relevancia de las variables ambientales y su evaluación estadística se mantiene en discusión (Peterson et al., 2007) o su uso se ha masificado en los últimos años, siendo utilizado en prácticamente todas las aplicaciones de modelos de distribución (Baldwin, 2009). Existen también algunos casos en que MAXENT ha sido utilizado desde un enfoque de modelación de ecosistemas (Thuiller et al., 2005; Deblauwe et al., 2008; Riordan y Rundel, 2009).

#### **4.5.5. Ensamblajes de técnicas**

Una aproximación válida es utilizar “ensamblajes de técnicas” (Araújo y New, 2007; Marmion et al., 2009), con el objetivo de disminuir las incertidumbres asociadas a los modelos de distribución, especialmente en relación a la validez estadística de los resultados. BIOMOD (Thuiller et al., 2009) es un ejemplo de ensamble de técnicas, que permite aplicar a la vez diez técnicas de modelación. Es un software programado en el lenguaje estadístico R que ha sido utilizado principalmente para analizar proyecciones de la distribución actual bajo escenarios de cambio climático, análisis del nivel de protección actual y futuro de especies con problemas de conservación (Le Maitre et al., 2008; Barbet et al., 2009; Parviainen et al., 2009; Marini et al., 2010).

#### **4.6. Ventajas de los modelos de distribución de especies**

Los modelos de distribución de especies representan una información que sintetiza las relaciones entre especies y variables ambientales que serían difíciles de interpretar o incluso de apreciar por otros medios. Un elevado número de estudios han demostrado su utilidad en campos en los que pocas técnicas pueden brindar ayuda para entenderlos, como predecir la presencia de especies aún no descritas (Raxworthy et al., 2003) o para modelar la distribución de especies en el pasado (Martínez y Peterson, 2006).

Los modelos de distribución de especies/ ecosistemas se han transformado en una de las áreas de investigación con mayor desarrollo en el campo de la biogeografía de la conservación (Richardson y Whittaker, 2010). La capacidad predictiva de los modelos de distribución de especies/ecosistemas tanto para proyectar el espacio geográfico-ecológico en el pasado y en el futuro, ha generado nuevas técnicas y herramientas, generando así un nuevo dinamismo a la disciplina biogeográfica (Guisan y Thuiller, 2005).

#### **4.7. Desventajas de los modelos de distribución de especies**

La naturaleza es compleja y heterogénea; y, no es razonable esperar que los modelos reflejen con precisión los mecanismos inherentes a un proceso espacio-temporal tan complejo como es la distribución de las especies (Guisan y Zimmermann, 2000; Pearson y Dawson, 2003; Hampe, 2004; Pearson y Dawson, 2004; Guisan y Thuiller, 2005; Soberón y Peterson, 2005; Pearson et al., 2006; Zurell et al., 2009). Muchas de estas limitaciones son inherentes al proceso y difícilmente salvables, mientras que otras están siendo el objeto de investigaciones en la actualidad (Pearson y Dawson, 2004). A continuación, se muestran las limitaciones y desventajas más comunes que se han logrado apreciar en los modelos de distribución de especies.

##### **4.7.1. Hipótesis de pseudoequilibrio y representatividad**

Al generar modelos se asume que la población está en equilibrio o pseudoequilibrio con las condiciones ambientales (Araújo y Pearson, 2005). Eso supone que la distribución de la especie es estable en el tiempo y el espacio, algo que normalmente se desconoce, al igual que se ignora cómo afectarían al modelo las desviaciones con respecto al equilibrio. Por ejemplo, los bosques mediterráneos cubren en la actualidad una porción reducida de su área original, fundamentalmente a causa de su tala. Los modelos generados para estas especies serán muy conservadores por faltar datos de presencia en lugares que hoy son cultivos, pero cuyo óptimo desconocemos. Otro ejemplo lo tenemos en los modelos de etapas climáticas, al final de la sucesión ecológica, que normalmente se acercan más a la realidad que los de especies pioneras o etapas intermedias (Guisan et al., 2007).

##### **4.7.2. Relaciones bióticas**

La distribución de las especies responde a procesos complejos donde las relaciones bióticas tienen una gran influencia. La competencia por ejemplo puede llevar a que las especies no ocupen más que una parte del área de distribución potencial (Anderson et al., 2002; Pearson y Dawson, 2003). Este factor no se toma en consideración en la mayoría de los trabajos (Davis et al., 1998; Fitzpatrick et al., 2007), al igual que sucede con otras interacciones, como la facilitación, polinización, herbivoría, depredación (Sánchez y Martínez, 2000; Hebblewhite et al., 2005), parasitismo (Peterson et al., 2002), simbiosis o el mutualismo (Gutiérrez et al., 2005). Aunque incorporar las relaciones bióticas a los modelos sería probablemente difícil, el desconocimiento casi universal sobre su dinámica a nivel de especies individuales ha hecho que sencillamente se ignoren por completo a la hora de generar modelos de distribución de especies. Tampoco hay consenso sobre su influencia, y mientras algunos autores consideran que estas

interacciones solo tienen un efecto importante a escala local y a resolución detallada (Whittaker et al., 2001; Pearson y Dawson, 2004; Guisan y Thuiller, 2005), otros obtienen resultados opuestos (Araújo y Luoto, 2007). Este es sin duda un campo que se desarrollará en el futuro inmediato, ya que se ha alcanzado una suficiente madurez en las técnicas para abordar tareas más complejas, como estas (Mateo et al., 2011).

#### **4.7.3. Ausencia de la componente espacial en el proceso**

Es paradójico que, en la generación de los modelos de distribución de especies, cuyo resultado es un mapa, no se tengan en cuenta las relaciones espaciales entre los puntos a partir de los cuales derivan, ya que las coordenadas de cada presencia se utilizan exclusivamente para extraer los valores de las variables independientes en ese punto, sin considerar lo que sucede a su alrededor. Dos efectos derivados son que el valor de idoneidad de un punto concreto del terreno se estima con total independencia de los valores de sus vecinos, y que la posible correlación espacial resulta de la existencia de asociación entre las variables independientes, pero no de la estructura espacial de las presencias/ ausencias (Mateo et al., 2011).

Debido a esta forma de generar los modelos es frecuente encontrar zonas potenciales separadas por amplias barreras climáticas cuando, en realidad, la especie está presente solamente en una de esas zonas y la otra podría considerarse aislada e inaccesible. Las soluciones a esta limitación existen, pero no están desarrolladas en las aplicaciones disponibles; se trataría de añadir una o más reglas en el cálculo de la idoneidad de forma que el contexto espacial de cada punto se tenga en cuenta en la estimación (Mateo et al., 2011).

#### **4.7.4. Ausencia de la componente temporal en el proceso**

Los modelos de distribución de especies son fotografías fijas de un instante y no reflejan ningún proceso histórico ni pueden contemplarlo en sus reglas ni en sus clasificadores. Por este motivo no es posible tener en cuenta con facilidad factores históricos como eventos geológicos, antropogénicos o climáticos que han sucedido en el pasado, como glaciaciones o aparición de barreras biogeográficas (Guisan y Zimmermann, 2000; Svenning et al., 2006). Varios modelos han evaluado los escenarios climáticos como los propuestos por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), pero siguen siendo instantáneas en el sentido de que se calculan independientemente y no existen reglas de transición entre un periodo temporal y otro. Debido a esta limitación, no es posible proponer fácilmente modelos de expansión, de colonización o de extinción, aunque hay algunos estudios que abordan estos temas con resultados interesantes (Martínez y Peterson, 2006; Peterson y Nyári, 2007), si bien sería muy enriquecedor disponer de información sobre la capacidad de dispersión (Svenning y Skov, 2004; Pearson y Dawson,

2005; Lester et al., 2007) y de la probabilidad de supervivencia y arraigo, algo de lo que no suele haber información (Mateo et al., 2011).

#### **4.7.5. Dificultad de hacer modelos fiables para especies generalistas**

Algo que ya ha sido puesto de manifiesto por distintos autores es que los modelos realizados para especies de distribución restringida son más fiables –a igual número de presencias– que los realizados con especies de amplia distribución (Kadmon et al., 2003; Seoane et al., 2005; Papeş y Gaubert, 2007; Pearson et al., 2007; Mateo et al., 2010). Esto se debe a que, en una especie generalista el rango de valores para cada variable obtenido con un número limitado de presencias es muy amplio, mientras que para las especies de distribución restringida las condiciones ambientales están muy claramente definidas por el mismo número de presencias, ya que el rango de valores es mucho menor (Mateo et al., 2011).

Otra limitación relacionada con lo anterior es la posibilidad de que haya adaptaciones ecológicas diferenciadas en distintas subpoblaciones morfológicamente indistintas (Peterson et al., 2003) y que, sin embargo, se considere al modelo como representativo de toda la población (Osborne y Suárez, 2002; Murphy y Lovett, 2007; Mateo et al., 2010).

#### **4.8. Variables relacionadas a la distribución de especies**

Existen principalmente dos tipos de variables que se utilizan comúnmente, las variables climáticas (bioclimáticas) y las variables topográficas. Las primeras son las más utilizadas, independiente del tipo de entidad natural, principalmente por la facilidad de su obtención, ya que existen bases de datos globales a alta resolución (~1 km) de libre acceso y uso. Una de las estrategias de selección más utilizada es trabajar con un set de variables bioclimáticas predefinidas, como es el caso de las 19 variables bioclimáticas disponibles en la base de datos global de superficies climáticas Worldclim (Hijmans et al., 2005).

Sobre el uso de este tipo de variables y el efecto que pueden tener sobre los resultados finales, existen varias revisiones y evaluaciones (Elith et al., 2002; Van Niel et al., 2004; Dormann et al., 2008). Respecto a otros tipos de variables como las derivadas de imágenes satelitales, como las coberturas de uso del suelo o índices de productividad, se ha identificado que pueden ser de gran utilidad para obtener modelos con un mayor ajuste (Zimmermann et al., 2007; Randin, et al., 2009). Especialmente en el caso de las topográficas, se ha probado que su uso en forma conjunta con los datos climáticos, puede mejorar el resultado de los modelos a escalas espaciales de mayor detalle (Randin et al., 2009).

#### **4.9. Aplicaciones de los modelos de distribución de especies**

Las aplicaciones de los modelos de distribución de especies son muy numerosas, y cada día aparecen nuevas ideas para sacar fruto de estos métodos. Entre los campos de aplicación quizás los más evidentes sean los relacionados con la riqueza de especies y su distribución (Cumming, 2000; Lehmann et al., 2002; Hortal et al., 2004; Wohlgemuth et al., 2008). También han sido aplicados a la distribución potencial de comunidades (Felicísimo et al., 2002; Felicísimo et al., 2005; Maggini et al., 2006). Otras aplicaciones han sido al estudio del riesgo asociado a las especies invasoras (Kolar y Lodge, 2002; Peterson, 2003; Broennimann et al., 2007; Fitzpatrick et al., 2007; Richardson y Thuiller, 2007; Beaumont et al., 2009; Herborg et al., 2009), la protección y conservación de especies amenazadas (Godown y Peterson, 2000; Benito y Peñas, 2007; Parviainen et al., 2008; Parviainen et al., 2009; Williams et al., 2009), los posibles efectos del cambio climático (Iverson et al., 1999; Pearce y Ferrier, 2001; Peterson, et al., 2002; Iverson et al., 2004; Araújo et al., 2005; Araújo et al., 2006; Benito, 2006; Benito et al., 2007; Botkin et al., 2007; Loarie et al., 2009; Felicísimo et al., 2011), los patrones de diversidad (Ortega y Peterson, 2004; Ferrier et al., 2007; Hortal, 2008), el diseño de reservas (Araújo y Williams, 2000; Margules y Pressey, 2000; Ortega y Peterson, 2004; Hannah et al., 2007; Early et al., 2008).

También se han agregado los modelos de distribución de especies en la aplicación de estudios de conservación (Flather et al., 1997; Araújo, et al., 2005; Ceballos et al., 2005; Rissler et al., 2006; Rodríguez et al., 2007; Mateo, 2008), delimitación de regiones biogeográficas (Peters y Thackway, 1998), localización de lugares donde pueden existir nuevas especies (Raxworthy et al., 2003), localización de nuevas presencias de especies raras (Bourg et al., 2005; Williams et al., 2009), se efectúan en la delimitación de lugares para futuros trabajos de campo (Guisan et al., 2006), reintroducción de especies amenazadas (Wiser et al., 1998; Danks y Klein, 2002; Martínez et al., 2006), localización de corredores óptimos para la distribución de especies (Williams et al., 2005), conservación de especies raras (Bourg et al., 2005; Sattler et al., 2007; Parviainen et al., 2008), delimitación de puntos calientes de biodiversidad (Schwartz, 1999; Richardson et al., 2006), el contraste de hipótesis relacionadas con la teoría de la evolución (Peterson et al., 1999), los efectos de las actividades humanas en la distribución de especies (Jarnevich et al., 2006; Seoane et al., 2006), la taxonomía (Gaubert et al., 2006) y la distribución potencial de enfermedades infecciosas (Peterson, et al., 2002).



#### 4.10. Evaluación de los Modelos de distribución de especies

La evaluación o validación se enfoca en la caracterización de la confiabilidad de los resultados de los modelos, más que en la definición de uno como correcto o incorrecto (Allouche et al., 2006). La forma correcta de evaluar el resultado sería comparándolo con un conjunto de presencias independientes al que se está usando, lo que es difícil de realizar porque se tienen datos de presencia limitados, esto aborda procediendo a dividir el conjunto de datos en dos sets: uno de calibración y otro de evaluación (Guisan y Zimmermann, 2000). La forma más básica de evaluar un modelo consiste en generar una matriz de confusión o error, donde las ausencias y presencias predichas se comparan con las ausencias y presencias reales. Esto permite calcular indicadores para evaluar los modelos, como la especificidad (porcentaje de positivos verdaderos correctamente predichos) y la sensibilidad (porcentaje de negativos verdaderos correctamente predichos) (Hirzel et al., 2006).

Hay, también, otras medidas de precisión de los modelos, donde un modelo es un mapa con valores continuos de probabilidad de presencia, la forma más básica es reclasificar el mapa de valores continuos, basados en un valor de corte o umbral determinado, para luego analizar cómo los puntos conocidos de las presencias se distribuyen en este nuevo mapa reclasificado en forma binaria (Liu et al., 2005; Jiménez y Lobo, 2007; Freeman y Moisen, 2008). Valores sobre el umbral determinado se estiman como presencia, y valores bajos como ausencia de la identidad en estudio (Pliscoff y Fuentes, 2011).

#### 4.11. Características generales de la especie *Syzygium jambos*

Dentro de la familia *Myrtaceae* se encuentra el género *Syzygium*, al cual pertenecen alrededor de 500 especies. *Syzygium jambos* es un árbol nativo del sudeste asiático y fue introducido al continente americano por los europeos en 1762. Se conoce comúnmente como pomarroza o manzana rosa, por el peculiar aroma a rosas de los frutos (Morales y Varón, 2006).

##### 4.11.1. Descripción Taxonómica

**Tabla 1.**

Taxonomía *Syzygium jambos*.

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Subclase</b>	<i>Rosidae</i>
<b>Orden</b>	<i>Myrtales</i>
<b>Familia</b>	<i>Myrtaceae</i>
<b>Subfamilia</b>	<i>Myrtoideae</i>
<b>Tribu</b>	<i>Syzygieae</i>
<b>Genero</b>	<i>Syzygium</i>
<b>Especie</b>	<i>Syzygium jambos</i>

Fuente: (Alston. 1931)

#### **4.11.2. Descripción Botánica**

*Syzygium jambos* es un árbol que alcanza de 10 a 16 m de altura, tiene una densa copa de ramas que son finas y se distribuyen de manera tortuosa, mientras que su tronco es delgado con una corteza lisa, de color castaño grisáceo. Las hojas son alargadas, perennes, opuestas, lanceoladas o estrecho-elípticas, de 10-25 cm de largo y 2.5-6.25 cm de ancho, algo coriáceas, brillantes, de color verde oscuro y presentan nervaduras muy marcadas. Las flores son de color blanco cremoso o blanco verdoso, de 4 cm de largo, un cáliz de 4 lóbulos y 4 pétalos cóncavos. Generalmente, se presentan 4 o 5 flores juntas en racimos terminales. Los frutos de la pomarrosa, aparecen 4 meses después de la floración. El fruto es casi redondo, oval o ligeramente en forma de pera, de 4-5 cm de largo, con una piel lisa, delgada, de color amarillo pálido o blanquecino, a veces de color rosa con tonos rojizos, que cubre una capa de pulpa crujiente, seca, amarillenta, dulce y el sabor se asemeja al olor de las rosas (Streets, 1962).

#### **4.11.3. Descripción de factores climáticos**

*Syzygium jambos* requiere un hábitat húmedo. Crece con mayor frecuencia al margen de las corrientes de agua, se vuelve más común a medida que la precipitación anual promedio es mayor a 1700 mm, con un clima sub-tropical húmedo. Pero también soporta un clima monzónico siempre que haya en el suelo una humedad adecuada en el tiempo de secas. Las temperaturas dentro del ambiente tropical no parecen ser de importancia crítica, esta especie no es muy demandante en cuanto a sus requisitos de suelo a lo largo de las corrientes de agua. En las áreas elevadas, la especie requiere de un suelo fértil; crece muy lentamente en suelos erosionados; y, por lo general, no se puede reproducir en suelos arenosos secos. *Syzygium jambos* puede soportar suelos con un potencial hídrico (pH) igual o menor a 5. No se conoce el límite superior de tolerancia del pH (Streets, 1962).

## 5. Metodología

En este estudio se analizaron las variables bioclimáticas y topográficas, así como las presencias y ausencias de la especie *Syzygium jambos*, se cataloga como un estudio de tipo correlacional. Las observaciones de la especie fueron obtenidas a partir del geoportal web GBIF (<https://www.gbif.org/>). Una vez depurada la información en función de los años de observación y de coordenadas geográficas, se la pudo esquematizar por medio de modelos de distribución potencial para la actualidad y para los años futuros 2030, 2050 y 2080 bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 en la región sur del Ecuador.

La modelación se realizó utilizando la librería Biomod2 v4.0, la cual se ejecuta en R Core Team v4.1.3 (2022). Mediante Biomod2, se evaluó la distribución potencial de la especie *Syzygium jambos*, verificando pérdidas, ganancias y persistencias en función de su desarrollo dentro del área de estudio; también, se comparó los modelos de uso del suelo y los modelos de distribución potencial con el objetivo de examinar la dinámica de uso del suelo y los efectos potenciales sobre la distribución de la especie en estudio bajo diferentes dinámicas espaciales, temporales y escenarios de cambio climático.

### 5.1. Área de estudio

El área de estudio para el desarrollo del proyecto comprendió la Zona de Planificación 7, que tiene una superficie aproximada de 2700 000 ha, involucra las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y El Oro, las mismas que conforman la Región Sur del Ecuador (Figura 1). La zona de estudio limita al norte con las provincias del Guayas, Azuay y Morona Santiago; al Sur y al este con la República del Perú; al oeste con el Océano Pacífico. Según el sistema de coordenadas geográficas GCS WGS 1984 en grados decimales, la zona se ubica entre las siguientes coordenadas: latitud -3.527572 y -4.081755; longitud -79.848916 y -79.014999. La mayor parte de la región cuenta con pendientes de 25 a 50 % de inclinación con base a la clasificación de pendientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO; y, presenta una altitud que va de 0 a 3800 m.s.n.m.

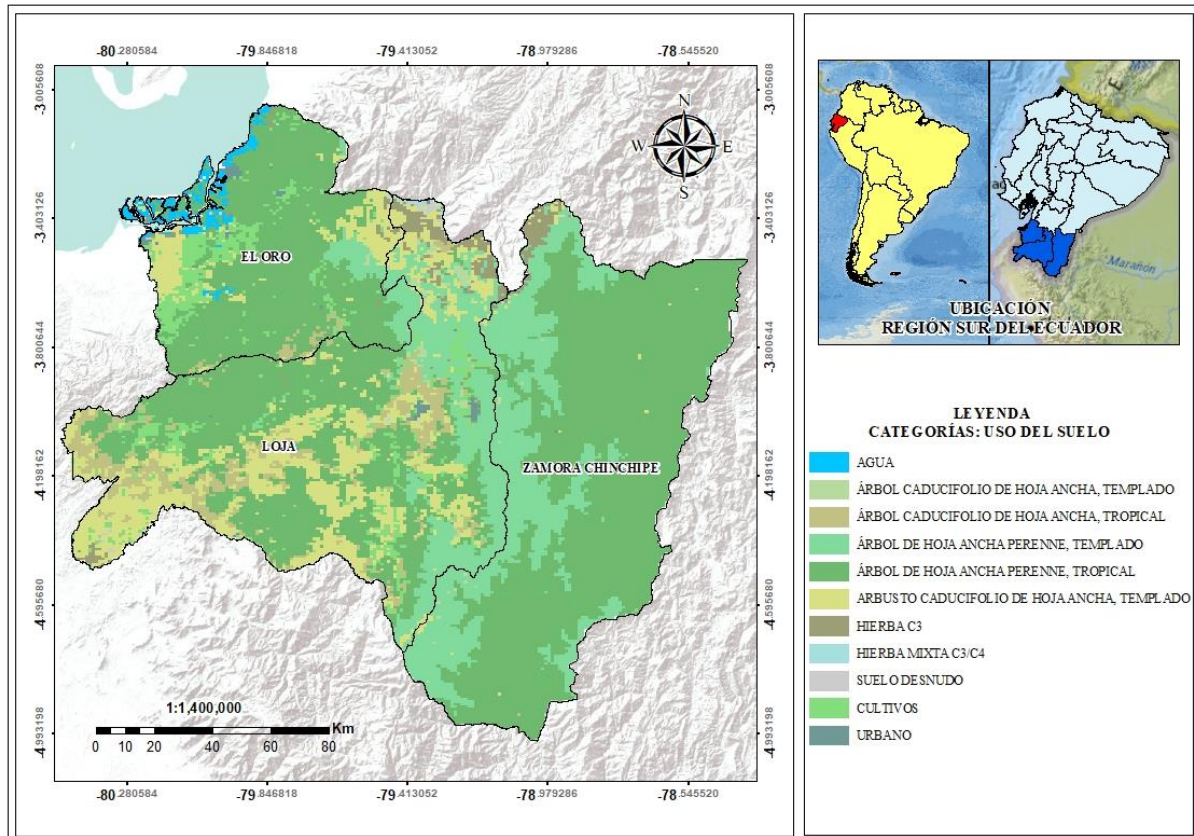
Por otra parte, la clasificación de Pourrut de los tipos de climas presentes en la RSE son: a) Clima megatérmico seco a semihúmedo, b) Clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo y c) Clima tropical megatérmico muy húmedo (Samaniego et al., 2015). Dentro de la región sur del Ecuador se observan diferentes usos del suelo (Tabla 2), los cuales proporcionan cierta información del estado en el que se encuentran actualmente los ecosistemas.

**Tabla 2.**  
Categorías de uso actual del suelo en la región Sur del Ecuador.

Categorías: uso del suelo	Área (ha)	Área (%)
Agua	33782.27	1.23
Árbol de hoja ancha perenne, tropical	1554154.62	56.69
Árbol de hoja ancha perenne, templado	487310.57	17.78
Árbol caducifolio de hoja ancha, tropical	121158.87	4.42
Árbol caducifolio de hoja ancha, templado	13800.92	0.50
Arbusto caducifolio de hoja ancha, templado	334204.67	12.19
Hierba C3	51404.25	1.88
Hierba mixta C3/C4	2899.90	0.11
Suelo desnudo	4499.18	0.16
Cultivos	128656.75	4.69
Urbano	9598.04	0.35
<b>Total:</b>	<b>2741470.04</b>	<b>100</b>

Fuente: (Chen et al. 2022)

**Figura 1.**  
Mapa base Región Sur del Ecuador – Categorías de uso del suelo.



Fuente: El autor

## **5.2. Modelos de Distribución potencial de la especie *Syzygium jambos***

Para modelar zonas de distribución potencial actual y futura de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador, bajo distintos escenarios climáticos (RCP 4.5 y 6.0), se usó el modelo Biomod2 v4.0 instalado en el software de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R Core Team v4.1.3 2022. El paquete de modelación de especies Biomod2 permite ejecutar consistentemente hasta 10 modelos individuales (Tabla 4) en un grupo de datos de presencia/ausencias y combinarlos en modelos y proyecciones de conjuntos (Thuiller et al., 2016).

### **5.2.1. Presencias y pseudo-ausencias de la especie *Syzygium jambos***

Se recopiló la información de la especie *Syzygium jambos* en una base de datos con ayuda del geportal web GBIF (<https://www.gbif.org/>). Para modelar la distribución potencial se depuraron puntos de observación de la especie *Syzygium jambos*, dejando solo presencias que se encuentren dentro de Ecuador y Colombia (se amplió el área de modelación para obtener una mejor calibración y evaluación del modelo). Seguidamente se implementó el uso del sistema de información geográfica – SIG para anular los puntos de presencias que se encuentren demasiado cerca el uno del otro, dejando solo presencias que permanezcan en la distancia de un kilómetro, luego se creó las pseudo-ausencias de la especie, obteniendo un total de 10000 puntos.

### **5.2.2. Variables Bioclimáticas y Topográficas**

El siguiente paso fue la selección de las variables bioclimáticas antes de la aplicación de las técnicas de modelación. El elegir un número de variables adecuado y que releven la información más importante de la entidad natural analizada, es quizás el paso más crítico en el proceso de los modelos de distribución (Pliscoff y Fuentes, 2011). Por lo tanto, se utilizó 19 Variables Bioclimáticas (Tabla 3), las mismas que ayudan a representar de forma significativa la distribución potencial en el espacio geográfico y espacio climático de la especie *Syzygium jambos*. Estas Variables bioclimáticas actuales y futuras se consiguieron a través del portal web CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), (<http://www.ccafs-climate.org/>).

**Tabla 3.**  
Variables Bioclimáticas.

	<b>Variables Bioclimáticas</b>	<b>Unidades</b>
<b>BIO1</b>	Temperatura media anual	°C
<b>BIO2</b>	Rango medio de temperatura diurna	°C
<b>BIO3</b>	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) ( $\times 100$ )	%
<b>BIO4</b>	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$ )	
<b>BIO5</b>	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
<b>BIO6</b>	Temperatura mínima del mes más frío	°C
<b>BIO7</b>	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	°C
<b>BIO8</b>	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C
<b>BIO9</b>	Temperatura media del cuarto más seco	°C
<b>BIO10</b>	Temperatura media del trimestre más cálido	°C
<b>BIO11</b>	Temperatura media del cuarto más frío	°C
<b>BIO12</b>	Precipitación anual	mm
<b>BIO13</b>	Precipitación del mes más húmedo	mm
<b>BIO14</b>	Precipitación del mes más seco	mm
<b>BIO15</b>	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	%
<b>BIO16</b>	Precipitación del cuarto más húmedo	mm
<b>BIO17</b>	Precipitación del cuarto más seco	mm
<b>BIO18</b>	Precipitación del trimestre más cálido	mm
<b>BIO19</b>	Precipitación del cuarto más frío	mm

Fuente: (Worldclim. 2022)

También se seleccionaron las variables de tipo topográficas, tales como: elevación, aspecto y pendiente, todas ellas a una resolución espacial de 1 km, estas variables fueron extraídas del modelo digital de elevación (DEM) de la RSE, que permitió explicar la distribución potencial de la especie *Syzygium jambos* en la RSE de mejor forma. Una vez definida la información de las presencias y variables, se seleccionó la técnica de modelación más adecuada para las preguntas que se quieran responder y proceder a los pasos básicos que involucra el trabajo con modelos: calibración, evaluación, predicción y proyección espacial (Pliscoff y Fuentes, 2011).

### **5.2.3. Calibración del Modelo**

Se trabajó dentro del software de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R Core Team v4.1.3 2022, cargando en primera instancia la base datos creada en formato CSV (delimitado por comas) donde se encuentra la información de los registros de presencias y pseudo-ausencias de la especie *Syzygium jambos* y luego el paquete de variables bioclimáticas y topográficas en formato TIF. Seguidamente, se ejecutó la combinación de registros de la base de datos de la especie junto con las variables bioclimáticas y topográficas. Es así como, para el conjunto de variables escogidas se efectuó un análisis de componentes principales (PCA) (Anexo 1) y de correlación de Pearson con el fin de escoger las variables explicativas. Además, la precisión en las estimaciones de los coeficientes del modelo se puede ver observando los

factores de inflación de la varianza, denominados VIF (Variance Inflation Factor) (Alonso, 2018). Estos análisis son de tipo estadísticos asociados a buscar el ajuste del modelo que posteriormente se proyectará en el espacio geográfico. El desarrollo de la aplicación de las técnicas en los últimos años ha permitido realizar evaluaciones con diferentes tipos de organismos, a distintas escalas espaciales y sobre diferentes espacios geográficos (Manel et al., 2001; Hernández et al., 2006; Hirzel et al., 2006; Elith et al., 2006; Elith y Graham, 2009).

Con ayuda de Biomod2 v4.0 se implementó el algoritmo (Anexo 7), donde se pudo ejecutar las 10 técnicas de modelación (Tabla 4) con el propósito de conseguir modelos más estables y de mejor calidad al momento de cumplir con los últimos ensambles. Finalmente, en la calibración del modelo se usó la prueba Jackknife (Anexo 2), la cual permitió establecer las contribuciones individuales de cada una de las variables dentro del modelo de distribución.

**Tabla 4.**

Técnicas de modelación presentes en Biomod2.

<b>Técnicas de modelación presentes en Biomod2</b>	
<b>Técnica</b>	<b>Nombre</b>
ANN	Artificial Neural Networks
SRE	Surface Range Envelop or usually called BIOCLIM
CTA	Classification Tree Analysis
FDA	Flexible Discriminant Analysis
GAM	Generalized Additive Models
GBM	Generalized Boosting Model or usually called Boosted Regression Trees
GLM	Generalized Lineal Models
MARS	Multivariate Adaptive Regression Splines
MAXENT PHILLIPS	Maximum Entropy
RF	Random Forest

Fuente: (Thuiller et al. 2016)

#### **5.2.4. Evaluación del Modelo**

Se implementaron dos métodos al momento de evaluar los modelos obtenidos, ROC (Receiver Operating Characteristic) y TSS (True Skill Statistic), la revelación de los valores de salidas de estos dos métodos debe ser mayor a 0.80 para cada técnica de evaluación, de lo contrario los modelos que no superen este rango son descartados en la construcción de los últimos ensambles. Cabe recalcar que para estos dos métodos se utilizó el 30% del total de registros de presencias para evaluar los modelos y el 70% sirvió para la calibración. El método estadístico de habilidad verdadera (TSS), también conocido como discriminante de Hanssen-Kuipers, se efectuó como una medida que satisface estos requisitos. Este estadístico, tradicionalmente es utilizado para evaluar la precisión de las previsiones meteorológicas (McBride y Ebert, 2000; Saseendran et al., 2002; Elmore et al., 2003; Accadia et al., 2005), compara el número de previsiones correctas de pronósticos correctos, menos los atribuibles a

la adivinación aleatoria, con el de un conjunto hipotético de previsiones perfectas, además, el TSS tiene en cuenta tanto los errores de omisión como los de éxito como resultado de la adivinación aleatoria, y va de -1 a +1, donde +1 indica un acuerdo perfecto y los valores de cero o menos indican un rendimiento no mejor que el aleatorio (Allouche et al., 2006).

Continuamente, se interceptó las presencias con las capas de cada uno de los modelos obtenidos, para ello se calculó la sensibilidad y especificidad de los valores de ocurrencias de la especie *Syzygium jambos* con ayuda del método de característica operativa del receptor (ROC) que se encuentra dentro del análisis estadístico AUC (Area under curve). Esta curva se fundamenta en base a la unión de distintos puntos de corte, correspondiendo el eje Y “sensibilidad” y el eje X “1-especificidad” de cada uno de ellos, los dos ejes contienen valores entre 0 y 1 (0 % a 100 %) (Cerdeña y Cifuentes, 2012). Donde un valor de 1 indica que todos los casos se han clasificado correctamente, valores mayores a 0.9 indican alta precisión, los valores de 0.7 – 0.9 indican aplicaciones útiles, valores de 0.5 – 0.7 para indicar baja precisión y uno de 0.5 o menores a 0.5 indican que el modelo es realmente malo, ya que clasifica erróneamente más casos que el azar (Swets, 1988; Mateo et al., 2011).

#### **5.2.5. Predicción y proyección espacial del Modelo**

En el proceso del modelamiento potencial de especies se encuentra la predicción y proyección espacial, que se llevó a cabo tras introducir un umbral específico para evaluar el rendimiento del modelo e identificar los valores por debajo del umbral como la ausencia de una especie y los valores por encima del umbral como la presencia de una especie. Después, el modelo se ensambló mediante un algoritmo, que produjo resultados más sólidos. En esta fase, se ha modelado la distribución potencial de la especie *Syzygium jambos* para los años de 2030, 2050 y 2080 bajo los dos escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, lo que permite evaluar hasta qué punto esta especie puede desarrollarse o verse limitada en un futuro próximo.

### **5.3. Comparación de modelos: cambios de uso del suelo y distribución de especies**

Se analizó la dinámica de distribución potencial de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador para el escenario actual y para los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080, y se comparó bajo los últimos escenarios de acoplamiento del IPCC de cambio socioeconómico y de cambio climático SSP – RCP, la información de la cobertura del suelo geográfica basada en el PFT (Plant Functional Type) global de 1 km en intervalos de 5 años desde 2015 hasta 2100, cubre 20 tipos de uso del suelo. Este conjunto de datos está disponible en <https://doi.org/10.5281/zenodo.4584775> o en



<https://www.geosimulation.cn/Global-SSP-RCP-LUCC-Product.html> y son de acceso libre (Chen et al., 2022).

Se utilizaron los escenarios SSP2 – RCP 4.5 y SSP4 – RCP 6.0 respectivamente para el presente y para los años 2030, 2050 y 2080, los mismos que se encuentran dentro de los tipos de suelo PFT (Plant Functional Type) de los escenarios SSP - RCP para los años 2015 a 2100 en intervalos de 5 años. Continuamente, se reclasificaron los 20 tipos de cobertura del suelo en tres categorías (Tabla 5) para cuantificar el área de distribución potencial de la especie *Syzygium Jambos* considerando la superficie que abarca el uso del suelo Antrópico de influencia.

**Tabla 5.**

Clasificación de uso del suelo basados en PFT (Plant Funtional Type) bajo escenarios SSP - RCP en 2015 hasta 2100 según categoría.

Clasificación de uso del suelo	Categorías	
Árbol de hoja ancha perenne, tropical (Broadleaf evergreen tree, tropical)	Natural	
Árbol de hoja ancha perenne, templado (Broadleaf evergreen tree, temperate)		
Árbol caducifolio de hoja ancha, tropical (Broadleaf deciduous tree, tropical)		
Árbol caducifolio de hoja ancha, templado (Broadleaf deciduous tree, temperate)		
Árbol caducifolio de hoja ancha, boreal (Broadleaf deciduous tree, boreal)		
Árbol de hoja perenne, templado (Needleleaf evergreen tree, temperate)		
Árbol de hoja perenne, boreal (Needleleaf evergreen tree, boreal)		
Árbol caducifolio de hoja fina (Needleleaf deciduous tree)		
Arbusto de hoja ancha perenne, templado (Broadleaf evergreen shrub, temperate)		
Arbusto caducifolio de hoja ancha, templado (Broadleaf deciduous shrub, temperate)		
Arbusto caducifolio de hoja ancha, boreal (Broadleaf deciduous shrub, boreal)		
Hierba C3, ártica (C3 grass, arctic)		Antrópico de no influencia
Hierba C3 (C3 grass)		
Hierba C4 (C4 grass)		
Hierba mixta C3/C4 (Mixed C3/C4 grass)		
Cultivos (Cropland)	Antrópico de influencia	
Suelo desnudo (Barren)		
Urbano (Urban)		
Agua (Water)		
Nieve y hielo permanentes (Permanent snow and ice)		

Fuente: (Chen et al. 2022)

#### **5.4. Análisis Estadístico**

No todas las variables bioclimáticas y topográficas con las que se trabajó son adecuadas para generar un modelo óptimo, logrando algunas resultar de más utilidad para una especie que para otras, deben pasar filtros estadísticos que ofrezcan confianza en el uso de los resultados (Macías, 2016). Con ayuda del software de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R Core Team v4.1.3 2022, se eligieron las variables que serán utilizadas, por medio de métodos para eliminar la multicolinealidad y sobre ajuste de los modelos, estos que se encuentran en las librerías “corrplot” y “ecospat” para correlación, y “usdm” para VIF.

Para el primer método se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson por pares de variables con un umbral de 0.7. Este umbral es una medida aceptable para minimizar la multicolinealidad de los modelos ajustados (Dormann et al., 2013). Posteriormente, se calculó el factor de inflación de la varianza (VIF), el cual proporciona una medida que permite estimar las variables menos colineales, dicho valor debe ser  $VIF < 10$  para el primer análisis y  $VIF < 5$  para el segundo (Carmona y García, 2019).

## 6. Resultados

### 6.1. Distribución potencial actual y futura de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador, bajos distintos contextos climáticos

Para alcanzar el primer objetivo, se obtuvieron un total de 410 puntos de presencias de la especie *Syzygium jambos*. La mayoría de los datos proceden de investigaciones anteriores, y el resto se ha obtenido del portal web GBIF.

Para las variables bioclimáticas y topográficas utilizadas, se realizó la correlación de Pearson por pares de variables con el fin de eliminar la multicolinealidad y el sobre ajuste de los modelos, y se excluyeron todas las variables por encima de un umbral de 0.7 (Anexo 3). El segundo método utilizado fue el factor de inflación de la varianza (VIF), que se calculó como  $VIF < 10$  para el primer análisis y  $VIF < 5$  para un segundo análisis. Los resultados de estos análisis mostraron que había un total de ocho variables biofísicas a considerar para los modelos (Tabla 6).

**Tabla 6.**

Variables a considerar – Análisis VIF.

Variables	VIF
Aspect: Aspecto	1.139817
Bio15: Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	3.747893
Bio18: Precipitación del trimestre más cálido	3.200218
Bio19: Precipitación del cuarto más frío	2.184412
Bio2: Rango medio de temperatura diurna	1.696840
Bio3: Isotermalidad (BIO2 / BIO7) ( $\times 100$ )	1.849848
Bio5: Temperatura máxima del mes más cálido	1.922137
Slope: Pendiente	1.289332

Fuente: El autor

La Tabla 7 expone los resultados de la evaluación de la capacidad de predicción de las técnicas de modelización en la prueba TSS y ROC, los resultados revelan 6 técnicas de modelación mayor al 0.80 en ambos análisis. Estos resultados sugieren que el rendimiento del modelo en la representación de la distribución potencial de la especie *Syzygium Jambos* es alto con una mayor probabilidad a la realidad.

**Tabla 7.**

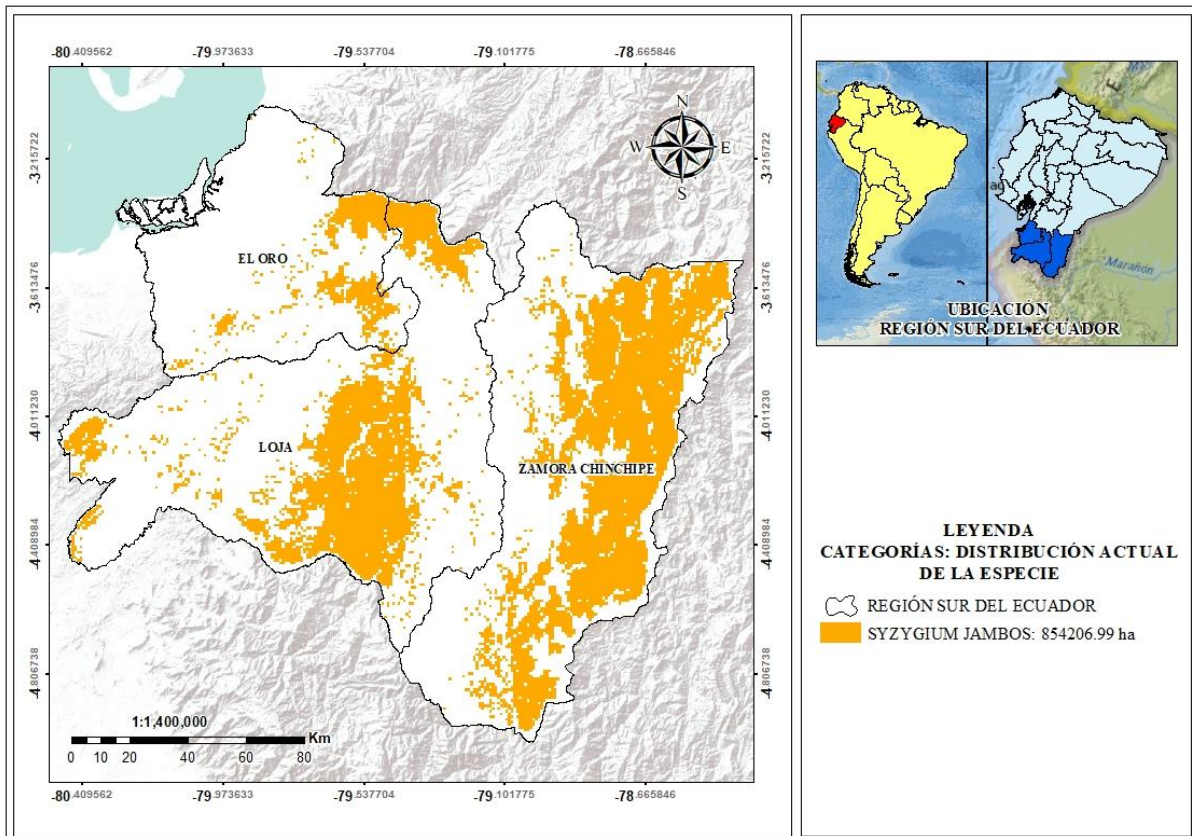
Evaluación de las técnicas de modelación con los métodos ROC y TSS.

Modelo	ROC	TSS
GLM	0.97	0.858
GBM	0.983	0.896
GAM	0.982	0.871
CTA	0.953	0.834
MARS	0.977	0.871
RF	0.972	0.849

Fuente: El autor

El área de distribución potencial actual de la especie *Syzygium jambos*, en la Región Sur del Ecuador (Figura 2), fue de 854206.99 ha correspondientes al 31.16 % de la superficie total de la RSE. Donde la provincia de Zamora Chinchipe obtuvo mayor área potencial de distribución con 471813.34 ha (55.23 %), seguido por la provincia de Loja con 316903.98 ha (37.10 %) y El Oro con 65489.68 ha (7.67 %) en función de la distribución actual de la especie.

**Figura 2.**  
Distribución potencial Actual de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE.



Fuente: El autor

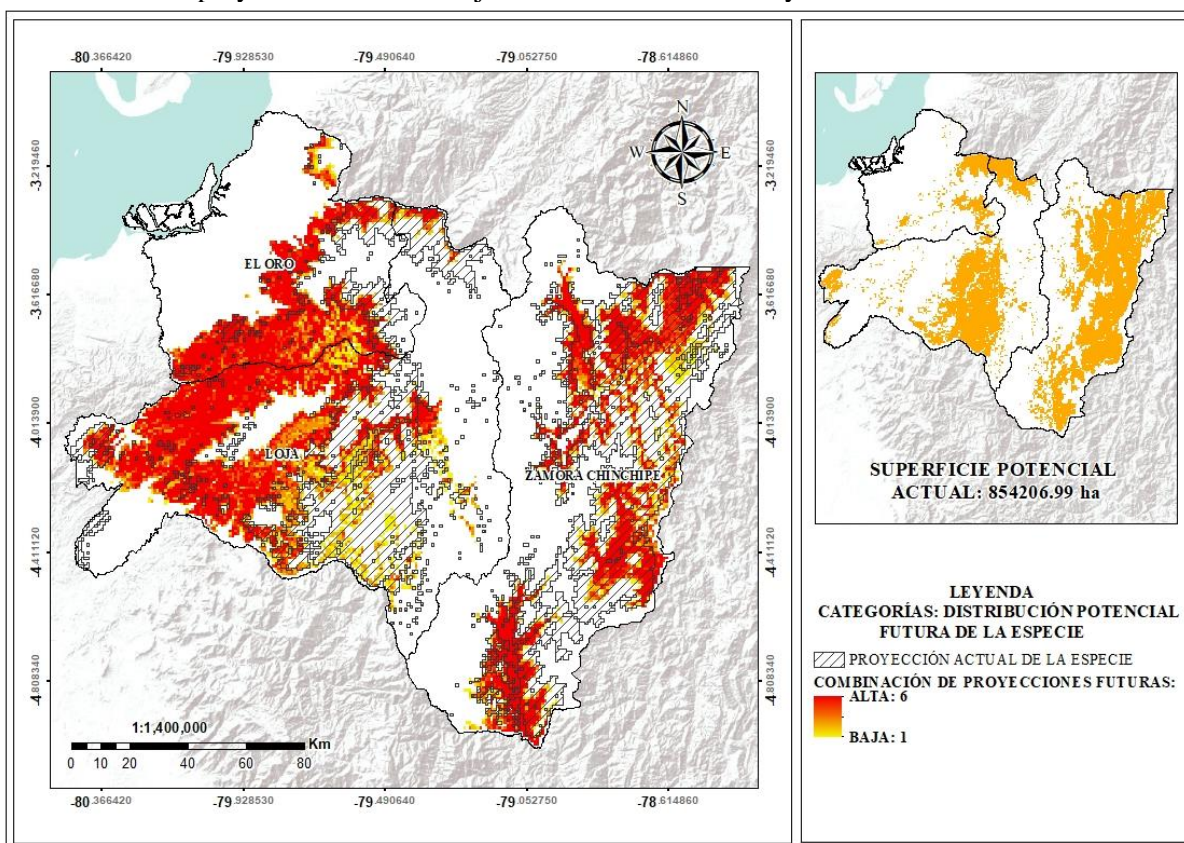
Los modelos de distribución potencial futura de la especie *Syzygium Jambos* para los años 2030, 2050 y 2080 en los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 tienden a mantenerse casi estables en cuanto a la superficie potencial en comparación con la superficie potencial actual (Tabla 8), pero la especie se redistribuye en dirección a nuevas zonas de la RSE. (Figura 3).

**Tabla 8.**  
Superficie actual y futura de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE.

Escenario	Distribución Potencial	
	ha	%
Actual	854206.99	31.16
2030 RCP 4.5	710242.19	25.91
2030 RCP 6.0	606270.16	22.11
2050 RCP 4.5	767963.84	28.01
2050 RCP 6.0	731819.04	26.69
2080 RCP 4.5	816534.90	29.78
2080 RCP 6.0	906064.67	33.05

Fuente: El autor

**Figura 3.**  
Combinación de proyecciones futuras bajo los escenarios RCP 4.5 y 6.0.



Fuente: El autor

La distribución potencial en 2030 bajo el escenario climático RCP 4.5 (Anexo 9) muestra una probabilidad de pérdida de -572880.63 ha (-67.07 %), el aumento de la superficie en este escenario es de 428915.81 ha (50.21 %), con una persistencia de 281326.41 ha (32.93 %) en función de la distribución actual de la especie. Para el escenario RCP 6.0 la distribución potencial en 2030 (Anexo 10) tiene una probabilidad de pérdida de -629615.75 ha (-73.71 %),

las ganancias de la superficie en este escenario son de 381678.83 ha (44.68 %) y las persistencias conforman 224591.32 ha (26.29 %).

La probabilidad de la distribución potencial para el año 2050 bajo el escenario climático RCP 4.5 (Anexo 11), indica pérdidas que son de -540224.10 ha (-63.24 %), el aumento en la superficie es de 453980.91 ha (53.15 %), en cuanto al área que persiste es de 313982.93 ha (36.76 %). Para el año 2050 bajo el escenario climático RCP 6.0 (Anexo 12) indica una probabilidad de pérdida de -556417.03 ha (-65.14 %), el incremento de la superficie bajo este escenario es de 434029.07 ha (50.81 %), con una persistencia de 297789.99 ha (34.86 %) con respecto a la distribución actual de la especie.

Finalmente, para el año 2080 la probabilidad de la distribución potencial bajo el escenario climático RCP 4.5 (Anexo 13) presenta pérdidas de -491067.50 ha (-57.49 %), con ganancias de 453395.35 ha (53.08 %) y persistencias de 363139.53 ha (42.51 %) con respecto a la distribución actual de la especie *Syzygium Jambos*. Por otra parte, el escenario climático RCP 6.0 para el año 2080 (Anexo 14) señala pérdidas de -439815.93 ha (-51.49 %), ganancias de en la superficie de 491673.58 ha (57.56 %) y las persistencias que conforman 414391.09 ha (48.51 %) con respecto a la distribución actual de la especie.

**Tabla 9.**  
Descripción de los escenarios.

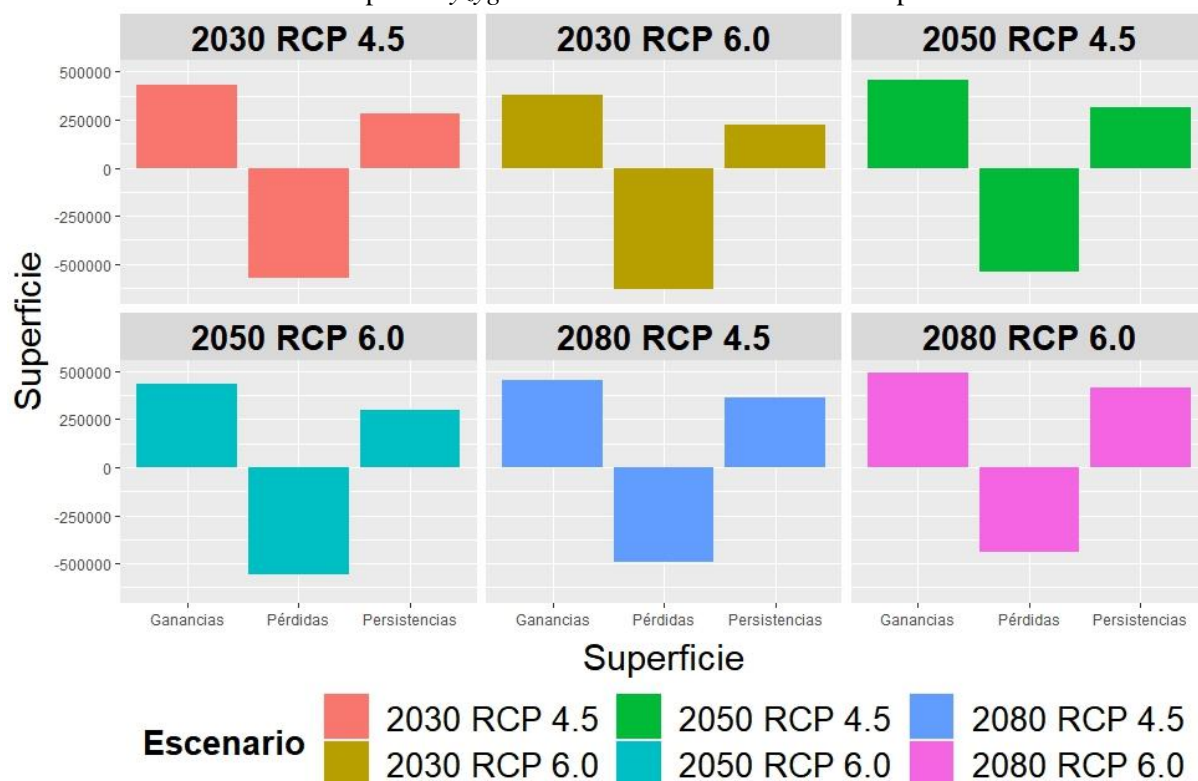
Escenario	Área (ha)	Área (%)	Descripción
<b>2030 RCP 4.5</b>	428915.81	50.21	Ganancias
	-572880.63	-67.07	Pérdidas
	281326.41	32.93	Persistencias
<b>2030 RCP 6.0</b>	381678.83	44.68	Ganancias
	-629615.75	-73.71	Pérdidas
	224591.32	26.29	Persistencias
<b>2050 RCP 4.5</b>	453980.91	53.15	Ganancias
	-540224.10	-63.24	Pérdidas
	313982.93	36.76	Persistencias
<b>2050 RCP 6.0</b>	434029.07	50.81	Ganancias
	-556417.03	-65.14	Pérdidas
	297789.99	34.86	Persistencias
<b>2080 RCP 4.5</b>	453395.35	53.08	Ganancias
	-491067.50	-57.49	Pérdidas
	363139.53	42.51	Persistencias
<b>2080 RCP 6.0</b>	491673.58	57.56	Ganancias
	-439815.93	-51.49	Pérdidas
	414391.09	48.51	Persistencias

Fuente: El autor



**Figura 4.**

Distribución Potencial de la especie *Syzygium Jambos* en relación con su superficie.



Fuente: El autor

En la tabla 10 se muestran los intervalos de Temperatura media anual, precipitación anual en mm y la altitud del escenario actual y los escenarios futuros en los que probablemente se encuentre distribuida la especie *Syzygium Jambos*, en la cual se puede apreciar que los rangos de temperatura no presentan cambios mayoritarios en los escenarios futuros, encontrándose siempre en un intervalo neutro y aceptable. De igual forma la precipitación no muestra cambios extremos que puedan afectar a la distribución de la especie.

**Tabla 10.**

Descripción por escenario de los intervalos de temperatura anual, precipitación anual y altitud, de la especie *Syzygium Jambos*.

Escenario	Descripción		
	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Altitud (m.s.n.m.)
<b>Actual</b>	6.75 – 24.85	420.20 – 3170.50	169 – 3456
<b>2030 RCP 4.5</b>	21.67 – 26.03	810.67 – 2907.33	330 – 1671
<b>2030 RCP 6.0</b>	21.70 – 25.90	782.33 – 2916.00	309 – 1671
<b>2050 RCP 4.5</b>	21.87 – 26.33	842.00 – 3029.67	312 – 1746
<b>2050 RCP 6.0</b>	21.87 – 26.20	855.33 – 2969.67	309 – 1671
<b>2080 RCP 4.5</b>	21.80 – 26.63	793.33 – 3137.33	314 – 1746
<b>2080 RCP 6.0</b>	21.87 – 26.87	858.33 – 3170.67	332 – 1791

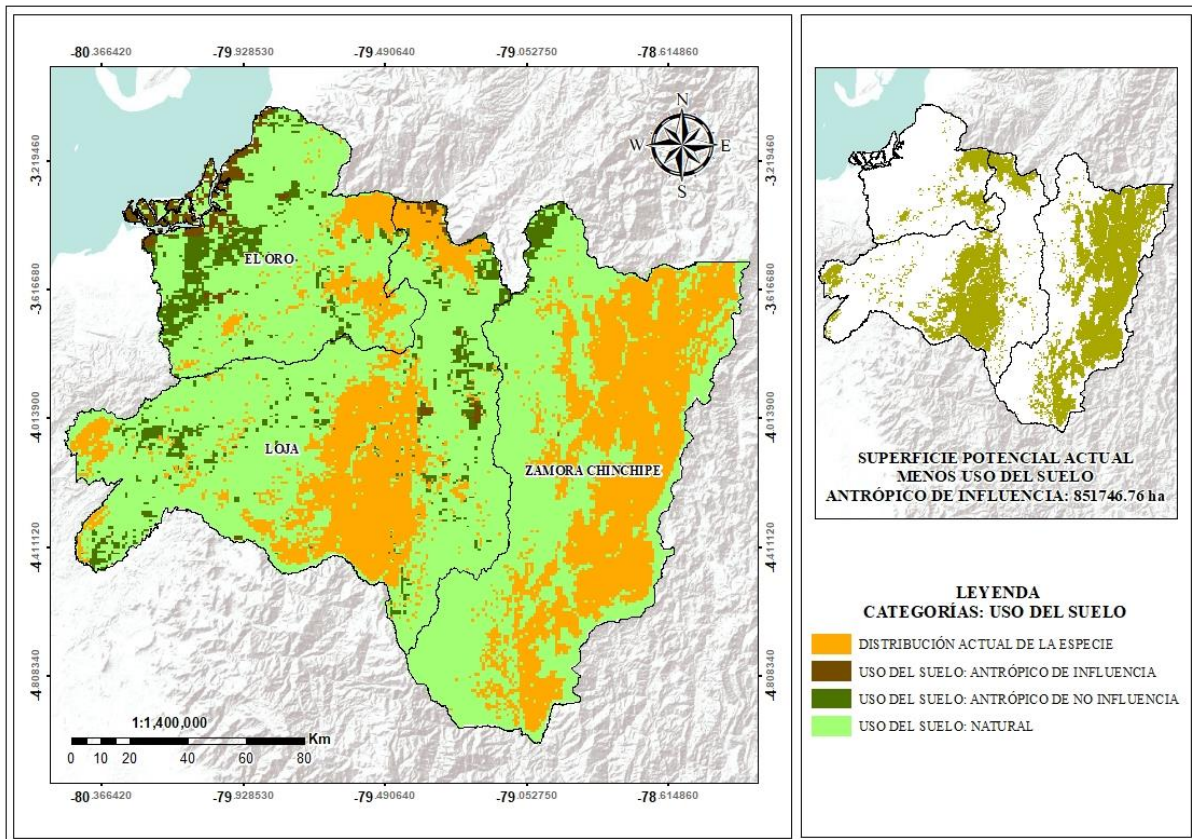
Fuente: El Autor

## 6.2. Comparación de modelos: cambios de uso del suelo y distribución de la especie *Syzygium Jambos*, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080

Bajo el escenario actual, la superficie potencial de la especie *Syzygium Jambos* menos el cambio de uso del suelo antrópico de influencia en la región sur de Ecuador es de 851746.76 ha. Solo un 0.29 % menor que la superficie del modelo de distribución actual. La provincia de Zamora Chinchipe presenta mayor área de cobertura potencial con 471789.56 ha (55.39 %), seguida de la provincia de Loja con 314488.16 ha (36.92 %) y 65469.04 ha (7.69 %) en la provincia de El Oro, en función de la distribución actual de la especie menos el uso del suelo. Siendo la provincia de Loja la que resultó más afectada al mermar el uso del suelo antrópico de influencia de la superficie potencial actual.

**Figura 5.**

Uso del suelo y distribución actual de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE.



Fuente: El Autor

La siguiente Tabla presenta comparaciones detalladas de la superficie cuando se resta el uso del suelo antrópico de influencia de los modelos de distribución potencial de la especie actual y para los años 2030, 2050 y 2080 en la región del sur de Ecuador bajo los escenarios de



cambio climático RCP 4.5 y 6.0. El porcentaje se encuentra en función de la superficie total de la región sur del Ecuador.

**Tabla 11.**

Distribución Potencial actual y futuras menos uso del suelo.

Escenario	Distribución Potencial		Distribución potencial menos uso del suelo	
	ha	%	ha	%
<b>Actual</b>	854206.99	31.16	851746.76	31.07
<b>2030 RCP 4.5</b>	710242.19	25.91	708264.40	25.84
<b>2030 RCP 6.0</b>	606270.16	22.11	603903.92	22.03
<b>2050 RCP 4.5</b>	767963.84	28.01	765503.11	27.92
<b>2050 RCP 6.0</b>	731819.04	26.69	729355.69	26.60
<b>2080 RCP 4.5</b>	816534.90	29.78	814136.01	29.70
<b>2080 RCP 6.0</b>	906064.67	33.05	903591.22	32.96

Fuente: El Autor

## 7. Discusión

### 7.1. Modelar las zonas de distribución potencial actual y futura de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador

#### 7.1.1. Modelo de distribución potencial actual

A partir de los resultados encontrados en el presente estudio se estableció que la distribución potencial actual de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE se concentró en su mayoría en la provincia de Zamora Chinchipe, seguido por la provincia de Loja y de forma limitada se distribuye en El Oro (Figura 2). Esto es corroborado por Patel et al. (2017) quienes indican que, aunque la especie florece en condiciones climáticas tropicales o casi tropicales, donde está ampliamente distribuida, ha demostrado ser lo suficientemente resistente como para cultivarse y establecer sus poblaciones en condiciones agroclimáticas variadas.

#### 7.1.2. Modelos de distribución potencial futuros

Se estima que el cambio climático podría causar importantes modificaciones a los actuales ecosistemas, por ejemplo, las especies vegetales van a aumentar o disminuir su área de distribución potencial en distinta proporción, provocando diferentes respuestas como: desplazamientos, adaptación y/o extinción (Cuesta et al., 2006; Delgado, 2008). Para el caso de la especie *Syzygium Jambos* se podría esperar que bajo un contexto de cambio climático en los escenarios RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080, indicaría tolerancia y una buena adaptabilidad al cambio climático, desplazándose a sitios en los que puede proliferarse de mejor forma, acentuando la mayor parte de la superficie potencial al suroeste de la RSE (Figura 3).

Los rasgos que hacen a una especie ser particularmente vulnerable a las perturbaciones del cambio climático incluyen un rango geográfico estrecho, limitada capacidad de dispersión y un alto grado de especialización del hábitat, es decir, especies que presentan una distribución restringida (Thuiller et al., 2005; Isaac, 2009). A diferencia de lo expuesto por los autores, se podría esperar que la especie *Syzygium jambos* resulte ser menos vulnerable a las perturbaciones provocadas por el cambio climático, según los escenarios RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080, esto se debe a que la superficie de distribución potencial futura permanece en su totalidad inalterada con respecto a la superficie de distribución potencial actual (Tabla 8). Por lo tanto, es probable que las nuevas condiciones climáticas faciliten la redistribución, la formación y, por ende, la adaptación de la especie a nuevos hábitats dentro de la RSE (Anexos 9 al 14).

*Syzygium Jambos* es un árbol longevo que sobrevive entre 40 y 100 años, o incluso más. Puede utilizarse como especie agroforestal en zonas degradadas para proyectos de conservación

del suelo a largo plazo. Debido a su adaptabilidad a regiones con vientos fuertes, como zonas costeras o laderas, también puede utilizarse como planta en zonas expuestas al viento para frenar la erosión eólica (Schmidt, 2009). De acuerdo con el autor, gracias a su capacidad para adaptarse a diferentes regiones y a su longevidad la especie presentó un gran porcentaje de persistencias en cada escenario RCP 4.5 y 6.0 para los diferentes años futuros, se puede indagar que los ejemplares dentro de las persistencias no se han degradado o se han perdido, son los mismos ejemplares presentes en la distribución potencial actual y que siguen vigentes en la distribución potencial futura (Anexo 9 al 14).

#### **7.1.3. Intervalos de precipitación media anual**

Los resultados indican que, en el escenario actual en la región sur del Ecuador la especie se desarrolló en un rango de precipitación media anual que va de 420.20 a 3170.50 mm, mientras que, en los escenarios RCP 4.5 y 6.0 para los años futuros no existe mayor diferencia, puede crecer potencialmente en rangos que van desde 782.33 a 3170.67 mm (Tabla 10). Esto es respaldado por Patel et al. (2017) afirmando que, una precipitación media anual de entre 1200 y 1600 mm favorece el crecimiento de la especie, pero también sobrevive a precipitaciones de hasta 700 mm y de hasta 4000 mm. Además, es preciso señalar que los periodos de sequía prolongados son perjudiciales, ya que es una especie de clima húmedo.

#### **7.1.4. Intervalos de temperatura media anual**

Así mismo, prospera en zonas donde la temperatura diurna anual oscila entre 18 °C a 38 °C, pero puede tolerar 5 °C a 40 °C. Los árboles maduros son bastante resistentes y una vez crecidos pueden tolerar cierto nivel de heladas, pero las plantas jóvenes pueden cubrirse cuando se esperan heladas importantes (Patel et al., 2017). Bajo el mismo contexto, en la región sur del Ecuador la distribución potencial actual de la especie prosperó en zonas donde la temperatura va de un rango de 6.75 °C a 24.85 °C, aunque, para las distribuciones futuras bajo los escenarios RCP 4.5 y 6.0 la temperatura media anual aumenta y puede oscilar en rangos de 21.67 °C a 26.87 °C (Tabla 10).

#### **7.1.5. Intervalos altitudinales**

Patel et al. (2017) mencionan que en Ecuador la especie *Syzygium Jambos* crece en regiones situadas a una altitud de hasta 2300 m.s.n.m., en altitudes más elevadas el árbol crece vigorosamente pero no da frutos. Señalando lo expuesto por los autores, dentro de la RSE la especie en su distribución actual ha presentado altitudes de 169 a 3456 m.s.n.m. Sin embargo, las proyecciones hacia los años futuros bajo los dos escenarios climáticos (RCP 4.5 y 6.0)

indican que se desarrolló en altitudes diferentes, pero dentro de un mismo rango que se encuentra entre 309 a 1791 m.s.n.m. (Tabla 10).

## **7.2. Comparar los modelos de cambio de uso del suelo con los modelos de distribución potencial de la especie *Syzygium jambos***

### **7.2.1. *Uso del suelo***

Al emplear los escenarios SSP2 - RCP 4.5 y SSP4 - RCP 6.0 basados en el PFT (Plant Functional Type) respectivamente para el presente (Figura 5); y, para los años futuros se logró demostrar que la especie se desarrolla en su mayoría dentro de la cobertura de Árbol de hoja ancha perenne, tropical (Broadleaf evergreen tree, tropical) perteneciente a la categoría de uso del suelo natural. Por esta razón, los árboles maduros e incluso las plántulas o arboles jóvenes de la especie *Syzygium Jambos* toleran la sombra y tienen capacidad de establecer su población bajo el dosel forestal, donde la sombra de los árboles altos impide la regeneración de muchas especies. Como resultado, se la puede ver en muchos lugares con arboledas monoespecíficas (Huenneke y Vitousek, 1990; MacDonald et al., 1991; Kingston y Waldren, 2003; Lugo, 2004).

### **7.2.2. *Distribución Potencial actual y futuras menos uso del suelo***

Un suelo profundo, franco y bien drenado es ideal para la especie, pero crece en casi cualquier tipo de suelo y también florece en suelos arenosos que contienen muy poca materia orgánica. El establecimiento en regiones inundables, islas y bosques ribereños indica su tolerancia a los niveles altos de agua subterránea, las situaciones de anegamiento y los suelos mal drenados. Son comunes en las regiones costeras de muchos países, pero el árbol puede requerir agua dulce para su establecimiento inicial, ya que las plántulas de las especies no sobrevivirían en las condiciones de un suelo costero (Seethalakshmi et al., 2010). Por tal motivo, en la RSE el cambio de uso del suelo en los escenarios SSP2 - RCP 4.5 y SSP4 - RCP 6.0 no alteraría la distribución actual o futura de la especie en su totalidad. Al momento de sustraer el uso del suelo antrópico de influencia (Urbano, Agua, Suelo desnudo, Nieve y hielo permanentes) de la distribución potencial actual y futura de la especie se puede denotar que la superficie permaneció casi intacta, perdiendo solo un porcentaje mínimo (Tabla 11).

## 8. Conclusiones

- Se logró modelar eficientemente las zonas de distribución potencial actual y futura de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador bajo distintos contextos climáticos, estableciendo que el escenario más idóneo es el RCP 6.0 para el año 2080 debido a que la superficie aumentará potencialmente, existiendo ganancias del 57.56 % (491673.58 ha) y persistencias del 48.51 % (414391.09 ha) en función de la distribución potencial actual, convirtiéndose en el escenario que menos pérdidas obtuvo de todos, con un -51.49 % (-439815.93 ha) (Anexo 14). Por otro lado, el escenario RCP 6.0 para el año 2030 es el que mayor porcentaje de pérdidas obtuvo, con un -73.71 % (-629615.75 ha) en función del escenario actual, obteniendo solo un 44.68 % (381678.83 ha) de ganancias y un 26.29 % (224591.32 ha) de persistencias (Anexo 10), convirtiéndose en el escenario menos apto para distribución de la especie.
- Se Analizó la dinámica de uso del suelo sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* en la Región Sur del Ecuador bajo distintos escenarios climáticos, donde se determinó que el cambio climático afecta la distribución de la especie acentuándose potencialmente en la parte suroeste en los escenarios climáticos futuros, pero, el cambio de uso del suelo no alteró en su totalidad la distribución de la especie actual o futura. La distribución potencial actual posee una superficie del 31.16 % (854206.99 ha) en función de la superficie total de la RSE, si mermamos el uso del suelo antrópico de influencia (Urbano, Agua, Suelo desnudo, Nieve y hielo permanentes) queda una superficie del 31.07 % (851746.76 ha) en función de la superficie total de la RSE, demostrando que el cambio de uso del suelo no afecta en su mayoría a la distribución potencial debido a la capacidad de adaptabilidad de la especie a condiciones agroclimáticas variadas y a diferentes hábitats. De igual forma, para la distribución futura bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 el uso del suelo antrópico de influencia solo disminuye un mínimo porcentaje el área potencial de la especie *Syzygium Jambos* (Tabla 11).

## **9. Recomendaciones**

- Los modelos de distribución de especies son herramientas muy útiles en muchos aspectos, se recomienda aplicarlos a la predicción de escenarios de cambio climático, la búsqueda de nuevas zonas y regiones con condiciones climáticas similares a las actuales o para la mejora de los planes de reforestación y la adquisición de nuevas zonas para el desarrollo de especies agroforestales endémicas.
- Es aconsejable tener conocimiento del uso de los SIG, R Studio y la biblioteca Biomod2. Son requisitos previos esenciales para quienes deseen trabajar con los modelos de distribución potencial.
- Si existen problemas con la evaluación de las técnicas de modelación y no consiguen llegar a un rango adecuado en los métodos ROC y TSS, se puede ampliar el área de modelización donde se encuentran los registros de presencia de especies para obtener una mejor y más confiable evaluación.

## 10. Bibliografía

- Accadia, C., Mariani, S., Casaioli, M., & Speranza, A. (2005). Verification of Precipitation Forecasts from Two Limited-Area Models over Italy and Comparison with ECMWF Forecasts Using a Resampling Technique. *Weather and Forecasting*, 20(3), 276–300. <https://doi.org/10.1175/waf854.1>
- Aguirre, Z. H., Cango, L. y Quizhpe. Wilson. (2021). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso del bosque Huashapamba, Loja, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(1), 1–16. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/670/html>
- Allen, K., Dupuy, J. M., Gei, M. G., Hulshof, C., Medvigy, D., Pizano, C., Salgado-Negret, B., Smith, C. M., Trierweiler, A., Van Bloem, S. J., Waring, B. G., Xu, X., & Powers, J. S. (2017). Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes? *Environmental Research Letters*, 12(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5968>
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Alonso, S. (2018). *Optimización de un método para la determinación de acrilamida mediante espectroscopía de fluorescencia molecular y técnicas multivariantes* [Universidad de Burgos]. <http://hdl.handle.net/10259/4980>
- Anderson, R. P., Gómez, M., & Peterson, A. T. (2002). Geographical distributions of spiny pocket mice in South America: insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography*, 11(2), 131–141. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2002.00275.x>
- Anderson, R. P., Lew, D., & Peterson, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162, 211–232. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00349-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00349-6)
- Araújo, M. B., & Luoto, M. (2007). The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16(6), 743–753. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00359.x>
- Araújo, M. B., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 22, Issue 1, pp. 42–47). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>

- Araújo, M. B., & Pearson, R. G. (2005). Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography*, 28(5), 693–695. <https://doi.org/10.1111/j.2005.0906-7590.04253.x>
- Araújo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W., & Erhard, M. (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11(9), 1504–1513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001000.x>
- Araújo, M. B., Thuiller, W., & Pearson, R. G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1712–1728. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01482.x>
- Araújo, M. B., Thuiller, W., Williams, P. H., & Reginster, I. (2005). Downscaling European species atlas distributions to a finer resolution: implications for conservation planning. *Global Ecology and Biogeography*, 14, 17–30. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2004.00128.x>
- Araújo, M. B., & Williams, P. H. (2000). Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biological Conservation*, 96(3), 331–345. [https://doi.org/10.1016/s0006-3207\(00\)00074-4](https://doi.org/10.1016/s0006-3207(00)00074-4)
- Baldwin, R. A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11(4), 854–866. <https://doi.org/10.3390/e11040854>
- Balthazar, V., Vanacker, V., Molina, A., & Lambin, E. F. (2015). Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. *Ecological Indicators*, 48, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.043>
- Barbet, M., Walther, B. A., Thuiller, W., Rahbek, C., & Jiguet, F. (2009). Potential impacts of climate change on the winter distribution of Afro-Palaeartic migrant passerines. *Biology Letters*, 5(2), 248–251. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2008.0715>
- Beaumont, L. J., Gallagher, R. v., Thuiller, W., Downey, P. O., Leishman, M. R., & Hughes, L. (2009). Different climatic envelopes among invasive populations may lead to underestimations of current and future biological invasions. *Diversity and Distributions*, 15(3), 409–420. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00547.x>
- Benito, B. y Peñas, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional De Ciencia Y Tecnología De La Información Geográfica*, 7, 100–119. <https://www.researchgate.net/publication/28186522>



- Benito, M. (2006). *El efecto del cambio climático sobre las distribuciones de los bosques ibéricos: Pasado, presente y futuro* [Universidad Autónoma de Madrid]. <http://hdl.handle.net/10486/2564>
- Benito, M., Sánchez de Dios, R., & Sáinz, H. (2007). Predictive modelling of tree species distributions on the Iberian Peninsula during the Last Glacial Maximum and Mid-Holocene. *Ecography*, 30(1), 120–134. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04813.x>
- Botkin, D. B., Saxe, H., Araújo, M. B., Betts, R., Bradshaw, R. H. W., Cedhagen, T., Chesson, P., Dawson, T. P., Etterson, J. R., Faith, D. P., Ferrier, S., Guisan, A., Hansen, A. S., Hilbert, D. W., Loehle, C., Margules, C., New, M., Sobel, M. J., & Stockwell, D. R. B. (2007). Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *BioScience*, 57(3), 227–236. <https://doi.org/10.1641/B570306>
- Bourg, N. A., Mcshea, W. J., & Gill, D. E. (2005). Putting a cart before the search: successful habitat prediction for a rare forest herb. *Ecology*, 86(10), 2793–2804. <https://doi.org/10.1890/04-1666>
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>
- Broennimann, O., Treier, U. A., Müller-Schärer, H., Thuiller, W., Peterson, A. T., & Guisan, A. (2007). Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecology Letters*, 10(8), 701–709. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01060.x>
- Brunschön, C., & Behling, H. (2010). Reconstruction and visualization of upper forest line and vegetation changes in the Andean depression region of southeastern Ecuador since the last glacial maximum - A multi-site synthesis. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 163(1–2), 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2010.10.005>
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, 15(1), 1–22. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>
- Busby, J. R. (1991). BIOCLIM-a bioclimate analysis and prediction system. in (eds. CR Margules and MP Austin) Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis. *Canberra: CSIRO*, 64–68.
- Carmona, S. y García, J. M. (2019). Determinación de la distribución espacial de la especie arbórea *astronium graveolens* jacq. Y su importancia de conservación ambiental en antioquia. *Revista Politécnica*. <https://hdl.handle.net/10495/13705>

- Castro, S. M., Sanchez-Azofeifa, G. A., & Sato, H. (2018). Effect of drought on productivity in a Costa Rican tropical dry forest. *Environmental Research Letters*, *13*(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaacbc>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Soberón, J., Salazar, I., & Fay, J. (2005). Global mammal conservation: what must we manage? *Science*, *309*(5734), 603–607. <https://doi.org/10.1126/science.1114015>
- Cerda, J. y Cifuentes, L. (2012). Uso de curvas ROC en investigación clínica. Aspectos teórico-prácticos. *Revista Chilena de Infectología*, *29*(2), 138–141. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182012000200003>
- Chen, G., Li, X., & Liu, X. (2022). Global land projection based on plant functional types with a 1-km resolution under socio-climatic scenarios. *Scientific Data*, *9*(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01208-6>
- Cuesta, F., Ganzenmüller, A., Peralvo, M. F., Sáenz, M., Novoa, J., & Riofrío, G. (2006). Predicting specie's niche distribution shifts and biodiversity change within climate change scenarios. A regional assessment for bird and plant species in the Northern Tropical Andes. *Nacional Institute for Public Heath and the Environment (RIVM-NEAA). EcoCiencia/MNP\_Andes*, 1–36.
- Cumming, G. S. (2000). Using habitat models to map diversity: pan-African species richness of ticks (Acari: Ixodida). *Journal of Biogeography*, *27*, 425–440. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00419.x>
- Curatola, G. F., Obermeier, W. A., Gerique, A., López, M. F., Lehnert, L. W., Thies, B., & Bendix, J. (2015). Land cover change in the Andes of southern Ecuador-Patterns and drivers. *Remote Sensing*, *7*(3), 2509–2542. <https://doi.org/10.3390/rs70302509>
- Danks, F. S., & Klein, D. R. (2002). Using GIS to predict potential wildlife habitat: A case study of muskoxen in northern Alaska. *International Journal of Remote Sensing*, *23*(21), 4611–4632. <https://doi.org/10.1080/01431160110113890>
- Davis, A. J., Jenkinson, L. S., & Lawton, J. H. (1998). Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, *391*, 783–786. <https://doi.org/10.1038/35842>
- Deblauwe, V., Barbier, N., Couteron, P., Lejeune, O., & Bogaert, J. (2008). The global biogeography of semi-arid periodic vegetation patterns. *Global Ecology and Biogeography*, *17*(6), 715–723. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00413.x>

- Delgado, T. (2008). *Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global. Memoria de Tesis Doctoral* [Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/12066/>
- Delgado, Tania., Muñoz, J. y Felicísimo, A. (2011). *Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global*. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/12066/>
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J. R. G., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P. J., Münkemüller, T., Mcclean, C., Osborne, P. E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D., & Lautenbach, S. (2013). Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Dormann, C. F., Purschke, O., García, J. R., Lautenbach, S., & Schröder, B. (2008). Components of uncertainty in species distribution analysis: a case study of the great grey shrike. *Ecology*, 89(12), 3371–3386. <https://doi.org/10.1890/07-1772.1>
- Early, R., Anderson, B., & Thomas, C. D. (2008). Using habitat distribution models to evaluate large-scale landscape priorities for spatially dynamic species. *Journal of Applied Ecology*, 45(1), 228–238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01424.x>
- Elith, J., Burgman, M. A., & Regan, H. M. (2002). Mapping epistemic uncertainties and vague concepts in predictions of species distribution. *Ecological Modelling*, 157(2–3), 313–329. [https://doi.org/10.1016/s0304-3800\(02\)00202-8](https://doi.org/10.1016/s0304-3800(02)00202-8)
- Elith, J., & Graham, C. H. (2009). Do they? How do they? WHY do they differ? on finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography*, 32(1), 66–77. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05505.x>
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC Overton, J., Townsend Peterson, A., ... H Graham, C. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *ECOGRAPHY*, 29(2), 129–151. <https://doi.org/doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 677–697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>

- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, *17*(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Elmore, K. L., Weiss, S. J., & Banacos, P. C. (2003). Operational Ensemble Cloud Model Forecasts: Some Preliminary Results. *Weather and Forecasting*, *18*(5), 953–964. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2003\)018<0953:oecmfs>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2003)018<0953:oecmfs>2.0.co;2)
- Felicísimo, A. M., Francés, E., Fernández, J. M., González, A., & Varas, J. (2002). Modeling the Potential Distribution of Forests with a GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, *68*(5), 455–461. [https://doi.org/0099-1112/02/6805-455\\$3.00](https://doi.org/0099-1112/02/6805-455$3.00)
- Felicísimo, A. M., Gómez, A., & Muñoz, J. (2005). Potential distribution of forest species in dehesas of Extremadura (Spain). In S. Schnabel & A. Ferreira (Eds.), *Sustainability of agrosilvopastoral systems-dehesa. Advances in GeoEcology* (Vol. 37, pp. 231–246). Catena Verlag: Reiskirchen. <http://hdl.handle.net/10261/16060>
- Felicísimo, M., Muñoz, J., Mateo, R. G., & Villalba, C. J. (2011). Vulnerability of the Spanish flora, vegetation to climate change. *Ecosistemas*, *21*(3), 1–6. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.01>
- Ferrier, S., Manion, G., Elith, J., & Richardson, K. (2007). Using generalized dissimilarity modelling to analyse and predict patterns of beta diversity in regional biodiversity assessment. *Diversity and Distributions*, *13*(3), 252–264. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00341.x>
- Fitzpatrick, M. C., Weltzin, J. F., Sanders, N. J., & Dunn, R. R. (2007). The biogeography of prediction error: why does the introduced range of the fire ant over-predict its native range? *Global Ecology and Biogeography*, *16*(1), 24–33. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2006.00258.x>
- Flather, C. H., Wilson, K. R., Dean, D. J., & McComb, W. C. (1997). Identifying gaps in conservation networks: of indicators and uncertainty in geographic-based analyses. *Ecological Applications*, *7*(2), 531–542. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0531:IGICNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0531:IGICNO]2.0.CO;2)
- Freeman, E. A., & Moisen, G. G. (2008). A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa. *Ecological Modelling*, *217*(1–2), 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.05.015>
- García, G., March, I. y Castillo, M. A. (2001). Transformación de la vegetación por cambio de uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Cam peche Vegetation change

- resulting from the change in soil use in the Calakmul Biosphere Reserve, Campeche. *Investigaciones Geográficas Boletín Del Instituto de Geografía UNAM*, 46, 45–57. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112001000300005&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112001000300005&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Gaubert, P., Papeş, M., & Peterson, A. T. (2006). Natural history collections and the conservation of poorly known taxa: Ecological niche modeling in central African rainforest genets (*Genetta* spp.). *Biological Conservation*, 130(1), 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.12.006>
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2), 143–150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- Godown, M. E., & Peterson, A. T. (2000). Preliminary distributional analysis of US endangered bird species. *Biodiversity and Conservation*, 9, 1313–1322. <https://doi.org/10.1023/a:1008924322405>
- Guisan, A., Broennimann, O., Engler, R., Vust, M., Yoccoz, N. G., Lehmann, A., & Zimmermann, N. E. (2006). Using niche-based models to improve the sampling of rare species. *Conservation Biology*, 20(2), 501–511. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00354.x>
- Guisan, A., Edwards, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157(2–3), 89–100. [https://doi.org/doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00204-1](https://doi.org/doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00204-1)
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Guisan, A., Zimmermann, N. E., Elith, J., Graham, C. H., Phillips, S., & Peterson, A. A. T. (2007). What matters for predicting the occurrences of trees: techniques, data, or species' characteristics? *Ecological Monographs*, 77(4), 615–630. <https://doi.org/10.1890/06-1060.1>
- Gutiérrez, D., Fernández, P., Seymour, A. S., & Jordano, D. (2005). Habitat distribution models: are mutualist distributions good predictors of their associates? *Ecological Applications*, 15(1), 3–18. <https://doi.org/10.1890/03-5344>

- Hall, J. M., van Holt, T., Daniels, A. E., Balthazar, V., & Lambin, E. F. (2012). Trade-offs between tree cover, carbon storage and floristic biodiversity in reforesting landscapes. *Landscape Ecology*, 27(8), 1135–1147. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9755-y>
- Hampe, A. (2004). Bioclimate envelope models: what they detect and what they hide. *Global Ecology and Biogeography*, 13(5), 469–471. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2004.00090.x>
- Hannah, L., Midgley, G., Anelman, S., Araújo, M., Hughes, G., Martinez-Meyer, E., Pearson, R., & Williams, P. (2007). Protected area needs in a changing climate. *Front Ecol Environ*, 5(3), 131–138. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[131:PANIAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[131:PANIAC]2.0.CO;2)
- Hansen, A. J., Neilson, R. P., Dale, V. H., Flather, C. H., Iverson, L. R., Currie, D. J., Shafer, S., Cook, R., & Bartlein, P. J. (2001). Global change in forests: Responses of species, communities, and biomes. *BioScience*, 51(9), 765–779. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0765:GCIFRO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0765:GCIFRO]2.0.CO;2)
- Hebblewhite, M., Merrill, E. H., & McDonald, T. L. (2005). Spatial decomposition of predation risk using resource selection functions: an example in a wolf  $\lambda$  /elk predator  $\lambda$  /prey system. *Oikos*, 111(1), 101–111. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13858.x>
- Herborg, L. M., O’Hara, P., & Therriault, T. W. (2009). Forecasting the potential distribution of the invasive tunicate *Didemnum vexillum*. *Journal of Applied Ecology*, 46(1), 64–72. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01568.x>
- Hernández, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., & Albert, D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29(5), 773–785. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hirzel, A. H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C., & Guisan, A. (2006). Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling*, 199(2), 142–152. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.017>
- Hortal, J. (2008). Uncertainty and the measurement of terrestrial biodiversity gradients. *Journal of Biogeography*, 35(8), 1335–1336. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01955.x>
- Hortal, J., Garcia-Pereira, P., & García-Barros Hortal, E. (2004). Butterfly species richness in mainland Portugal: predictive models of geographic distribution patterns. *Ecography*, 27(1), 68–82. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03635.x>

- Huenneke, L. F., & Vitousek, P. M. (1990). Seedling and Clonal Recruitment of the Invasive Tree *PMidium cattleianum*: Implications for Management of Native Hawaiian Forests. *Biological Conservation*, *53*, 199–211. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0006-3207\(90\)90086-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0006-3207(90)90086-5)
- Isaac, J. L. (2009). Effects of climate change on life history: Implications for extinction risk in mammals. *Endangered Species Research*, *7*(2), 115–123. <https://doi.org/10.3354/esr00093>
- Islam, M. S., & Ahmed, R. (2011). Land Use Change Prediction In Dhaka City Using Gis Aided Markov Chain Modeling. *Journal of Life and Earth Science*, *6*, 81–89. <https://doi.org/10.3329/jles.v6i0.9726>
- Iverson, L. R., Prasad, A., & Schwartz, M. W. (1999). Modeling potential future individual tree-species distributions in the eastern United States under a climate change scenario: a case study with *Pinus girginiana*. *Ecological Modelling*, *115*, 77–93. [https://doi.org/10.1016/s0304-3800\(98\)00200-2](https://doi.org/10.1016/s0304-3800(98)00200-2)
- Iverson, L. R., Schwartz, M. W., & Prasad, A. M. (2004). How fast and far might tree species migrate in the eastern United States due to climate change? *Global Ecology and Biogeography*, *13*(3), 209–219. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2004.00093.x>
- Jakob, M. (2017). Ecuador's climate targets: A credible entry point to a low-carbon economy? *Energy for Sustainable Development*, *39*, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.04.005>
- Jarnevich, C. S., Stohlgren, T. J., Barnett, D., & Kartesz, J. (2006). Filling in the gaps: Modelling native species richness and invasions using spatially incomplete data. *Diversity and Distributions*, *12*(5), 511–520. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00278.x>
- Jiménez, A., & Lobo, J. M. (2007). Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. *Acta Oecologica*, *31*(3), 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2007.02.001>
- Kadmon, R., Farber, O., Danin, A., & Kadmon, R. (2003). A Systematic Analysis of Factors Affecting the Performance of Climatic Envelope Models. *Source: Ecological Applications*, *13*(3), 853–867. <https://doi.org/10.2307/4134701>
- Kingston, N., & Waldren, S. (2003). The plant communities and environmental gradients of Pitcairn Island: The significance of invasive species and the need for conservation management. *Annals of Botany*, *92*(1), 31–40. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg106>

- Kolar, C. S., & Lodge, D. M. (2002). Ecological Predictions and Risk Assessment for Alien Fishes in North America. *Science*, 298(5596), 1233–1236. <https://doi.org/10.1126/science.1075753>
- Kumar, R., Nandy, S., Agarwal, R., & Kushwaha, S. P. S. (2014). Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. *Ecological Indicators*, 45, 444–455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.003>
- le Maitre, D. C., Thuiller, W., & Schonegevel, L. (2008). Developing an approach to defining the potential distributions of invasive plant species: A case study of *Hakea* species in South Africa. *Global Ecology and Biogeography*, 17(5), 569–584. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00407.x>
- Lehmann, A., Leathwick, J. R., & Overton, J. M. (2002). Assessing New Zealand fern diversity from spatial predictions of species assemblages. *Biodiversity and Conservation*, 11, 2217–2238. <https://doi.org/10.1023/a:1021398729516>
- Lester, S. E., Ruttenberg, B. I., Gaines, S. D., & Kinlan, B. P. (2007). The relationship between dispersal ability and geographic range size. *Ecology Letters*, 10(8), 745–758. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01070.x>
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28(3), 385–393. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>
- Loarie, S. R., Duffy, P. B., Hamilton, H., Asner, G. P., Field, C. B., & Ackerly, D. D. (2009). The velocity of climate change. *Nature*, 462(7276), 1052–1055. <https://doi.org/10.1038/nature08649>
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., & Duhau, E. (2001). Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 55(4), 271–285. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00160-8](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00160-8)
- Lugo, A. E. (2004). The outcome of alien tree invasions in Puerto Rico. *Front Ecol Environ*, 2(5), 265–273. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0265:TOOATI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0265:TOOATI]2.0.CO;2)
- MacDonald, I. A., Thébaud, C., Strahm, W. A., & Strasberg, D. (1991). Effects of Alien Plant Invasions on Native Vegetation Remnants on La Reunion (Mascarene Islands, Indian Ocean). *Environmental Conservation*, 18(1), 51–61. <https://doi.org/10.1017/S0376892900021305>



- Macías, J. M. (2016). *Distribución actual y potencial de especies leñosas alimenticias en África para la formulación de estrategias de conservación* [Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/40046/>
- Maggini, R., Lehmann, A., Zimmermann, N. E., & Guisan, A. (2006). Improving generalized regression analysis for the spatial prediction of forest communities. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1729–1749. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01465.x>
- Manel, S., Ceri Williams, H., & Ormerod, S. J. (2001). Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*, 38(5), 921–931. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00647.x>
- Margules, C. R., & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243–253. <https://doi.org/10.1038/35012251>
- Marini, M. Â., Barbet, M., Martinez, J., Prestes, N. P., & Jiguet, F. (2010). Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (Amazona pretrei). *Biological Conservation*, 143(1), 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.009>
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R. K., & Thuiller, W. (2009). Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 15(1), 59–69. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00491.x>
- Martínez, E., & Peterson, A. T. (2006). Conservatism of Ecological Niche Characteristics in North American Plant Species over the Pleistocene-to-Recent Transition. *Source: Journal of Biogeography*, 33(10), 1779–1789. <https://doi.org/10.2307/3838516>
- Martínez, E., Peterson, A. T., Servín, J. I., & Kiff, L. F. (2006). Ecological niche modelling and prioritizing areas for species reintroductions. *ORYX*, 40(4), 411–418. <https://doi.org/10.1017/S0030605306001360>
- Mateo, R. G. (2008). *Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico* [Universidad Complutense de Madrid]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=196703>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Species distributions models: A synthetic revision. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 217–240. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2010). Effects of the number of presences on reliability and stability of MARS species distribution models: The importance of regional

- niche variation and ecological heterogeneity. *Journal of Vegetation Science*, 21(5), 908–922. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01198.x>
- McBride, J. L., & Ebert, E. E. (2000). Verification of Quantitative Precipitation Forecasts from Operational Numerical Weather Prediction Models over Australia. *Weather and Forecasting*, 15(1), 103–121. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2000\)015<0103:VOQPPF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2000)015<0103:VOQPPF>2.0.CO;2)
- Mishra, V., Rai, P., & Mohan, K. (2014). Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar), India. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*, 64(1), 111–127. <https://doi.org/10.2298/ijgi1401111m>
- Mittermeier, R. A., Turner, W. R., Larsen, F. W., Brooks, T. M., & Gascon, C. (2011). Global Biodiversity Conservation: The Critical Role of Hotspots. In *Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas* (pp. 3–22). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_1)
- Morales, L. y Varón, T. (2006). *Arboles ornamentales en el Valle de Aburrá: elementos de manejo*. Multigráficas, Medellín.
- Moreno, J. M. (2006). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. *Boletín CF+S*, 38/39, 37–56. <http://polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2617>
- Murphy, H. T., & Lovett, J. (2007). Accounting for regional niche variation in habitat suitability models. *Oikos*, 116(1), 99–110. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.15050.x>
- Ortega, M. A., & Peterson, A. T. (2004). Modelling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North-eastern Mexico. *Diversity and Distributions*, 10(1), 39–54. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2004.00051.x>
- Osborne, P. E., & Suárez, S. (2002). Should data be partitioned spatially before building large-scale distribution models? *Ecological Modelling*, 157(2–3), 249–259. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00198-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00198-9)
- Papeş, M., & Gaubert, P. (2007). Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: Assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions*, 13(6), 890–902. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00392.x>

- Parviainen, M., Luoto, M., & Heikkinen, R. K. (2009). The role of local and landscape level measures of greenness in modelling boreal plant species richness. *Ecological Modelling*, 220(20), 2690–2701. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.07.017>
- Parviainen, M., Luoto, M., Rytteri, T., & Heikkinen, R. K. (2008). Modelling the occurrence of threatened plant species in taiga landscapes: Methodological and ecological perspectives. *Journal of Biogeography*, 35(10), 1888–1905. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01922.x>
- Patel, C. R., Rymbai, H., Patel, N. L., Ahlawat, T. R., Tandel, Y. N., Saravaiya, S. N., Swamy, G. S. K., Nataraja, K. H., & Sabarad, A. I. (2017). Rosa apple (*Syzygium jambos* (L.) Alston). *Underutilized Fruit Crops: Importance and Cultivation*, 1133–1158. [https://www.researchgate.net/publication/335240607\\_Rose\\_apple\\_Syzygium\\_jambos\\_L\\_Alston](https://www.researchgate.net/publication/335240607_Rose_apple_Syzygium_jambos_L_Alston)
- Pearce, J., & Ferrier, S. (2001). The practical value of modelling relative abundance of species for regional conservation planning: a case study. *Biological Conservation*, 98(1), 33–43. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00139-7)
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12(5), 361–371. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2004). Bioclimate Envelope Models: What They Detect and What They Hide: Response to Hampe. *Source: Global Ecology and Biogeography*, 13(5), 471–473. <https://doi.org/10.2307/3697579>
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2005). Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: Identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. *Biological Conservation*, 123(3), 389–401. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.12.006>
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34(1), 102–117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Pearson, R. G., Thuiller, W., Araújo, M. B., Martinez-Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., Miles, L., Segurado, P., Dawson, T. P., & Lees, D. C. (2006). Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1704–1711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01460.x>

- Peters, D. G., & Thackway, R. (1998). *A New Biogeographic Regionalisation for Tasmania Report prepared for the National Reserve System Program Component of the Natural Heritage Trust. Project NR002: Undertake biophysical regionalisation for Tasmania.* Parks & Wildlife Service, Hobart. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17253.55521>
- Peterson, A. T. (2003). Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *Quarterly Review of Biology*, 78(4), 419–433. <https://doi.org/10.1086/378926>
- Peterson, A. T., & Nyári, Á. S. (2007). Ecological niche conservatism and pleistocene refugia in the thrush-like Mourner, *Schiffornis* sp., in the neotropics. *Evolution*, 62(1), 173–183. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00258.x>
- Peterson, A. T., Ortega, M. A., Bartley, J., Sánchez, V., Soberón, J., Buddemeier, R. H., & Stockwell, D. R. B. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, 416(6881), 626–629. <https://doi.org/10.1038/416626a>
- Peterson, A. T., Papeş, M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30(4), 550–560. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05102.x>
- Peterson, A. T., Sánchez-Cordero, V., Ben Beard, C., & Ramsey, J. M. (2002). Ecologic Niche Modeling and Potential Reservoirs for Chagas Disease, Mexico. *Emerging Infectious Diseases*, 8(7), 662–667. <https://doi.org/10.3201/eid0807.010454>
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.23943/princeton/9780691136868.001.0001>
- Peterson, A. T., Soberón, J., & Sánchez-Cordero, V. (1999). Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, 285(5431), 1265–1267. <https://doi.org/10.1126/science.285.5431.1265>
- Peterson, G. D., Carpenter, S. R., & Brock, W. A. (2003). Uncertainty and the Management of Multistate Ecosystems: An Apparently Rational Route to Collapse. *Ecology*, 84(6), 1403–1411. <https://doi.org/10.2307/3107958>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago* [Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo]. <http://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/41>

- Pira, J. P. (2019). *Análisis de la Gestión de la Política Pública Ambiental en la recuperación del humedal El Gualí en el Municipio de Funza - Cundinamarca* [Escuela de Ciencias Jurídicas y Políticas, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/36595>
- Pliscoff, P. y Fuentes, 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. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022011000100005>
- Prasad, A. M., Iverson, L. R., & Liaw, A. (2006). Newer classification and regression tree techniques: Bagging and random forests for ecological prediction. *Ecosystems*, 9(2), 181–199. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0054-1>
- Randin, C. F., Engler, R., Normand, S., Zappa, M., Zimmermann, N. E., Pearman, P. B., Vittoz, P., Thuiller, W., & Guisan, A. (2009). Climate change and plant distribution: Local models predict high-elevation persistence. *Global Change Biology*, 15(6), 1557–1569. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01766.x>
- Randin, C. F., Jaccard, H., Vittoz, P., Yoccoz, N. G., & Guisan, A. (2009). Land use improves spatial predictions of mountain plant abundance but not presence-absence. *Journal of Vegetation Science*, 20(6), 996–1008. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01098.x>
- Raxworthy, C. J., Martinez, E., Horning, N., Nussbaum, R. A., Schneider, G. E., Ortega, M. A., & Peterson, A. T. (2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*, 426(6968), 837–841. <https://doi.org/10.1038/nature02205>
- Reynoso, R., Valdez, J. R., Escalona, M. J., de los Santos, H. M. y Pérez, M. J. (2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 72–81. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382016000100006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100006)
- Richardson, B. J., Zabka, M., Gray, M. R., & Milledge, G. (2006). Distributional patterns of jumping spiders (Araneae: Salticidae) in Australia. *Journal of Biogeography*, 33(4), 707–719. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01405.x>
- Richardson, D. M., & Thuiller, W. (2007). Home away from home - Objective mapping of high-risk source areas for plant introductions. *Diversity and Distributions*, 13(3), 299–312. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00337.x>

- Richardson, D. M., & Whittaker, R. J. (2010). Conservation biogeography - foundations, concepts and challenges. *Diversity and Distributions*, *16*(3), 313–320. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00660.x>
- Riordan, E. C., & Rundel, P. W. (2009). Modelling the distribution of a threatened habitat: The California sage scrub. *Journal of Biogeography*, *36*(11), 2176–2188. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02151.x>
- Rissler, L. J., Hijmans, R. J., Graham, C. H., Moritz, C., & Wake, D. B. (2006). Phylogeographic lineages and species comparisons in conservation analyses: A case study of California herpetofauna. *American Naturalist*, *167*(5), 655–666. <https://doi.org/10.1086/503332>
- Robinson, N. M., Nelson, W. A., Costello, M. J., Sutherland, J. E., & Lundquist, C. J. (2017). A systematic review of marine-based Species Distribution Models (SDMs) with recommendations for best practice. *Frontiers in Marine Science*, *4*, 421. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00421>
- Rodríguez, J. P., Brotons, L., Bustamante, J., & Seoane, J. (2007). The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. *Diversity and Distributions*, *13*(3), 243–251. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00356.x>
- Samaniego, N., Velepucha, P. E., Maita, J. A. y Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur el 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. <https://www.researchgate.net/publication/299426281>
- Sánchez, V., & Martínez, E. (2000). Museum specimen data predict crop damage by tropical rodents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*(13), 7074–7077. <https://doi.org/10.1073/pnas.110489897>
- Saseendran, S. A., Singh, S. V., Rathore, L. S., & Das, S. (2002). Characterization of Weekly Cumulative Rainfall Forecasts over Meteorological Subdivisions of India Using a GCM. *Weather and Forecasting*, *17*(4), 832–844. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2002\)017<0832:COWCRF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017<0832:COWCRF>2.0.CO;2)
- Sattler, T., Bontadina, F., Hirzel, A. H., & Arlettaz, R. (2007). Ecological niche modelling of two cryptic bat species calls for a reassessment of their conservation status. *Journal of Applied Ecology*, *44*(6), 1188–1199. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01328.x>

- Saupe, E. E., Barve, V., Myers, C. E., Soberón, J., Barve, N., Hensz, C. M., Peterson, A. T., Owens, H. L., & Lira-Noriega, A. (2012). Variation in niche and distribution model performance: The need for a priori assessment of key causal factors. *Ecological Modelling*, 237–238, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.04.001>
- Schmidt, L. H. (2009). Tree species for wind prone areas. *Development Briefs. Technical*, (6). <https://forskning.ku.dk/soeg/result/?pure=files%2F33958840%2Fwindprone.pdf>
- Schwartz, M. W. (1999). Choosing the appropriate scale of reserves for conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30, 83–108. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.30.1.83>
- Seethalakshmi, K. K., Raveendran, V. P., & Balagopalan, M. (2010). Protection of Tsunami Affected Coastal Areas by Establishing Bio-shield through people's participation. *KFRI Research Report No. 362*, 15. [https://www.kfri.res.in/kfri\\_research\\_reports.asp?offset=350](https://www.kfri.res.in/kfri_research_reports.asp?offset=350)
- Seoane, J., Carrascal, L. M., Alonso, C. L., & Palomino, D. (2005). Species-specific traits associated to prediction errors in bird habitat suitability modelling. *Ecological Modelling*, 185(2–4), 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.12.012>
- Seoane, J., Justribó, J. H., García, F., Retamar, J., Rabadán, C., & Atienza, J. C. (2006). Habitat-suitability modelling to assess the effects of land-use changes on Dupont's lark *Chersophilus duponti*: A case study in the Layna Important Bird Area. *Biological Conservation*, 128(2), 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.032>
- Soberón, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>
- Streets, R. J. (1962). Exotic Forest Trees in the British Commonwealth. *Nature*, 196(4850), 102–103. <https://doi.org/10.1038/196102b0>
- Svenning, J. C., & Skov, F. (2004). Limited filling of the potential range in European tree species. *Ecology Letters*, 7(7), 565–573. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00614.x>
- Svenning, J.-C., Normand, S., & Skov, F. (2006). Range filling in European trees. *Journal of Biogeography*, 33(11), 2018–2021. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01630.x>
- Swets, J. A. (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*, 240(4857), 1285–1293. <https://doi.org/10.1126/science.3287615>

- Tapia, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & De La Cruz, M. (2015). Correction: Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s - Losing a hotspot of biodiversity. *PLOS ONE*, *10*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142359>
- Thies, B., Meyer, H., Nauss, T., & Bendix, J. (2014). Projecting land-use and land-cover changes in a tropical mountain forest of Southern Ecuador. *Journal of Land Use Science*, *9*(1), 131–131. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2012.736197>
- Thuiller, W., Geogers, D., Engler, R., & Breiner, F. (2016). Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. *R Package Version*, 3–1. <https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html>
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD - A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, *32*(3), 369–373. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x>
- Thuiller, W., Richardson, D. M., Pyšek, P., Hughes, G. O., & Rouget, M. (2005). Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Global Change Biology*, *11*(12), 2234–2250. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01018.x>
- van Niel, K. P., Laffan, S. W., & Lees, B. G. (2004). Effect of error in the DEM on environmental variables for predictive vegetation modelling. *Journal of Vegetation Science*, *15*(6), 747–756. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02317.x>
- Verburg, P. H., de Nijs, T. C. M., van Eck, J. R., Visser, H., & de Jong, K. (2004). A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. *Computers, Environment and Urban Systems*, *28*(6), 667–690. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2003.07.001>
- Whittaker, R. J., Willis, K. J., Field, R., & Whittaker, R. J. (2001). Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography*, *28*(4), 453–470. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00563.x>
- Williams, J. N., Seo, C., Thorne, J., Nelson, J. K., Erwin, S., O'Brien, J. M., & Schwartz, M. W. (2009). Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Diversity and Distributions*, *15*(4), 565–576. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00567.x>
- Williams, P., Hannah, L., Andelman, S., Midgley, G., Araújo, M., Hughes, G., Manne, L., Martinez-Meyer, E., & Pearson, R. (2005). Planning for climate change: Identifying minimum-dispersal corridors for the cape proteaceae. *Conservation Biology*, *19*(4), 1063–1074. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00080.x>

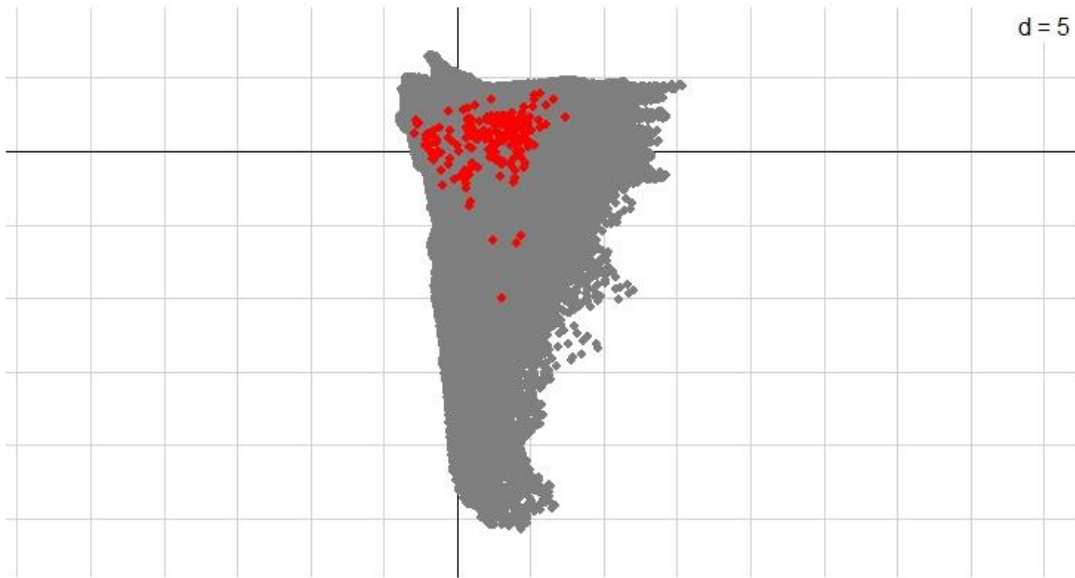


- Wiser, S. K., Peet, R. K., & White, P. S. (1998). Prediction of rare-plant occurrence: a southern appalachian example. *Ecological Applications*, 8(4), 909–920. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0909:porpoa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0909:porpoa]2.0.co;2)
- Wohlgemuth, T., Nobis, M. P., Kienast, F., & Plattner, M. (2008). Modelling vascular plant diversity at the landscape scale using systematic samples. *Journal of Biogeography*, 35(7), 1226–1240. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01884.x>
- Zimmermann, N. E., Edwards, T. C., Moisen, G. G., Frescino, T. S., & Blackard, J. A. (2007). Remote sensing-based predictors improve distribution models of rare, early successional and broadleaf tree species in Utah. *Journal of Applied Ecology*, 44(5), 1057–1067. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01348.x>
- Zurell, D., Jeltsch, F., Dormann, C. F., & Schröder, B. (2009). Static species distribution models in dynamically changing systems: How good can predictions really be? *Ecography*, 32(5), 733–744. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05810.x>

## 11. Anexos

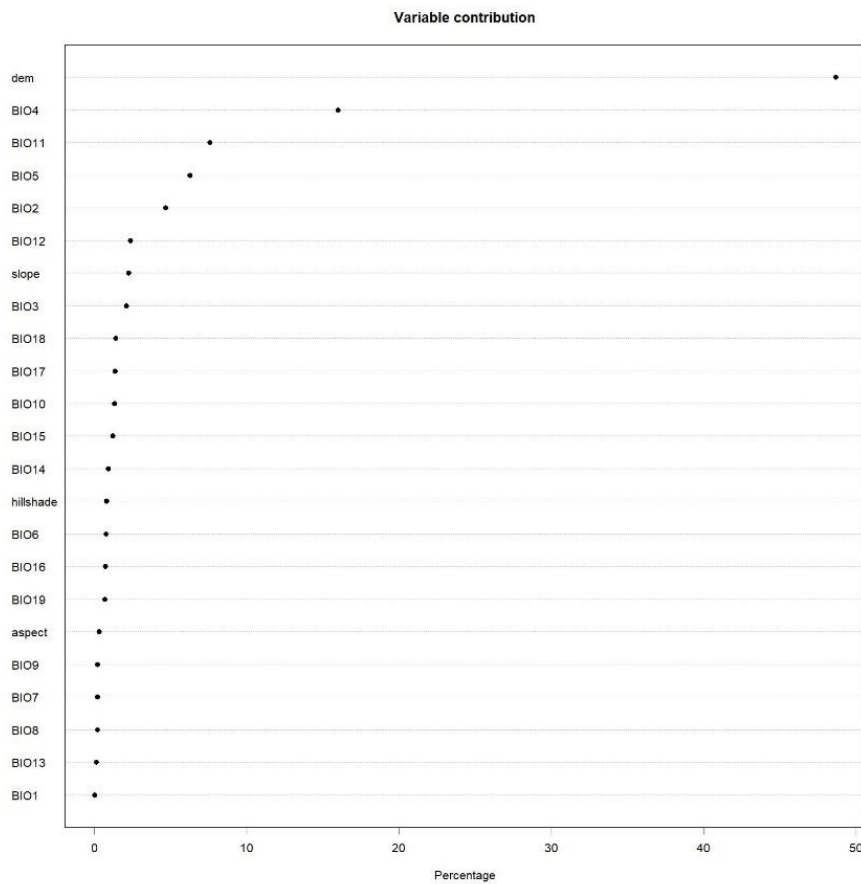
### Anexo 1.

Análisis de componentes principales - espacio climático/espacio geográfico.



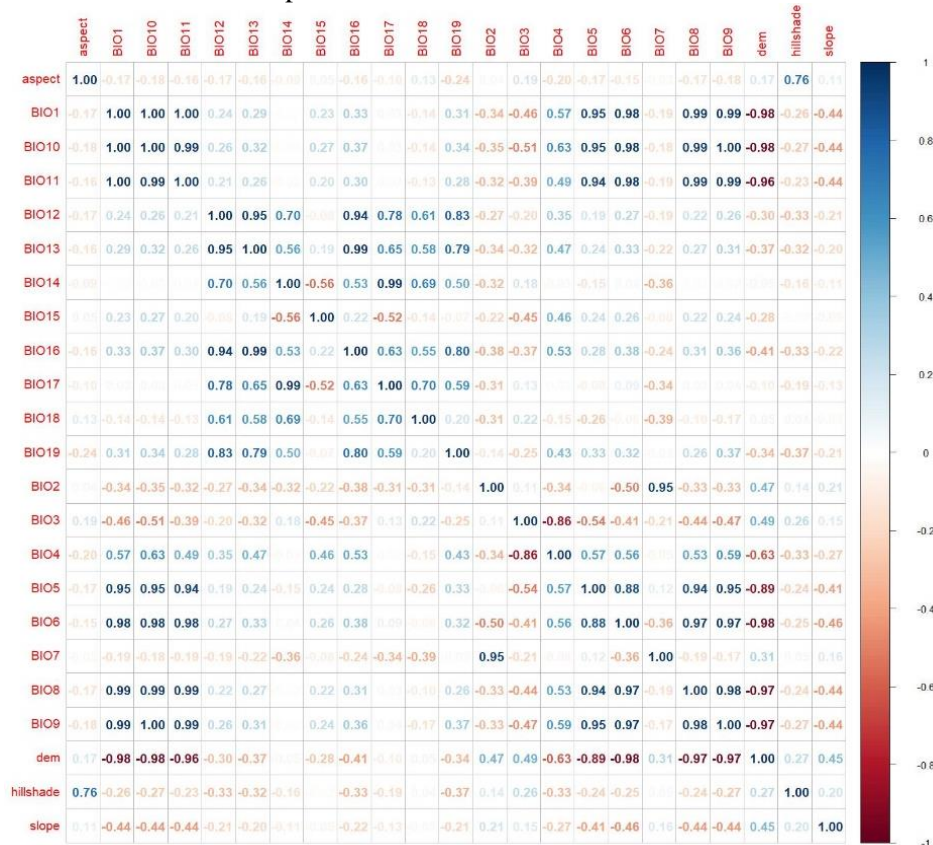
### Anexo 2.

Prueba Jackknife para las variables de importancia.



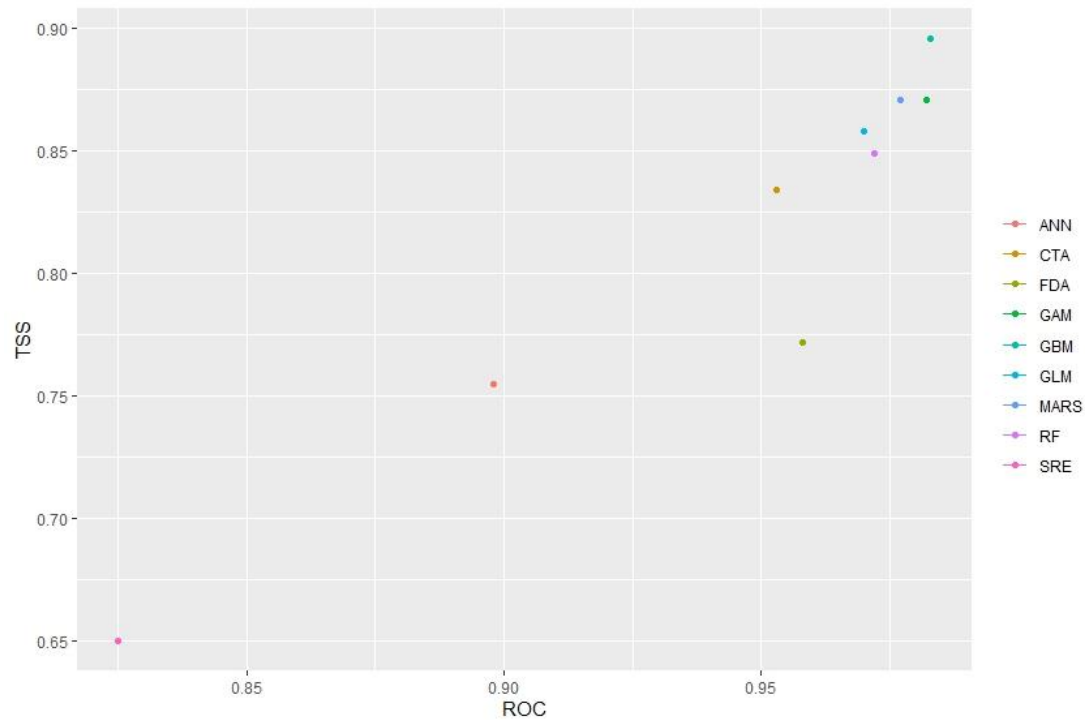
### Anexo 3.

Correlación de Pearson para las 23 variables biofísicas.



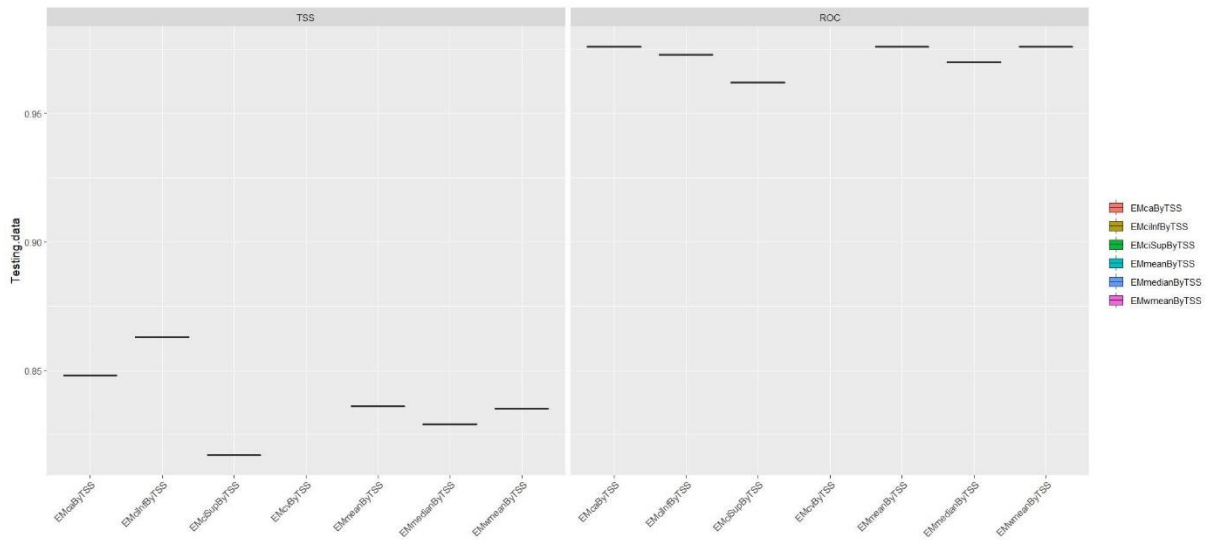
### Anexo 4.

Evaluación de las técnicas de modelación mediante el test TSS y ROC.



## Anexo 5.

Evaluación de los ensambles de los modelos mediante el test TSS y ROC.



## Anexo 6.

Algoritmo aplicado en R Core Team v4.1.3 (2022) para la validación de Datos.

```
# Several validation strategies can be combined
```

```
DataSplitTable.b <- BIOMOD_CrossValidation(bm.format = myBiomodData,
```

```
k = 1,
```

```
nb.rep = 1,
```

```
do.full.models = TRUE)
```

```
DataSplitTable.y <- BIOMOD_CrossValidation(bm.format = myBiomodData,
```

```
k = 1,
```

```
do.stratification = TRUE,
```

```
method = "y")
```

```
colnames(DataSplitTable.y)[1:2] <- c("RUN11", "RUN12")
```

```
myBiomodCV <- cbind(DataSplitTable.b, DataSplitTable.y)
```

```
head(myBiomodCV)
```

**Anexo 7.**

Algoritmo utilizado en R Core Team v4.1.3 (2022) para calibrar el modelo con las 10 técnicas de modelación que ofrece Biomod2 v4.0.

```
# Model single models
```

```
myBiomodModelOut <- BIOMOD_Modeling(bm.format = myBiomodData,  
  bm.options = myBiomodOptions,  
  modeling.id = 'AllModels',  
  models = c("GLM", "GBM", "GAM", "CTA", "ANN", "SRE", "FDA",  
"MARS", "RF", "MAXENT.Phillips"),  
  nb.rep = 1,  
  data.split.perc = 80,  
  # data.split.table = myBiomodCV,  
  var.import = 3,  
  metric.eval = c("TSS", "ROC"),  
  do.full.models = FALSE)
```

```
myBiomodModelOut
```

**Anexo 8.**

Algoritmo utilizado en R Core Team v4.1.3 (2022) para el ensamble de los modelos.

```
# Model ensemble models
```

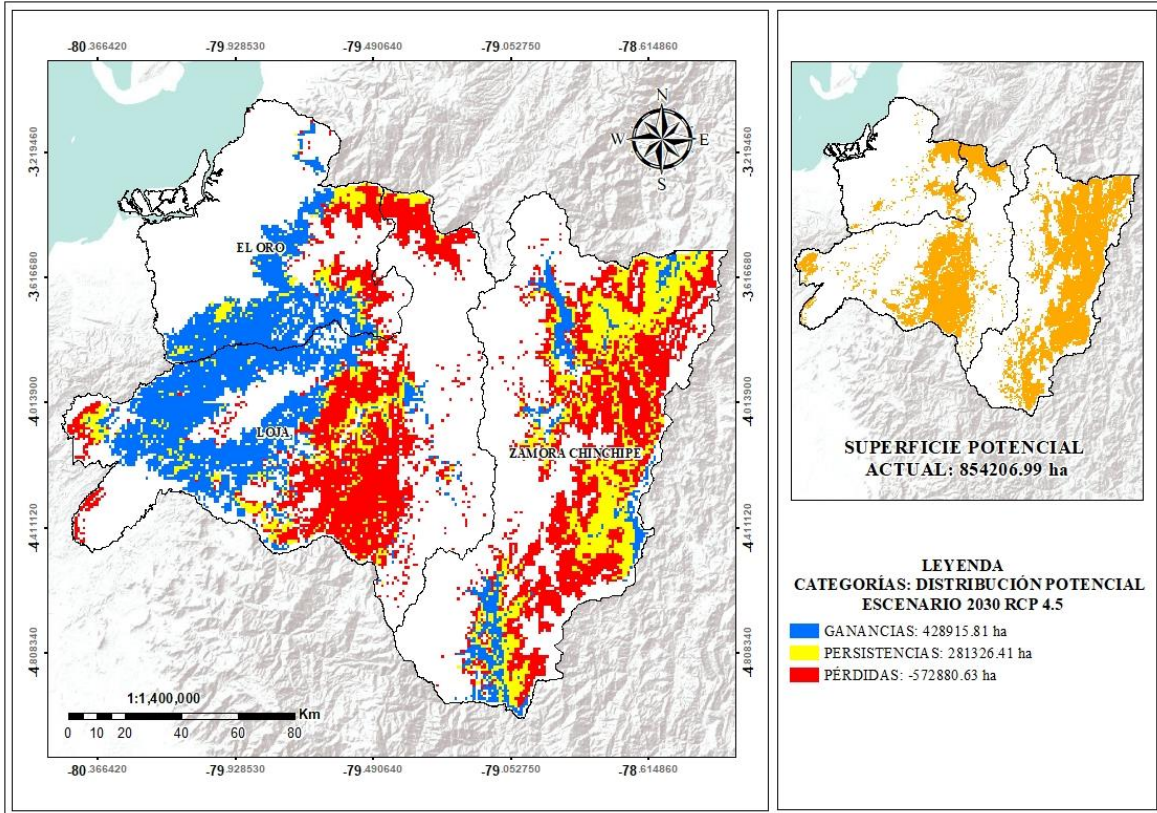
```
myBiomodEM <- BIOMOD_EnsembleModeling(bm.mod = myBiomodModelOut,  
  models.chosen = 'all',  
  em.by = 'all',  
  metric.select = c("TSS"),  
  metric.select.thresh = c(0.8),  
  var.import = 3,  
  metric.eval = c("TSS", "ROC"),  
  prob.mean = TRUE,  
  prob.median = TRUE,  
  prob.cv = TRUE,  
  prob.ci = TRUE,  
  prob.ci.alpha = 0.05,  
  committee.averaging = TRUE,  
  prob.mean.weight = TRUE,  
  prob.mean.weight.decay = 'proportional')
```

```
myBiomodEM
```



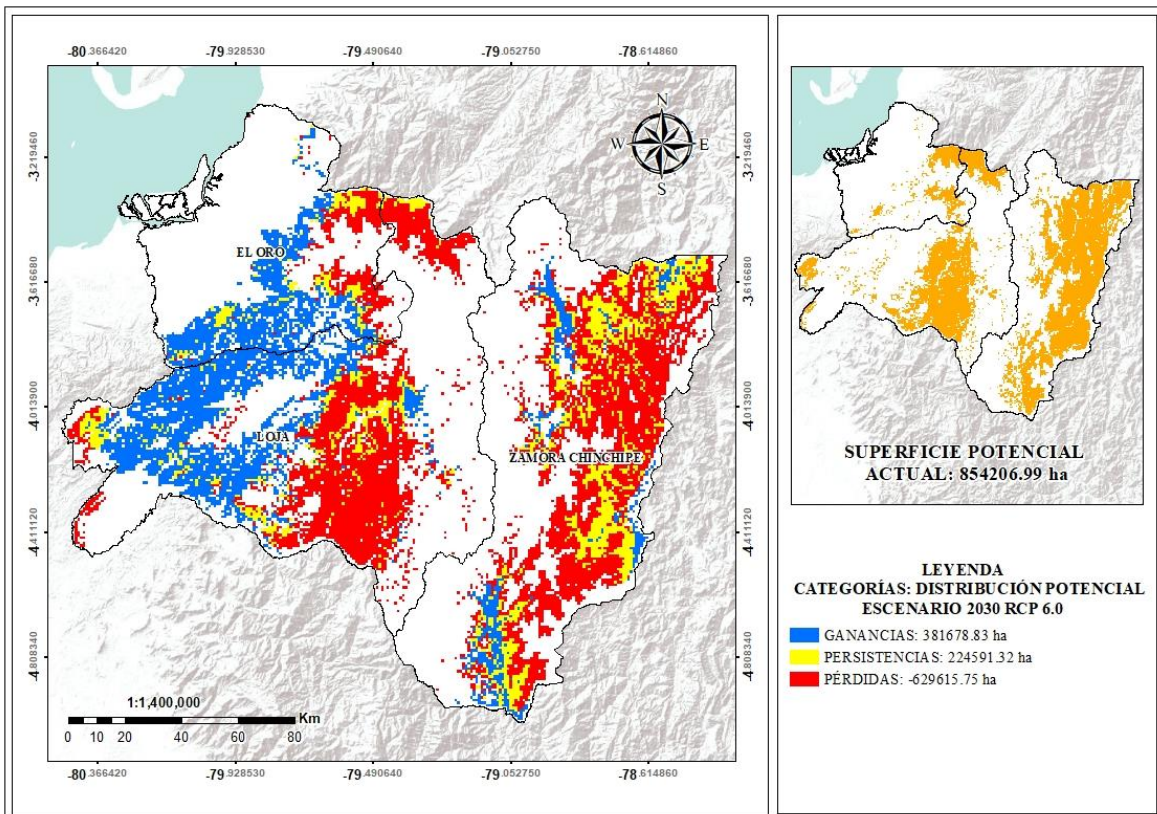
**Anexo 9.**

Distribución Potencial de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE escenario 2030 RCP 4.5.



**Anexo 10.**

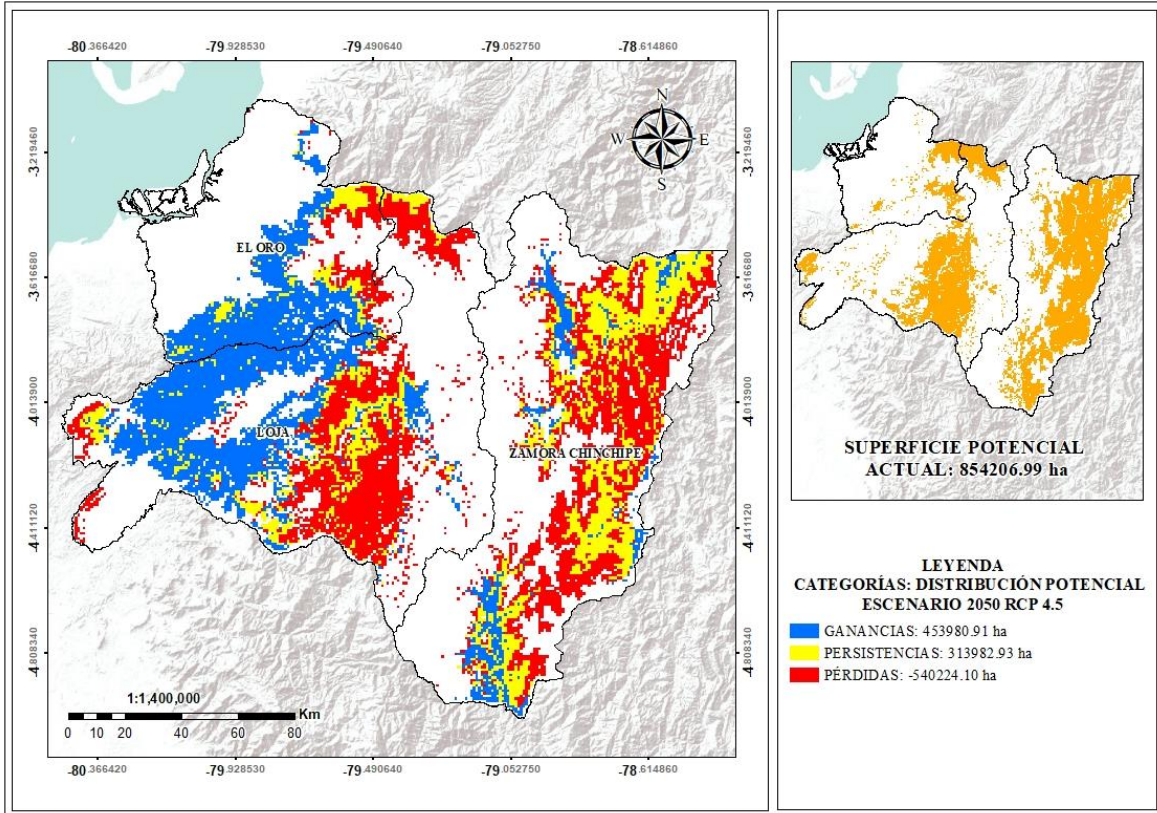
Distribución Potencial de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE escenario 2030 RCP 6.0.





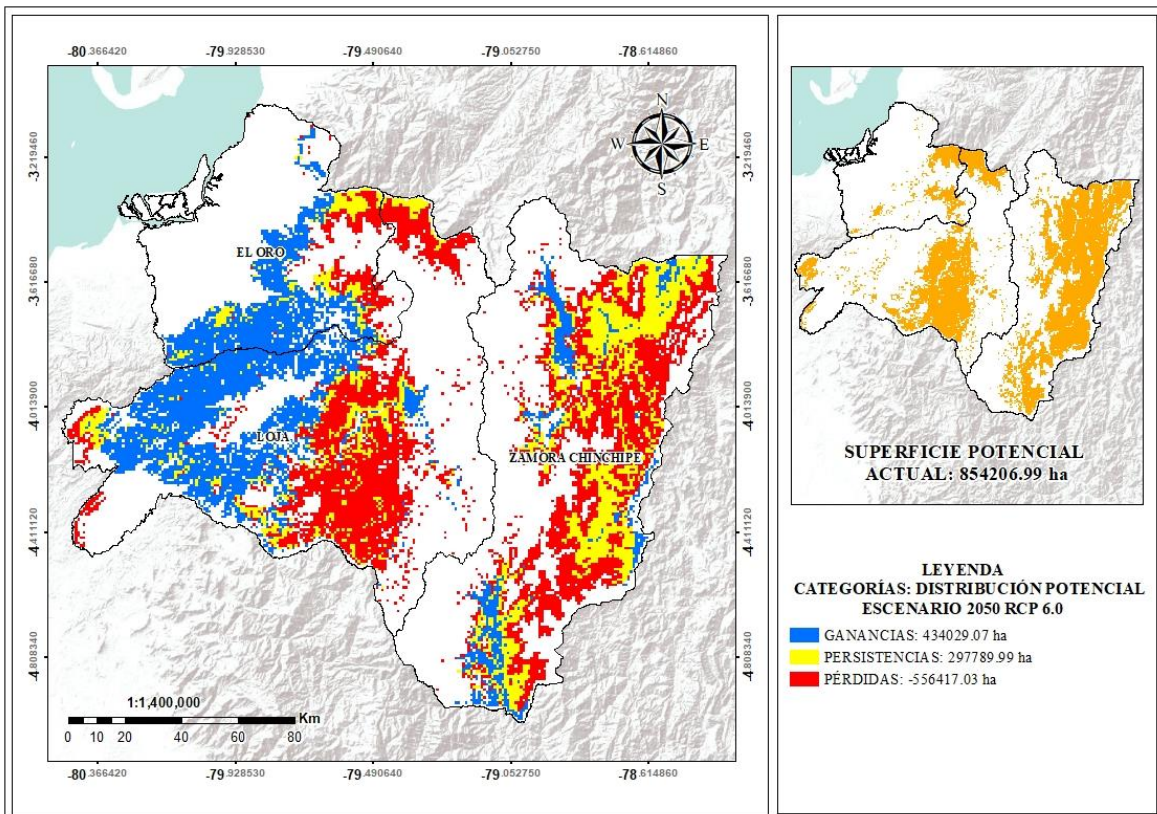
### Anexo 11.

Distribución Potencial de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE escenario 2050 RCP 4.5.



### Anexo 12.

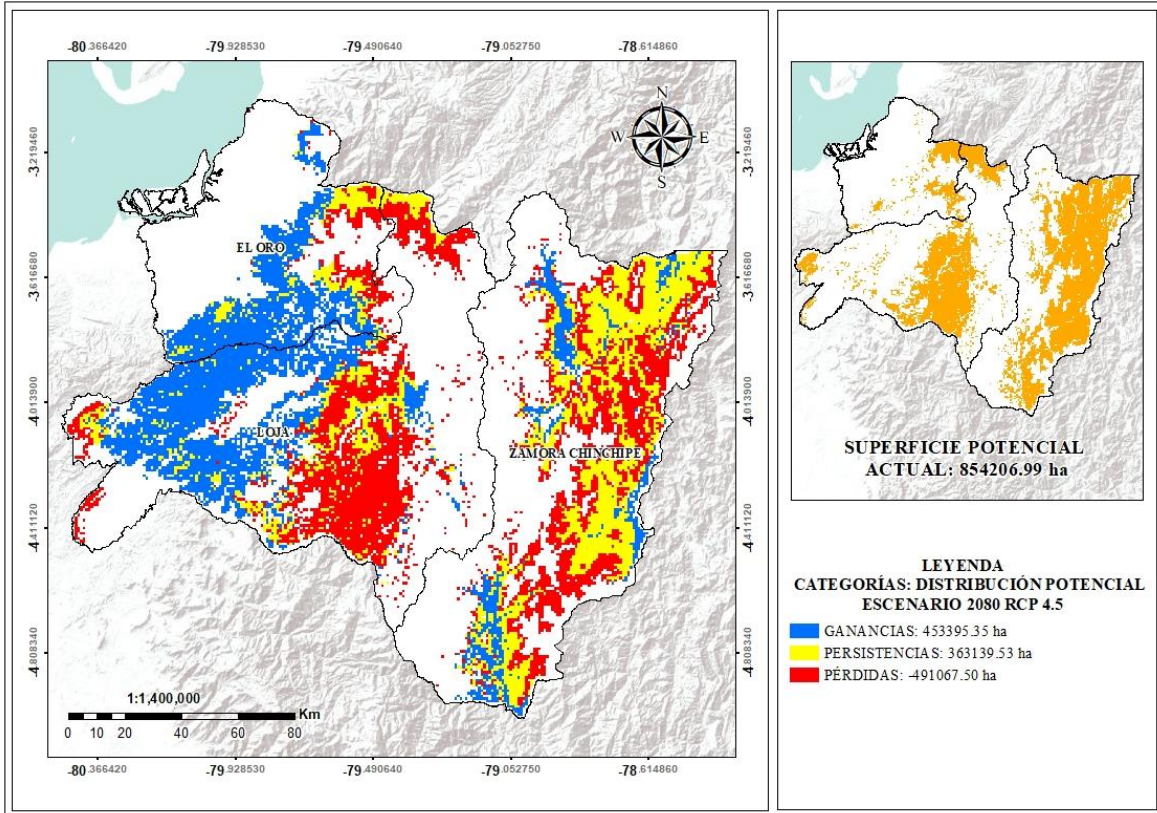
Distribución Potencial de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE escenario 2050 RCP 6.0.





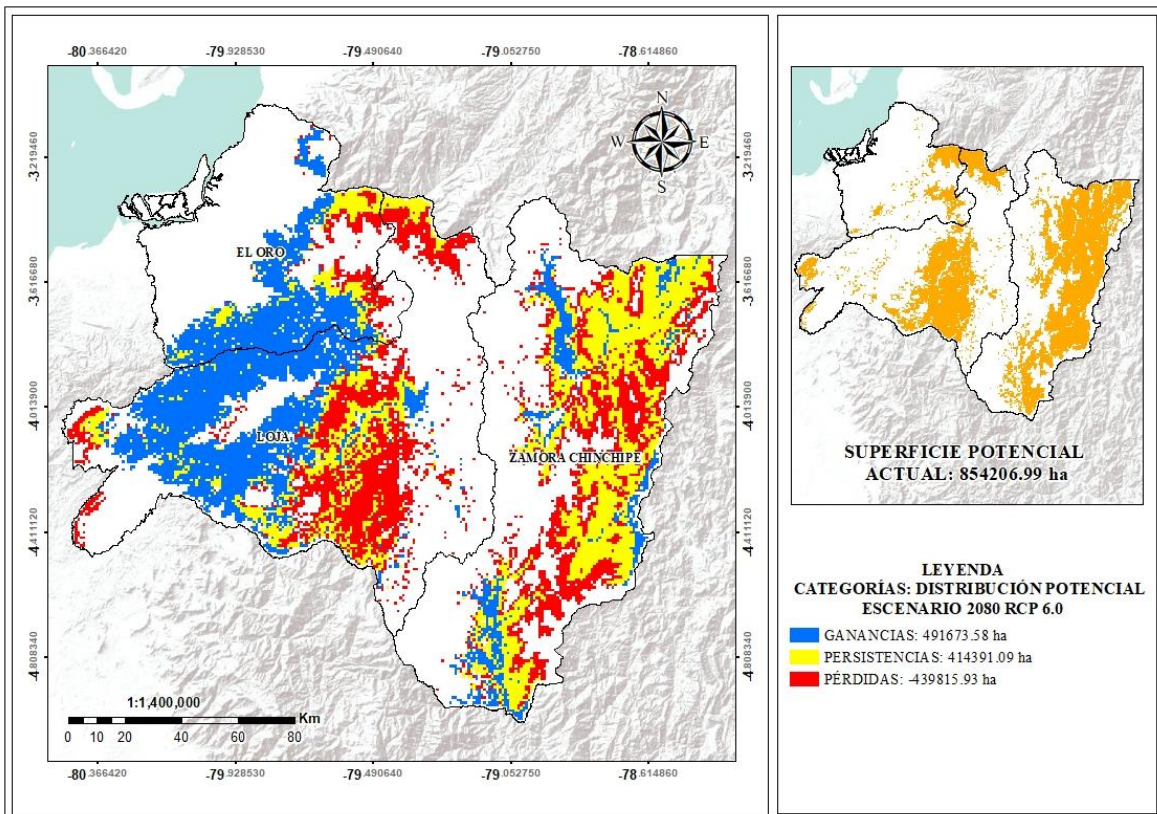
**Anexo 13.**

Distribución Potencial de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE escenario 2080 RCP 4.5.



**Anexo 14.**

Distribución Potencial de la especie *Syzygium Jambos* en la RSE escenario 2080 RCP 6.0.





**Anexo 15.**  
Certificación de traducción Abstract.

Loja, 10 de febrero del 2023

Lic.

Manuel Agustín González Estrella

**DOCENTE DE LA UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL SAN FRANCISCO DE ASÍS**

**CERTIFICA:**

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés de la Tesis de Grado titulada “**Cambios de uso del suelo: impactos sobre la distribución de la especie *Syzygium jambos* bajo escenarios de cambio climático en la Región Sur del Ecuador**”, de autoría del Sr. Gilson Israel González Zúñiga, con cédula de ciudadanía No. 1150983037, egresado de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja. Lo certifico en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Manuel Agustín González Estrella', written over a light blue background.

Lic. Manuel Agustín González Estrella

**CI:** 1101840690

**Número de registro:** 1008-15-1380447