



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

Impactos antrópicos, cambio climático, y vulnerabilidad de especies: el caso de *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio ambiente

AUTOR:

Leodan Vicente Ramirez Criollo

DIRECTOR:

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 17 de agosto de 2023

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Certifico:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Impactos antrópicos, cambio climático, y vulnerabilidad de especies: el caso de *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador.**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, de autoría del estudiante **Leodan Vicente Ramirez Criollo**, con **cédula de identidad Nro.1150508057**, 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.

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

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

Firma:



Cédula: 1150508057

Fecha: 18 de agosto de 2023

Correo electrónico: leodan.ramirez@unl.edu.ec

Teléfono: 0967885036

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

Yo, **Leodan Vicente Ramirez Criollo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Impactos antrópicos, cambio climático, y vulnerabilidad de especies: el caso de *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador.**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, 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 dieciocho días del mes de agosto del dos mil veintitrés.



Firma:

Autor: Leodan Vicente Ramirez Criollo

Cédula de identidad: 1150508057

Dirección: La Pradera

Correo electrónico: leodan.ramirez@unl.edu.ec

Teléfono: 0967885036

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho. Mg. Sc.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja y a la Carrera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente por los conocimientos adquiridos durante estos cinco años de la carrera.

A mi director de Trabajo de Titulación, Ing. Carlos Chuncho Mg. Sc y a mi codirector Ing. Cesar Benavidez Ph. D del centro de Investigaciones de la UNL, por sus valioso tiempo, aporte y orientación que contribuyeron en la culminación del presente Trabajo de Titulación.

Finalmente, un profundo agradecimiento a mi familia Gabriela Jiménez y Hailey Ramirez, a mis padres, amigos y a todos los seres queridos que con su amistad, apoyo y bondad hicieron que culmine con mi meta.

Leodan Vicente Ramirez Criollo

Dedicatoria

Este Trabajo de Titulación se lo dedico a Dios, que guía mi calzada a diario y ha puesto personas maravillosas en mi camino que siempre estuvieron allí a pesar de las adversidades. Primeramente, dedico este Trabajo de Titulación a mi compañera de vida Gabriela Jiménez, a mi hija Hailey Ramirez por su apoyo incondicional, a mi padre por forjar en mí su perseverancia, enseñanza y valores, a mi Codirector de Trabajo de Titulación, Ing. Cesar Benavides por su enseñanza, constancia y sus aportes de conocimiento, de la misma manera a mi Director de Trabajo de Titulación Ing. Carlos Chuncho por su apoyo en este transcurso de mi proyecto.

Leodan Vicente Ramirez Criollo

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Agradecimiento	v
Dedicatoria	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1. Cambio climático.....	7
4.2. Escenarios climáticos futuros.....	7
4.3. Vulnerabilidad de las especies ante el cambio climático.....	9
4.4. Cambios de uso de suelo.....	9
4.5. Características morfológicas de <i>Psidium guajava</i> L.....	10
4.6. Modelamiento de distribución de especies (MDE).....	11
4.7. Presencia de especies o ausencia de especies.....	11
4.8. Variables bioclimáticas, climáticas y topográficas.....	12
4.9. Evaluación de variables.....	12
4.10. Técnicas de modelación.....	12
4.10.1. Modelamientos estadísticos de regresión.....	13
4.10.2. Métodos de clasificación.....	13
4.10.3. Métodos de “sobre”.....	13

4.10.4. Algoritmos específicos	14
4.10.5. Ensamble de técnicas.....	14
4.11. Calibración de modelos	14
4.12. Validación de modelos	15
4.13. Proyección actual y futura	15
5. Metodología.....	17
5.1. Área de estudio	17
5.2. Metodología para implementar modelos de distribución potencial Psidium guajava..	19
5.2.1. Datos de presencia y ausencia	19
5.2.2. Variables bioclimáticas	20
5.2.3. Calibración del modelo.....	21
5.2.4. Evaluación del modelo	22
5.2.5. Simulación o proyección del modelo.	22
5.3. Metodología para la evaluación de las zonas de distribución potencial actual y futura de la Psidium guajava, frente a procesos asociados al cambio de uso de suelo.	23
5.3.1. Definición del cambio de uso de suelo.....	23
5.5. Análisis estadístico	25
6. Resultados	26
6.1. Implementación de modelos de distribución potencial Psidium guajava L., para evaluar la superficie de distribución actual y futura para los años 2030,2050 y 2080 para los escenarios RCP 4.5 y 6.0 en la Región sur del Ecuador.....	26
6.2. Evaluación de las zonas de distribución potencial actual y futura de la Psidium guajava frente a procesos asociados al cambio de uso de suelo.	34
7. Discusión.....	38
8. Conclusiones.....	42
9. Recomendaciones.....	43
10. Bibliografía.....	44
11. Anexos.....	54

Índice de tablas:

Tabla 1. Tipos de escenarios climáticos futuros.....	8
Tabla 2. Descripción de las 19 variables bioclimáticas.....	20
Tabla 3. Técnicas para la construcción de modelos de distribución de especies.	21
Tabla 4. Cobertura Vegetal ((MAE (Ministerio del Ambiente) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2014).....	23
Tabla 5. Cobertura vegetal y uso de suelo globales (2030,2050,2080).....	24
Tabla 6. Herramientas utilizadas para el procedimiento de la metodología en QGIS.	25
Tabla 7. Variables bioclimáticas y topográficas de la RSE utilizadas para la modelación.....	26
Tabla 8. Evaluación de las técnicas de modelación de la distribución de la Psidium guajava, en la RSE con los test Receiver Operating Characteristic (ROC) y True Skill Statistic (TSS).	27
Tabla 9. Valores probabilísticos de temperatura, precipitación, elevación de la especie Psidium guajava, en la Región Sur del Ecuador	28
Tabla 10. Ganancias, pérdidas y persistencias de distribución actual y futura de la Psidium guajava, en la región sur de Ecuador.....	31
Tabla 11. Ganancias, pérdidas, y persistencias en el escenario RCP 6.0 2030 de la Psidium guajava.....	34
Tabla 12. Cambios de uso de suelo en los escenarios SSP2 - RCP 4.5 y SSP4 - RCP 6.0 de la distribución potencial actual y futura de la Psidium guajava, en la región sur del Ecuador.....	37

Índice de figuras:_Toc143101189

Figura 1. Tipos de escenarios con diferentes retos socioeconómicos de mitigación y adaptación.....	9
Figura 2. Flujograma de la modelación y cambios de uso de suelo bajo escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, actual y futura para los años 2030, 2050 y 2080 de la <i>Psidium guajava</i> en la región sur del Ecuador.....	16
Figura 3. Mapa de Ubicación de la Región Sur del Ecuador.	19
Figura 4. Escenario RCP 4.5 2030: Ganancias, pérdidas y persistencia de la <i>Psidium guajava</i> en la región sur del Ecuador.	29
Figura 5. Escenario RCP 4.5 2050: Ganancias, pérdidas y persistencia de la <i>Psidium guajava</i> en la región sur del Ecuador.	30
Figura 6. Escenario RCP 4.5 2080: Ganancias, pérdidas y persistencia de la <i>Psidium guajava</i> , en la región sur del Ecuador.	31
Figura 7. Escenario RCP 6.0 2030: Ganancias, pérdidas y persistencia de la <i>Psidium guajava</i> , en la región sur del Ecuador.	32
Figura 8. Escenario RCP 6.0 2050: Ganancias, pérdidas y persistencia de la <i>Psidium guajava</i> , en la región sur del Ecuador.	33
Figura 9. Escenario RCP 6.0 2080: Ganancias, pérdidas y persistencia de la <i>Psidium guajava</i> , en la región sur del Ecuador.	34
Figura 10. Cambios de uso de suelo y su modelamiento de la distribución potencial actual y futura de la <i>Psidium guajava</i> , bajo el escenario climático RCP 4.5.	35
Figura 11. Cambios de uso de suelo y su modelamiento de la distribución potencial actual y futura de la <i>Psidium guajava</i> ., bajo el escenario climático RCP 6.0.	36

Índice de anexos:

Anexo 1. Técnicas de modelación utilizadas en el software R.....	54
Anexo 2. Correlación Jackknife y Vif con las variables bioclimáticas y topográficas en el software R.....	54
Anexo 3. Evaluación de las variables en el software R.	55
Anexo 4. Evaluación de los modelos en el software R.	55
Anexo 5. Proyecciones actuales y futuras del modelo de distribución potencial de la especie <i>Psidium guajava</i> , en el software R.	56
Anexo 6. Certificación de la traducción del resumen.	57

1. Título

Impactos antrópicos, cambio climático, y vulnerabilidad de especies: el caso de *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador.

2. Resumen

La importancia de trabajar con la especie *Psidium guajava* es su nivel de adaptación, debido a su capacidad de incrementar su población en diversas condiciones geográficas y climáticas. El presente estudio evaluó los efectos del cambio climático y cambios de usos de suelo en la distribución potencial de la *Psidium guajava*, bajo escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 en la Región Sur del Ecuador implementando técnicas de modelación con Biomod 2, ejecutando la modelación, calibración y evaluación de los modelos con el software R y QGIS, además de las variables bioclimáticas y topográficas se implementó un factor de inflación de la varianza (VIF) que midió la correlación de las variables y su fuerza en el modelo de distribución de la especie. De la misma manera, se comparó áreas de modelos de distribución mediante la correlación cruzada de información geográfica sobre la cobertura de uso de suelo de 20 tipos PFT (Plant Functional Type, por sus siglas en inglés) bajo escenarios SSP - RCP 2015 al 2100. Los datos de presencia y pseudociencias se los obtuvo del herbario de la Universidad Nacional de Loja, los resultados de distribución potencial se sometieron a la prueba estadística de ROC y TSS determinado un valor de 0.9 considerado muy bueno, abarcando una superficie de 1 401.955 ha, de distribución potencial de la especie, arrojando que el escenario más idóneo fue RCP 4.5 para el año 2050 respecto a la ganancia con un 53% (~736 403 ha), mayor pérdida en el año 2030 con un 33 % (463 862 ha) y una persistencia año 2080 con 73 % (1 020 474 ha), mientras tanto, para el escenario RCP 6.0 la ganancia y persistencia se observó en el año 2080 con un 52 % (~731 685 ha) y 76 % (~1 070 160 ha) respectivamente, y una pérdida del 41 % (~577 161 ha) para el año 2030, debido a la temperatura que va desde 19°C a 20°C, de manera que se puede determinar vulnerable a la especie, por consiguiente, se pudo comprobar que las variables más concluyentes en este estudio fueron Bio1 (Temperatura media anual), Bio12 (Precipitación anual), y DEM (Modelo digital de Elevación).

Palabras clave: Cambio Climático, Modelación, Variables Bioclimáticas, Escenarios, Cambio de uso de Suelo.

2.1. Abstract

The importance of working with the species *Psidium guajava*, is its level of adaptation and reproduction time, however, climate change is damaging directly and indirectly. This study evaluated the effects of climate change and changes in land use on the potential distribution of *Psidium guajava* L., under RCP 4.5 and 6.0 climate scenarios in the Southern Region of Ecuador implementing modeling techniques with Biomod 2, in which the modeling, calibration and evaluation of the models were executed jointly with R and QGIS software, in addition to the bioclimatic and topographic variables implementing a variance inflation factor that measured the correlation of the variables and their strength in the distribution model of the species. The data of presence and pseudoscience's were obtained from the herbarium of the National University of Loja, the results of potential distribution were submitted to the statistical test of ROC and TSS determined a value of 0.9 considered very good, covering an area of 1 401. 955 ha of potential distribution of the species, showing that the most suitable scenario was RCP 4.5 for the year 2050 with respect to the gain with 53% (~736 403 ha), greater loss in 2030 with 33% (463 862 ha) and persistence in 2080 with 73% (1 020 474 ha), while for the RCP 6 scenario. 0 gain and persistence were observed in the year 2080 with 52 % (~731 685 ha) and 76 % (~1 070 160 ha) respectively, and a loss of 41 % (~577 161 ha) for the year 2030, due to the temperature ranging from 19°C to 20°C, so that the species can be determined vulnerable, therefore, it was found that the most conclusive variables in this study were Bio1 (Mean annual temperature), Bio12 (Annual precipitation), and DEM (Digital Elevation Model).

Key words: *Climate Change, Modeling, Bioclimatic Variables, Scenarios, Land Use Change.*

3. Introducción

En Latinoamérica los bosques representan un patrimonio natural único los cuales albergan una amplia diversidad biológica y múltiples servicios ecosistémicos para las comunidades (Zanetti et al., 2017). Sin embargo, existen diversas presiones de origen antrópico que afectan las zonas boscosas, provocado por las múltiples actividades del ser humano como, la deforestación y la quema de combustibles fósiles que están generando emisiones de gases de evento invernadero (GEI) muy elevadas, dando como resultado cambios en los sistemas globales, afectando negativamente a la biodiversidad (Lienin y Kleyer, 2012).

A nivel nacional, el 99% del área deforestada bruta entre 1990 y 2018 fue transformada a áreas agropecuarias, acuicultura y plantaciones forestales, directamente o a través de ciclos posteriores de cambio de uso del suelo y el 1% restante fue transformada a infraestructura, áreas urbanas y asentamientos rurales densos, mientras la expansión del área agropecuaria nacional también dependió de la deforestación y aproximadamente el 86% del área agropecuaria, de acuicultura y plantaciones en el 2018 fue creada mediante la transformación de bosques naturales. Y de acuerdo TapiaArmijos et al., (2015), el porcentaje de deforestación en la Región Sur del Ecuador en el periodo 1989-2008 fue de 2.86% mayor a los años anteriores habiéndose transformado el 46% de la cobertura vegetal, a causa de la deforestación y la fragmentación, lo cual influye directamente sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad.

El clima es un factor determinante en la distribución de las especies y en la conservación de los ecosistemas (Aguirre et al., 2015). Siendo importante conocer como la distribución de las especies y de los ecosistemas pueden modificarse en el futuro bajo los efectos del cambio climático y como las actividades humanas influye negativamente al incremento del cambio climático (Aguirre et al., 2015). Para disminuir los efectos del cambio climático sobre la distribución de las especies y de los ecosistemas, es fundamental desarrollar estrategias de mitigación y adaptación en repuesta a los cambios ambientales (Aguirre et al., 2015).

El cambio climático es un proceso de origen natural y antrópico, que afecta negativamente a escala local, nacional y global, a corto, mediano y largo plazo (MAE, 2017). Ecuador es responsable del 0.15 % de las emisiones de GEI a nivel mundial (MAE, 2017). Donde, las proyecciones futuras de datos climáticos llevados a cabo en la Tercera

Comunicación Nacional del Ecuador sobre el Cambio Climático, muestran que de seguir la tendencia actual la temperatura podría tener un incremento de alrededor de 2°C al final del siglo XXI a nivel global (MAE, 2019). De acuerdo a González et al., (2010), el incremento temperatura a nivel global, ha provocado a que muchas de las especies tanto de flora y fauna se encuentren vulnerables frente a los cambios ambientales provocados por la influencia del cambio climático (González et al., 2010).

Los bosques tropicales y la diversidad florística en Ecuador se consideran ecosistemas frágiles con una alta biodiversidad. No obstante, estos ecosistemas se encuentran en constante amenaza, producto de la continua actividad agropecuaria, deforestación, minería ilegal, entre otras (Cuesta et al., 2009), sumándose a ello los cambios en el clima que pueden modificar y provocar que las especies busquen nuevas zonas donde desplazarse y el cambio de uso de suelo, potencialmente podría restringir la superficie disponible para el desarrollo de las especies (Elith et al., 2010). En consecuencia, el hábitat natural de las especies podría verse reducido, disminuyendo sus poblaciones y cambiando sus patrones de distribución tales como: desplazarse, contraerse, expandirse y fragmentarse en respuesta a los cambios ambientales (Gil, 2017).

En Ecuador, la especie *Psidium guajava* es cultivada a gran escala por instituciones públicas y privadas, esto debido a su gran beneficio económico, social y ambiental, que representa esta especie (Torres et al., 2020). Siendo la Región Sur del Ecuador, la que posee condiciones ambientales adecuadas para su crecimiento, cultivándose en diferentes tipos de suelo como: suelos arenosos , arcillosos y francos (Arango et al., 2020).

La *Psidium guajava*, es un fruto tropical importante por su rentabilidad económica y para la seguridad alimentaria, cultivándose en pequeños huertos familiares (Fernández y Pérez, 2016). Esta especie se puede encontrar en selvas tropicales caducifolias y perennifolias; matorral xerófilo, bosques espinosos, mesófilos de montaña, de encino y mixto de pino (Fernández y Pérez, 2016). Además, es utilizada para restaurar áreas donde existió explotación minera y producción de madera. El entendimiento de la distribución potencial actual y futura de *Psidium guajava* L., es importante desde perspectivas ecológicas y productivas, así como desde los saberes y costumbres tradicionales que permiten reproducir prácticas culturales de la Región Sur del Ecuador (Mendoza et al., 2015)

Los escenarios de cambio climático son una herramienta que pueden proporcionar información importante sobre el clima futuro en una determinada área (Moreno et al., 2017). Esta información se puede utilizar para abordar los posibles impactos negativos del cambio climático sobre *Psidium guajava* (Moreno et al., 2017). Para ello, es necesario implementar metodologías que permitan utilizar información geográfica de alta resolución espacial, así como implementar modelos de cambio de uso de suelo que permitan evaluar las trayectorias futuras de los cambios de uso en la región sur del Ecuador en distintas escalas espaciales y temporales, utilizando escenarios de cambio climático IPCC AR5-RCP 4.5 y 6.0, hacia los años 2030, 2050 y 2080 (IICA, 2015).

El presente proyecto titulado: Impactos antrópicos, cambio climático, y vulnerabilidad de especies: el caso de *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador, evaluó la vulnerabilidad de la *Psidium guajava* frente a cambios de uso de suelo y fenómenos asociados al cambio climático hacia los años 2030, 2050 y 2080 para los escenarios RCP 4.5 y 6.0 en la región sur del Ecuador.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la vulnerabilidad de la *Psidium guajava* frente a cambio de uso de suelo y fenómenos asociados al cambio climático hacia el año 2080 para los escenarios RCP 4.5 y 6.0 en la Región Sur del Ecuador.

Objetivos específicos.

- Implementar modelos de distribución potencial *Psidium guajava*, para evaluar la superficie de distribución actual y futura para los años 2030,2050 y 2080 para los escenarios RCP 4.5 y 6.0 en la Región sur del Ecuador
- Evaluar las zonas de distribución potencial actual y futura de la *Psidium guajava.*, frente a procesos asociados al cambio de uso de suelo

4. Marco teórico

4.1. Cambio climático

El cambio climático es un fenómeno global de interés científico, político, social y mediático, debido a que afectan el bienestar humano, así como de las especies y de los ecosistemas (IPCC, 2014). Del mismo modo, el cambio climático afecta los ciclos biogeoquímicos, regulación del ciclo hidrológico y control biológico (Bell *et al.*, 2011). En Latinoamérica y el Caribe se ha registrado un incremento de 0,5°C a 3°C de la temperatura media entre los años de 1901 y 2012, observado cambios significativos principalmente en los bosques tropicales de América del Sur (Magrin, 2015).

Una de las principales razones del cambio climático es el aumento de GEI, provocado en su mayoría por actividades antrópicas como: la quema de combustibles fósiles, la deforestación, los cambios de uso de suelo, entre otros (Armijos y Patiño, 2010). Los GEI han incrementado progresivamente en los últimos 100 años, debido principalmente a las altas emisiones de CO₂, las cuales han incrementado en un 80 % entre 1970 y 2004 (Seppälä *et al.*, 2009). Donde Latinoamérica contribuye con el 5,3% de emisiones de CO₂ a nivel mundial. Y de acuerdo al Banco Mundial, (2021), los países en vía de desarrollo, son en su mayoría los más afectados por los impactos negativos del calentamiento global, debido a su baja capacidad de adaptación y mitigación frente a los impactos de cambio climático. Algunas de las predicciones de los impactos del cambio climático en la zona del Pacífico ecuatorial sostienen que la precipitación anual en esta zona se aumentará en un 20 % (Bates *et al.*, 2008).

4.2. Escenarios climáticos futuros

Los escenarios socioeconómicos y de emisiones se usan en la indagación de los efectos del clima, ya que ofrecen predicciones de cómo evolucionan en el futuro las maneras de generar energía, los usos del suelo, la tecnología, el grado socioeconómico y la proporción de gases de impacto invernadero (GEI) presentes en la atmósfera (Macías, 2016). Al grupo de escenarios que tienen dentro las predicciones de emisiones, su concentración y de usos del suelo se les conoce como Trayectorias de Concentración Representativa o (RCP por sus siglas en inglés), y aún deben basarse en escenarios de emisión y proyecciones previamente publicados (IPCC, 2020).

Tabla 1. Tipos de escenarios climáticos futuros

RCP	Descripción de las Condiciones Bajo el Escenario
RCP 2.8	Escenario más optimista, producción de bio – energía y reducción de un 40% de las emisiones de metano.
RCP 4.5	Reducción de emisiones ambiciosa, programas de reforestación y reducción de cultivos
RCP 6.0	Fuerte dependencia de los combustibles fósiles y emisiones de metano estables.
RCP 8.5	Escenario más pesimista, en el futuro no incluye cambios de leyes para reducir las emisiones.

Fuente: (IPCC, 2020).

Los escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) describen algunos de los desarrollos socioeconómicos futuros y actuales, basados en estudios y estadísticas, sobre cómo puede cambiar el mundo en las próximas décadas y que desafíos pueden traer estos cambios para adaptarse o mitigarse (Castillo et al., 2017).

El objetivo de las SSP es crear escenarios compuestos que incluyan consideraciones socioeconómicas y el medio ambiente que se verá afectado por el cambio climático y la política climática a través de su desarrollo, de tal manera que, se describen cinco tipos de trayectorias socioeconómicas (Figura 1) (Kriegler et al., 2013).

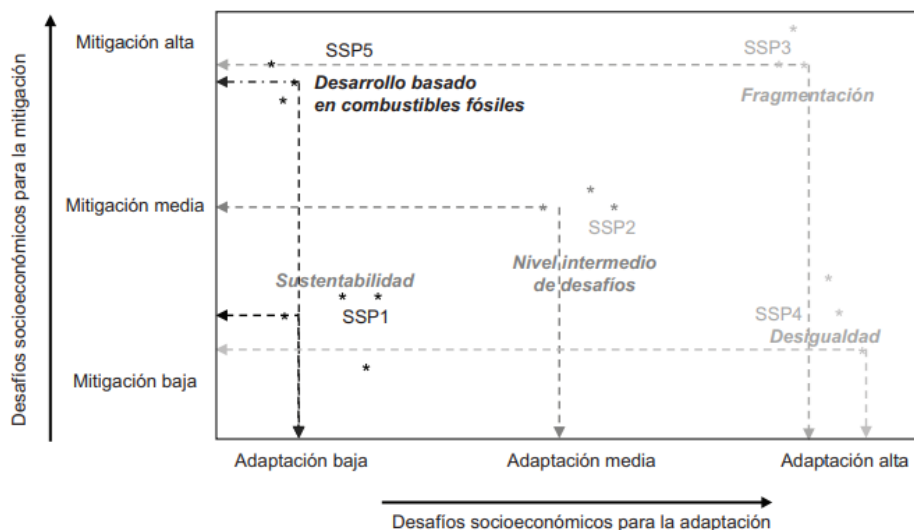


Figura 1. Tipos de escenarios con diferentes retos socioeconómicos de mitigación y adaptación (Castillo et al., 2017).

4.3. Vulnerabilidad de las especies ante el cambio climático

La vulnerabilidad de una especie frente a el cambio climático se refiere a su capacidad para responder y ajustarse a nuevas condiciones climáticas, de forma que esas especies que tengan una capacidad de respuesta reducida podrían ser las más vulnerables y con un alto riesgo de extinción (Arribas et al., 2012). En este sentido, la vulnerabilidad de una especie frente al cambio climático depende de dos componentes: a) su capacidad para conservar poblaciones en su área de distribución actual a pesar del cambio en las condiciones del medio ambiente (persistencia), y b) el potencial para colonizar nuevas áreas en el futuro que tengan las mismas condiciones ambientales que las actuales (Bellard et al., 2012).

Actualmente, la mayoría de los estudios que han evaluado la vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático se fundamentan en los modelos de distribución de especies (Bellard et al., 2012). Dichos modelos establecen la influencia de las variables climáticas sobre la distribución geográfica de una determinada especie, con la finalidad de crear mapas de distribución potencial. (Elith y Leathwick, 2009).

4.4. Cambios de uso de suelo

Las actividades antrópicas están perjudicando que el área de los ecosistemas naturales se encuentre progresivamente disminuyendo y a su vez el hábitat de muchas especies vaya

desapareciendo, ocasionando que muchas de las especies se encuentren en riesgo de extinción. Además, la contaminación del agua y suelo, debido al uso de productos químicos utilizados en la agricultura, medios urbanos, compactación de suelo, variación de ciclos hidrológicos, atmosféricos y ciclos de nutrientes, inciden en la disponibilidad de hábitats adecuados para el establecimiento de las especies (Laurance et al., 2012). Siendo las evaluaciones de cambio de uso trascendentales sobre los efectos potenciales del cambio de uso de suelo sobre los ecosistemas y su influencia directa sobre el cambio climático (Benavidez et al., 2021).

El crecimiento poblacional y la expansión de la frontera agrícola, son uno de los principales causantes de la deforestación (Rivero et al., 2013). Los estudios sobre la densidad poblacional, zonas protegidas, la pendiente o la altura de cada territorio influyen mayormente en el cambio de uso de suelo (Magbma y Fao, 2018).

4.5. Características morfológicas de *Psidium guajava* L.

Los frutos de la *Psidium guajava* L. (Guayaba) son bayas piriformes, globosas, esféricas, ovaladas o cilíndricas, con el epicarpio de color amarillo, rosado, verdoso y amarillo claro en plena madurez. El mesocarpio podría ser delgado o grueso y el endocarpio con muchas o escasas semillas, respectivamente. Las semillas varías, pequeñas, redondeadas, triangulares y bastante duras. El diámetro polar puede variar de 3 a 12 centímetros y el ecuatorial de 3 a 5 centímetros y la masa total del fruto puede oscilar entre 25 y 500 gramo (Molero et al., 2003).

Los agricultores han sometido estas plantaciones a procesos de selección creado nuevas «variedades» que se han adaptado de mejor manera a las condiciones ambientales (Becerra et al., 2016).

Las plantas tienen la posibilidad de responder a químicos mediante mecanismos fisiológicos a grado molecular, celular y de organismo, que producen cambios en el desarrollo y morfología; ajuste en el transporte iónico relacionadas con la concentración, expulsión y secuestro de iones, regulación de los sistemas de protección antioxidantes, cambios en la expresión de genes y proteínas, y otros mecanismos metabólicos, por tanto, la especie de *Psidium guajava* L, es una planta que sintetiza los lípidos convirtiéndola en una especie adaptable al ambiente donde se encuentre (Moreno, 2009).

La *Psidium guajava* L., se encuentra dentro de familia de las Myrtaceae. Es nativo del neotrópico y de la parte meridional de México, donde se estima que se extendió hacia las zonas tropicales y subtropicales a nivel mundial, encontrándose en América cerca de 140 especies del género *psidium* (Madriz et al., 2018).

Esta especie es utilizada en sistemas agroforestales ya que se utilizan los árboles como barreras naturales de terreno y se plantan árboles dispersos con el fin de proveer sombra; la guayaba ha sido considerada como una especie con potencial para la reforestación en zonas que han sido degradadas ya que áreas perturbadas facilitan la germinación y crecimiento de *P. guajava* L., (Kumari, et al., 2017).

4.6. Modelamiento de distribución de especies (MDE)

Los modelos de distribución de especies o modelos de nicho ecológicos son una herramienta que tienen como finalidad conocer la relación especie - hábitat y en la predicción de la distribución potencial bajo la influencia de determinadas condiciones ambientales. Dichos modelos predicen la posibilidad de que una especie se encuentre presente en una localización definida o para cuantificar la idoneidad del hábitat en función de diversos predictoras como el cambio de uso de suelo y escenarios de cambio climático (Maroneze et al., 2014).

4.7. Presencia de especies o ausencia de especies

La presencia o ausencia de las especies y la manera en que se distribuyen en un lugar geográfico se definen por componentes históricos, ecológicos y fisiológicos que varían durante la distribución, sometiendo a las especies a diferentes condiciones bióticas y abióticas. (Maciel et al., 2015). De acuerdo a Soberón (2014), una especie se encontrara en sitios donde las condiciones bióticas le permiten desarrollarse. Esa presencia va a poder ser tan amplia como su nicho fundamental lo sea, y va estar ausente una vez que la relación con otras especies le signifique un desplazamiento, por consiguiente, la zona de distribución resultante es de manera el nicho realizado. La presencia de una especie es dependiente de las limitaciones históricas o de dispersión, por lo cual una especie no continuamente se muestra en cada una de las superficiales potenciales.

4.8. Variables bioclimáticas, climáticas y topográficas

Las variables climáticas y topográficas se han usado para producir modelos de distribución potencial (Kreakie et al., 2012). Debido a que la temperatura, la precipitación y la topografía influyen en la distribución de las especies (Pautasso, 2012). Con la utilización de variables climáticas y determinados algoritmos, permiten obtener modelos de distribución potencial de las especies, permitiendo identificar las zonas con propiedades climáticas semejantes a los sitios en donde se encuentra desarrollándose una determinada especie (Plasencia *et al.*, 2014).

Se puede además integrar otros componentes del medio ambiente como la cubierta vegetal y los usos de suelo (Contreras et al., 2010), los cuales son considerados como componentes directos que determinan la presencia de las especies; sin embargo, se ha definido que las variables climáticas y topográficas (Mota et al., 2013). Por consiguiente, en funcionalidad del problema universal del cambio climático que sugiere que los cambios en el clima (representado por variables como la temperatura y la precipitación) generan cambios en la distribución de las especies (Harris et al., 2014).

4.9. Evaluación de variables

Uno de los métodos para evaluar las variables utilizadas en los modelos de distribución de especies es el factor de inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés), que sirve para detectar la multicolinealidad, que mide la correlación y la fuerza de relación entre las variables predictoras en el modelo de regresión. Es decir, si el valor es 1 indica que no hay correlación entre variables predictoras, entre 1 y 5 indica una correlación moderada y un valor mayor que 5 indica una correlación potencialmente severa entre variables predictoras, pero a menudo no son confiables (Copete, 2007). Por consiguiente, el Factor de inflación de la varianza mide la correlación de cada variable con una combinación de cada una de las variables del modelo (Zuur et al., 2010).

4.10. Técnicas de modelación

Entre las técnicas de modelación, se tiene la posibilidad de diferenciar cuatro técnicas importantes de la modelación de la distribución geográfica de las especies o ecosistemas la relación a modelos estadísticos de regresiones (Modelos Lineales Generalizados (GLM),

Modelos Aditivos Generalizados (GAM)), los procedimientos de categorización (Random Forest (RF), los procedimientos de "sobre" (Bioclim, ENFA) y esos basados en algoritmos específicos (GARP, MAXENT) (Pliscoff y Fuentes, 2011).

4.10.1. Modelamientos estadísticos de regresión

Los procedimientos basados en regresiones son los más usados, debido a que permiten implantar de manera clara el modelo estadístico que explica la interacción en medio de las cambiantes descriptivas y la existencia de presencia u ausencia de las especies y ecosistemas. Además, en las evaluaciones comparativas entre técnicas de modelación, dichos procedimientos son determinados como una de las técnicas de mejor resultado en la proyección sobre el espacio geográfico del modelo final (Pliscoff y Fuentes, 2011).

4.10.2. Métodos de clasificación

Se fundamentan en clasificaciones, donde se asigna una clase para cada conjunto de las variables predictivas que son utilizadas para generar el modelo (Rodríguez et al., 2007). Varias de las técnicas que se hallan en esta categoría, son identificadas como las de mejor resultado al intentar de discriminar el valor de las cambiantes para la generación del modelo final (Prasad et al., 2006). Sin embargo, paralelamente la caracterización del grupo de normas que define el modelo final es bastante compleja, por lo cual se hace difícil de interpretar (Pliscoff y Fuentes, 2011).

4.10.3. Métodos de "sobre"

Los procedimientos de "sobre" se fundamentan en el establecimiento de combinaciones de rangos de valores mínimos y máximos, en medio de las cambiantes usadas para la definición del nicho. Donde se define un lugar o "sobre" en que se da la conjunción de valores deseada, dentro del espacio n-dimensional de las cambiantes. Este es el enfoque más antiguo de modelación, pero se ha ido abandonando con la época, debido a que da una definición bastante poco flexible del espacio ambiental, sin tener presente los diversos tipos de colaboraciones que se otorgan en medio de las cambiantes (por ejemplo, colinealidad) o el impacto de la distancia geográfica en medio de las presencias (autocorrelación espacial) (Pliscoff y Fuentes, 2011).

4.10.4. Algoritmos específicos

En los últimos años ha tomado fuerza la utilización de técnicas fundamentadas en algoritmos específicos (máxima entropía, algoritmos genéticos). Han sentido un crecimiento exponencial en el número de publicaciones y estudios asociados a la modelación del reparto geográfico de especies y ecosistemas, por la facilidad de su aplicación y la velocidad con que tienen la posibilidad de obtener resultados. En este entorno destaca el programa MAXENT (Elith et al., 2011) que, utilizando un algoritmo de máxima entropía, consigue resultados robustos en términos de la proyección espacial del reparto, en especial una vez que se cuenta con pocos datos de presencias, no obstante, la relevancia de las cambiantes del medio ambiente y su evaluación estadística se preserva en disputa (Pliscoff y Fuentes, 2011).

4.10.5. Ensamble de técnicas

Este tipo de técnicas tienen como propósito reducir las incertidumbres relacionadas a los modelos de distribución potencial, en especial con respecto a la validez estadística de los resultados. BIOMOD es una técnica de ensamble, que posibilita utilizar a la vez diez técnicas de modelación. Es un programa con lenguaje estadístico R que es usado primordialmente para examinar proyecciones de distribución actual y futura, bajo escenarios de cambio climático (Pliscoff y Fuentes, 2011).

4.11. Calibración de modelos

La calibración del modelo tiene relación directa con los procesos estadísticos que tienen como propósito el ajuste del modelo, que luego se proyectará en el espacio geográfico. El tipo de calibración dependerá de la técnica que se encuentre usando. El desarrollo de la aplicación de las técnicas en los últimos años permitió hacer evaluaciones con diversos tipos de organismos, a diversas escalas espaciales y sobre diferentes espacios geográficos (Pliscoff y Fuentes, 2011).

La calibración es la evaluación más precisa de la confiabilidad del modelo, pero no se mide fácilmente para todos los algoritmos, por consiguiente, algunos autores se han centrado en medidas de categorización y discriminación de la misma (Sillero et al., 2021). Las métricas categóricas son una de las más comunes y se basan en matrices de confusión. Esta matriz es una tabla bidimensional donde los casos reales de cada clase (presencia/ausencia) se cuenta por

filas contra los casos predichos por el algoritmo (columnas). Las medidas más importantes de este tipo son la sensibilidad y la especificidad, es decir, la abundancia y la ausencia correctamente clasificadas, que son la base de cálculo más utilizada en los modelos de distribución de una especie en sí (Castro et al., 2022).

4.12. Validación de modelos

La validación se enfoca en la fiabilidad de los resultados de los modelos, más que en la definición de uno como útil o erróneo. La manera idónea de evaluar el resultado es comparándolo con un grupo de presencias independientes al que se está utilizando, lo cual es complicado de hacer ya que se poseen datos de presencia limitados, esto aborda procediendo a dividir el grupo de datos en 2 set: uno de calibración y otro de evaluación (Pliscoff & Fuentes, 2011).

La validación de un modelo final de distribución potencial de especies y la comparación con varios métodos aplicables se realizan mediante estadísticos que miden el rendimiento y la consistencia del modelo, al momento de discriminar las presencias, ausencias o pseudoausencias y datos independientes de contraste (Castro et al., 2022). Varios autores están de acuerdo que la validación, con datos que son independientes de los datos utilizados para construir el modelo, es preferible a la validación donde no hay un conjunto de datos independiente y los modelos se evalúan y ejecutan en el mismo conjunto de datos. Unas de las técnicas más utilizadas son el ROC (Receiver Operating Characteristic) o el área bajo la curva de la gráfica AUC y el True Skill Statics o TSS. El ROC varía de 0 a 1 y TSS varía de -1 a 1, siendo 0.5 y 0 el valor ROC y TSS para un modelo diferenciado aleatoriamente (Castro et al., 2022).

4.13. Proyección actual y futura

Según Pliscoff y Fuentes (2011), la generación de un modelo de distribución potencial de especies, se centra proyección en el espacio geográfico y en el espacio climático donde una determinada especie se encuentra. Donde, los valores binarios conseguidos de un umbral, son proyectados al espacio geográfico, por lo cual tienen la posibilidad de representar en forma cartográfica. El modelo de distribución se puede proyectar en el espacio geográfico y climático, usando diferentes descriptores ambientales, sin embargo, se pueden proyectar en el futuro, usando descriptores que correspondan a los tiempos que se quieran examinar. Este proceso de

transferencia temporal del modelo de distribución necesita de enfoques diferentes de calibración y evaluación.

Actualmente las investigaciones sobre los modelos de distribución de especies se enfocan generalmente en la proyección actual y futura, bajo un contexto de cambio climático. Existiendo información climática global con muy buena resolución que permiten generar conjuntos modelos de distribución de especies para diferentes dinámicas espaciales y temporales (Hijmans y Graham, 2006).

5. Metodología

La presente investigación tiene un enfoque correlacional – cuantitativo, donde se analizan variables correspondientes a datos climáticos, topográficos y puntos de presencias de la especie de *Psidium guajava* L, que permitió obtener información sintetizada mediante modelos de distribución potencial de *Psidium guajava* L, en la región sur del Ecuador para el período actual, así como para los años 2030, 2050 y 2080 bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0.

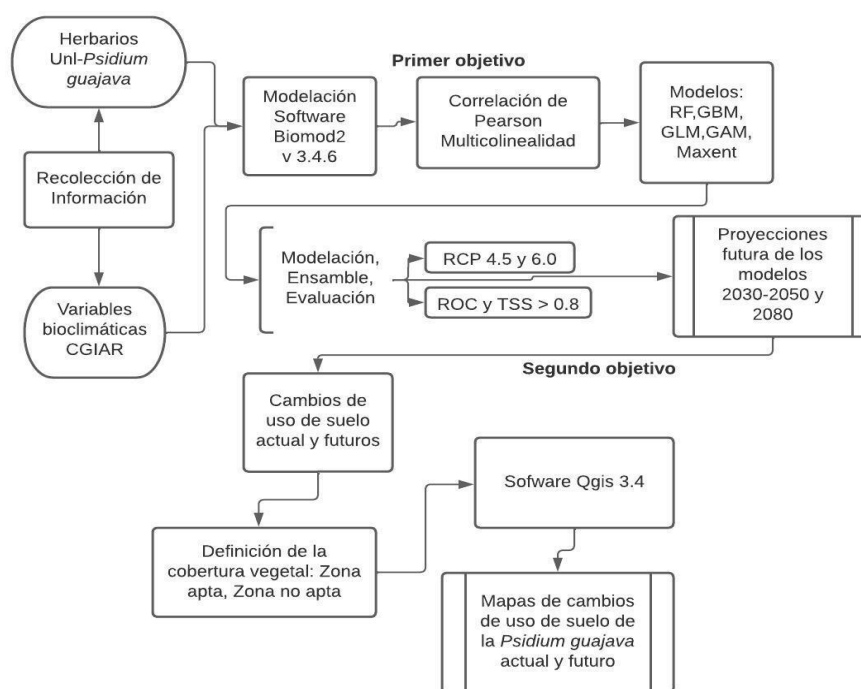


Figura 2. Flujograma de la modelación y cambios de uso de suelo bajo escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, actual y futuro para los años 2030,2050 y 2080 de la *Psidium guajava* en la RSE.

5.1. Área de estudio

El área de estudio de la presente investigación se realizó considerando la Región Sur del Ecuador, que comprende las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe (Figura 2), cubriendo una superficie de 27.569 km² que representa el 11% del territorio nacional del Ecuador (Samaniego et al., 2015). Se encuentra entre los 3°30' y 5°00' de latitud sur y los 78°20' y 80°30' de oeste, contando con elevaciones que van desde los 0 hasta los 3800 m.s.n.m., donde

su red hidrológica principal está formada por los ríos Jubones, Puyango y Catamayo en la vertiente del Pacífico y los ríos Zamora y Chinchipe del Atlántico (Z. Aguirre et al., 2017).

La Región Sur del Ecuador en general, presenta tres tipos de clima (Samaniego et al., 2015): a) Un clima subtropical seco a semihúmedo, b) clima tropical semihúmedo a humedad media y c) un clima tropical muy húmedo. El primer tipo de clima es característico de la parte occidental del Litoral y la parte sur occidental de la zona Andina (Zapotillo, Macará, parte baja de Puyango, Pindal) (Peters et al., 2013). El segundo tipo de clima que se destaca en esta región del Ecuador es el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo, éste predomina en gran parte de la zona Andina, a excepción de las vertientes de sotavento (Malacatos, Catamayo, etc.) (Kottek et al., 2006). Finalmente, el tercer tipo de clima corresponde al clima tropical megatérmico muy húmedo, que se concentra espacialmente en la provincia de Zamora Chinchipe (Samaniego et al., 2015).

Provincia de Loja: Posee una superficie de 11.063,79 km², y corresponde al 4,3 % del territorio nacional, limita al Norte con las provincias de Azuay y El Oro, al Sur y al Oeste con la República del Perú, al Este con Zamora Chinchipe, y presenta una altimetría que va desde los 120 hasta 3 880 m.s.n.m, prevalecen el clima tropical, subtropical y temperado, con rangos de temperatura que van desde los 10 °C a más de 26 °C (Prefectura de Loja, 2019).

La provincia del Oro cuenta con una superficie de 5.988 km², políticamente se divide en 14 cantones y tiene una población de 525.763 habitantes. Sus actividades económicas se basan en la producción de banano, arroz, café, cacao, camarón, comercio, navegación, extracción de oro, industria alimentaria, mariscos y pesca (PDOT, 2019).

La provincia de Zamora Chinchipe tiene una superficie de 10.556 km², dividida políticamente en 9 cantones, posee una población de 76.601 personas. Su actividad económica se basa en la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la minería (PDOT, 2014).

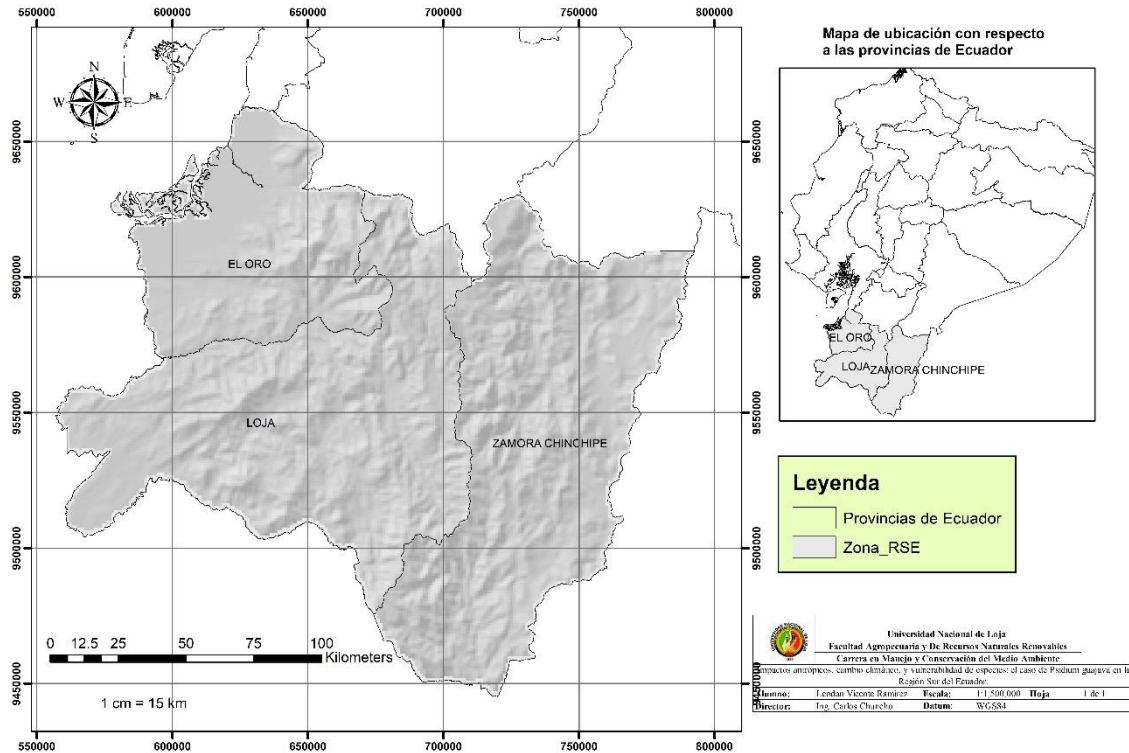


Figura 3. Mapa de Ubicación de la Región Sur del Ecuador.

5.2. Metodología para implementar modelos de distribución potencial *Psidium guajava*.

Los modelos de distribución potencial de *Psidium guajava*, para el período actual y futuro (2030, 2050 y 2080) bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, se realizó haciendo uso de la librería Biomod2 v.4.0 implementado en software de acceso libre R Core Team (Thuiller et al., 2016). Biomod2 v4.0. ofrece diez técnicas de modelación (Tabla 2), los cuales permiten contar con modelos más robustos (Thuiller et al., 2009).

5.2.1. Datos de presencia y ausencia

Los registros de presencia de la especie de *Psidium guajava*, fueron obtenidos a partir del sitio web GBIF (<https://www.gbif.org/>) y de consultas en fuentes de información secundaria como: tesis manuales, artículos científicos, entre otros. Para la modelación de la distribución potencial de *Psidium guajava* se usaron registros de presencia a nivel nacional, de esta forma se contó con un total de 692 puntos de presencia de *Psidium guajava*, adicional a ello se generó en el software de acceso libre Qgis v3.14, una malla de 10 000 puntos de ausencias

los cuales fueron considerados como pseudo ausencias, es decir, donde presumiblemente la especie de *Psidium guajava*, se encuentra distribuida.

Para crear el modelo de distribución potencial con los datos de presencia, se creó un archivo en formato tipo CSV, donde se señaló 3 campos relevantes: X (longitud), Y (Latitud) y nombre de la especie, en este último campo, los valores de presencia van a ser representados por el número 1 y los valores de ausencia por el número 0. Los campos para las coordenadas X y coordenadas Y, tienen que expresarse en el sistema de coordenadas geográficas (Datum, WGS 84).

5.2.2. Variables bioclimáticas

En la presente investigación se trabajó con variables bioclimáticas (Tabla 1), las mismas que permitieron generar los modelos de distribución potencial de *Psidium guajava*, en el espacio geográfico y espacio climático. Estas variables se usaron cuidadosamente, ya que tienen la posibilidad de presentar inconvenientes referentes a los valores de las variables en las regiones de la zona en donde no exista una buena cobertura de estaciones meteorológicas.

Tabla 2. Descripción de las 19 variables bioclimáticas.

Variables	Descripción
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango de temperaturas diurnas
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso

BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

Fuente: (Fick y Hijmans, 2017).

Las condiciones bioclimáticas presentes y futuras se obtuvieron a partir del portal web de CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), (<http://www.ccafs-climate.org/>). Además, se consideran variables topográficas como elevación, pendiente y aspecto a resolución espacial de 1 km, esta información se extrajo a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) de la RSE. Todo este conjunto de variables permite explicar la distribución potencial de *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador.

5.2.3. Calibración del modelo

El modelo de distribución potencial se realizó combinando los registros de presencias y pseudoausencias de la especie con las variables ambientales elegidas, 19 variables bioclimáticas y cuatro variables topográficas. Para el conjunto de las 23 variables biofísicas, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) y de correlación de Pearson con la finalidad de seleccionar las variables explicativas, para seguidamente realizar la validación de datos (Anexo 4). Posteriormente, mediante la ejecución de un algoritmo se hizo uso de las 10 técnicas de modelación (Tabla 3) que Biomod2 ofrece con la finalidad de obtener modelos más robustos y de mejor calidad al momento de realizar los ensambles finales. Adicionalmente se aplicó la prueba Jackknife que permitió determinar las contribuciones individuales de cada una de las variables al modelo según lo recomendado (Kamyo & Asanok, 2020).

Tabla 3. Técnicas para la construcción de modelos de distribución de especies.

Técnica	Nombre
GLM	Modelo lineal generalizado
GBM	Modelo de refuerzo generalizado
GAM	Modelo aditivo generalizado

CTA	Análisis del árbol de clasificación.
ANN	Red neuronal artificial
SER	Envolvente de rango de superficie
FDA	Análisis Discriminante Flexible
MARS	Splines de regresión adaptativa múltiple
RF	Bosque aleatorio
BIOCLIM	Similar a SRE pero ejecutada por “dismo”

Fuente: (Thuiller et al., 2021).

5.2.4. *Evaluación del modelo*

Para la evaluación de cada modelo en la fase de simulación se implementaron dos métodos, ROC y TSS, en los cuales el 70% del total de registros de presencia de *Psidium guajava*, fueron utilizados para la calibración y el 30% para la evaluación de los modelos. Donde cada modelo debía obtener valores superiores a 0,8 en cada técnica de evaluación, y aquellos modelos que no superaron este umbral fueron rechazados para la construcción de los ensambles finales (Araújo et al., 2005).

Usando las estadísticas del AUC o el área bajo la curva ROC, se logró calcular la sensibilidad y especificidad de los valores de ocurrencia de especies interceptando las corrientes con las categorías de cada modelo obtenido. Esta curva se basa en un conjunto de diferentes umbrales, correspondientes al eje Y “sensibilidad” y “especificidad” para el eje X para cada término, ambos ejes tienen valores de 0 a 1 (Cerdeira & Cifuentes, 2012). Cuando se consideran valores de 0,5, el modelo no tiene previsibilidad, es decir, que no es distinto a un modelo que funciona al azar, mientras que los datos de 0,7 a 0,9 se consideran buenos y los valores superiores a 0,9 se consideran excelentes (Mateo et al., 2012). En las estadísticas kappa valores menores a 0.05 no tienen precisión, entre 0.05 y 0.20 es muy poca precisión, entre 0.21 y 0.40 es poca precisión, entre 0.41 y 0.60 es aceptable, entre 0.61 y 0.80 es muy buena, entre 0.81 y 0.90 es casi perfecto (Cerdeira y Cifuentes, 2012).

5.2.5. *Simulación o proyección del modelo.*

La etapa final del modelo fue la simulación p proyección, donde se realizó la modelación de la distribución potencial de *Psidium guajava*, para los años 2030, 2050 y 2080,

bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0. Estos modelos permitieron evaluar las posibles limitaciones que esta especie puede tener en un futuro próximo (Benavidez et al., 2021).

5.3. Metodología para la evaluación de las zonas de distribución potencial actual y futura de la *Psidium guajava*, frente a procesos asociados al cambio de uso de suelo.

Con los modelos de distribución potencial de *Psidium guajava*, generados para el periodo actual y para los años 2030, 2050 y 2080, bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, se realizó una evaluación de los modelos de la distribución potencial, por medio de la utilización de procedimientos geomáticos que permitieron cuantificar la proporción de píxeles donde se espera que *Psidium guajava*, esté distribuida en el futuro y como podría verse amenazada bajo los diferentes condiciones que establecen los escenarios climáticos y los cambios de uso de suelo.

5.3.1. Definición del cambio de uso de suelo

Para la realización del segundo objetivo las fuentes de información y base de datos de cambios de uso de suelo se las obtuvo del (MAE y SNI). Mientras tanto, que para los usos de suelo futuros la base fue de PFT (Plant Functional Type, por sus siglas en inglés) (Chen et al., 2022), bajo los escenarios SSP 2- RCP 4.5 y SSP 4-RCP6.0 ambos para los años 2030,2050,2080 y se clasificó de la siguiente manera zonas aptas y no aptas para la reproducción de la *Psidium guajava*, en la región sur del Ecuador (Tabla 4 y 5).

Tabla 4. Cobertura Vegetal ((MAE (Ministerio del Ambiente) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2014).

Código	Cobertura Vegetal	Clasificación
1	Bosque	Zonas Aptas de Reproducción de la especie <i>Psidium guajava</i> L.
2	Vegetación Arbustiva	
3	Tierra Agropecuaria	
4	Cuerpos de Agua	Zonas No Aptas de Reproducción de la especie <i>Psidium guajava</i> L.
5	Suelo Desnudo	
6	Zona Antrópica	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Cobertura vegetal y uso de suelo globales (2030,2050,2080).

Código	Cobertura Vegetal	Clasificación
1	Tierras de Cultivo	
2	Árbol de hoja perenne, de hoja ancha tropical.	
3	Árbol de hoja perenne de hoja ancha, templado	
4	Árbol caducifolio de hoja ancha, tropical	
5	Árbol caducifolio de hoja ancha, templado	Zona apta para la reproducción de <i>Psidium guajava</i> L., en la RSE.
6	Árbol caducifolio de hoja ancha, boreal	
7	Árbol de hoja perenne de hoja de aguja, templado	
8	Árbol de hoja perenne de hoja de aguja, boreal	
9	Árbol caducifolio de hoja de aguja	
10	Arbusto perennifolio de hoja ancha, templado	
11	Arbusto caducifolio de hoja ancha, templado	
12	Arbusto caducifolio de hoja ancha, boreal	
13	C3 hierba, ártico	
14	C3 hierba	Zona no apta para la reproducción de <i>Psidium guajava</i> L., en la RSE.
15	C4 hierba	
16	Césped mixto C3/C4	
17	Estéril	
18	Agua	
19	Urbano	

Fuente: (Chen et al., 2022)

5.4. Evaluación de cambios de uso de suelo para la distribución actual y futura

Se utilizó el software QGIS para identificar los cambios de uso de suelo para los años 2030, 2050 y 2080, proporcionando evaluaciones estadísticas de los cambios cuantitativos en las ganancias y pérdidas para diferentes clases de cobertura. De igual manera, se cuantificó la contribución de cada categoría, en este caso, se las clasifiqué como zonas aptas y no aptas (Tabla 6).

Tabla 6. Herramientas utilizadas para el procedimiento de la metodología en QGIS.

Herramientas que se utilizaron en el análisis de los usos del suelo futuros en la RSE para la <i>Psidium guajava</i> en el QGIS	
Extract by mask	Recortes de uso de suelo futuros y el shape de la RSE.
Raster to Polygon	Luego se utilizó esta herramienta para convertir de ráster a shape, con el fin de poder visualizar las categorías de uso de suelo.
Dissolve	Este instrumento se utilizó con el fin de sintetizar datos referentes a la categorización de los usos.
Data export	Aquí se exporta las zonas aptas y no aptas con respecto a los usos de suelo.
Erase	Finalmente se utiliza esta herramienta para sobreponer la distribución potencial con las zonas no aptas para tener una proyección más realista de la especie y finalmente realizar mapas cartográficos para la evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Análisis estadístico

De las variables topográficas y bioclimáticas disponibles, no todas fueron utilizadas para crear los modelos de distribución potencial de *Psidium guajava*, debido a que algunas fueron de explicaban de mejor manera la distribución de *Psidium guajava*, para la generación de los modelos de la distribución potencial, por lo cual se implementó filtros estadísticos con la finalidad de eliminar la multicolinealidad (Becerra et al., 2016).

Se implementarán dos métodos para seleccionar las variables a utilizar para eliminar la multicolinealidad y el sobreajuste del modelo. El primer método implementado fue la correlación de Pearson por pares, para ello se estableció el umbral de 0.7, donde todas aquellas variables que superaron este umbral fueron eliminadas (Feng et al., 2019). El segundo método fue el Factor de Inflación de la Varianza (VIF), donde las variables no debían superar el umbral $VIF > 10$, en primera instancia y en un segundo análisis no debían superar el $VIF > 5$ (Gómez et al., 2016). Estos métodos están implementados en la biblioteca "corrplot" y "ecospat" para correlación y "usdm" en VIF y ambos están implementados en el software R Core Team (2021).

6. Resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación se indican a continuación de la siguiente manera en: a) recolección de la información de la especie *Psidium guajava* L., de la base de datos de herbarios y de la base de datos de la Universidad Nacional de Loja, b) depuración de la información climática obtenida de la base de datos de CCAFS de la época actual y los años 2030,2050 y 2080, c) generación de los modelos predictivos de la distribución potencial de estos periodos, d) determinación y evaluación de los modelos mediante ensambles ROC y TSS.

La selección de la especie de *Psidium guajava* L., para este estudio se debió a su importancia, ya que constituye un cultivo transcendental en todos los trópicos, subtrópicos ubicados en Centroamérica, Sudamérica, Ecuador y gran parte de la Región Sur del Ecuador, debido a su capacidad de dispersión de semillas, siendo *Psidium guajava*, hábitat de varias especies como aves e insectos.

6.1. Implementación de modelos de distribución potencial *Psidium guajava* L., para evaluar la superficie de distribución actual y futura para los años 2030,2050 y 2080 para los escenarios RCP 4.5 y 6.0 en la Región sur del Ecuador.

Para las variables climáticas y topográficas, se utilizó el estadístico factor de inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés), que permitió eliminar la multicolinealidad, la cual midió la correlación y la fuerza de relación entre las variables predictoras para el modelo de distribución potencial de *Psidium guajava*, dando como resultado una correlación moderada ya que los valores varía de 1 a 5, y una correlación severa en la variable bioclimática del parámetro BIO 19 (Tabla 7).

Tabla 7. Variables bioclimáticas y topográficas de la RSE utilizadas para la modelación.

Variables	VIF
BIO 12	3.255
BIO 15	3.624
BIO 18	2.305
BIO 19	8.310
BIO 3	3.148

BIO 7	3.810
BIO 9	4.122
Hillshade RSE	2.591
Slope RSE	3.593

Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación de la capacidad predictora de las técnicas de modelación, se obtuvieron valores superiores a 0.9 en los test ROC y TSS, obteniendo como resultado modelos de predicción muy buenos, no obstante, en el modelo SRE y GLM alcanzaron valores inferiores a 0.9, descartándolos para los ensambles finales (Tabla 8).

Tabla 8. Evaluación de las técnicas de modelación de la distribución de la *Psidium guajava* L., en la RSE con los test Receiver Operating Characteristic (ROC) y True Skill Statistic (TSS).

Modelo	ROC	TSS
GLM	0,89	0,76
GBM	0,99	0,97
CTA	0,94	0,87
SRE	0,70	0,40
FDA	0,96	0,91
MARS	0,98	0,97
RF	0,99	0,99

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las variables bioclimáticas y topográficas se seleccionaron: Temperatura media anual (BIO 1), Precipitación Anual (BIO 12) y el Modelo de Elevación Digital (DEM). Obteniendo como resultados que la probabilidad de la temperatura bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0 se encuentra en el rango de 15.18 °C a 20.16 °C, para los años años 2030, 2050 y 2080, mientras que la probabilidad de precipitaciones se encuentra entre los 1250 a 1375 mm y con rangos altitudinales que van desde los 1000 a 1500 m.s.n.m, para todas las dinámicas temporales y bajo los dos escenarios climáticos (Tabla 9).

Tabla 9. Valores probabilísticos de temperatura, precipitación, elevación de la especie *Psidium guajava* L. en la Región Sur del Ecuador

Escenario	BIO 1 Temperatura	BIO 12	DEM
	°C	Precipitación	Elevación
Actual	15.68	1 350	1 500
RCP 4.5 2030	19.91	1 350	1 000
RCP 4.5 2050	20.16	1 300	1 000
RCP 4.5 2080	20.00	1 375	1 100
RCP 6.0 2030	19.16	1 250	1 000
RCP 6.0 2050	20.16	1 300	1 200
RCP 6.0 2080	20.16	1 300	1 200

Fuente: Elaboración propia.

Escenario RCP 4.5 2030

La evaluación de la *Psidium guajava*, con respecto a su distribución actual, se observó que existe una probabilidad de pérdida de superficie de distribución potencial en la parte sureste de la región sur del Ecuador, con una probabilidad la ganancia respecto al área, se encuentra principalmente en la parte noroeste, mientras que, la persistencia se mantiene en gran parte de la RSE (Figura 4).

La probabilidad de distribución potencial de *Psidium guajava*, para el escenario actual es de ~1 401 955 ha que, corresponde al 51 % de la superficie total de la región sur del Ecuador. Existiendo una probabilidad de pérdida de ~463 862 ha (33%), ganancias de ~631 205 ha (45 %) y con una persistencia de ~938 093 hectáreas (67%) para el escenario RCP 4.5 2030 (Tabla 10)

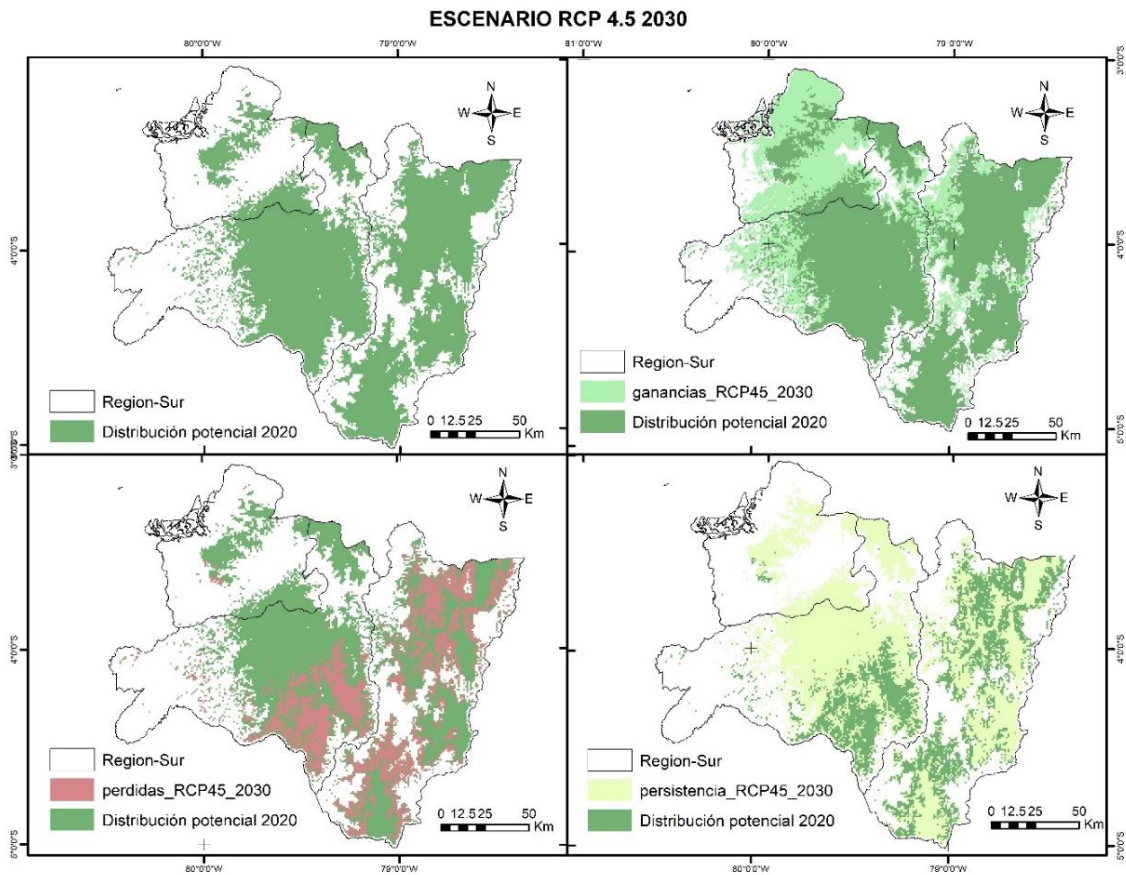


Figura 4. Escenario RCP 4.5 2030: Ganancias, pérdidas y persistencia de la *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador.

Escenario RCP 4.5 2050

Para el año 2050 bajo el escenario climático RCP 4.5, podría existir una pérdida de superficie en la parte sureste de la RSE debido a los cambios climáticos, mientras que, en la parte suroeste de la RSE hay mayor ganancia en cuanto a superficie, debido principalmente a a las zonas de protección y conservación que existen, mientras que el área de persistencias es un poco más elevada con respecto al escenario RCP 4.5 2030, debido probablemente al cambio de estaciones y de las variables bioclimáticas que se mantienen en la zona. Así mismo, la especie *Psidium guajava.*, experimentó una transición significativa, con pérdidas de ~402 575 ha (29 %) y 736 403 ha, con ganancias de área correspondiente al 53 %, con una persistencia del 71 % equivalente a 999 342 ha, comparado al 2030, incremento una ganancia del 8 % y una persistencia del 4%. (Figura 4 y Tabla 10).

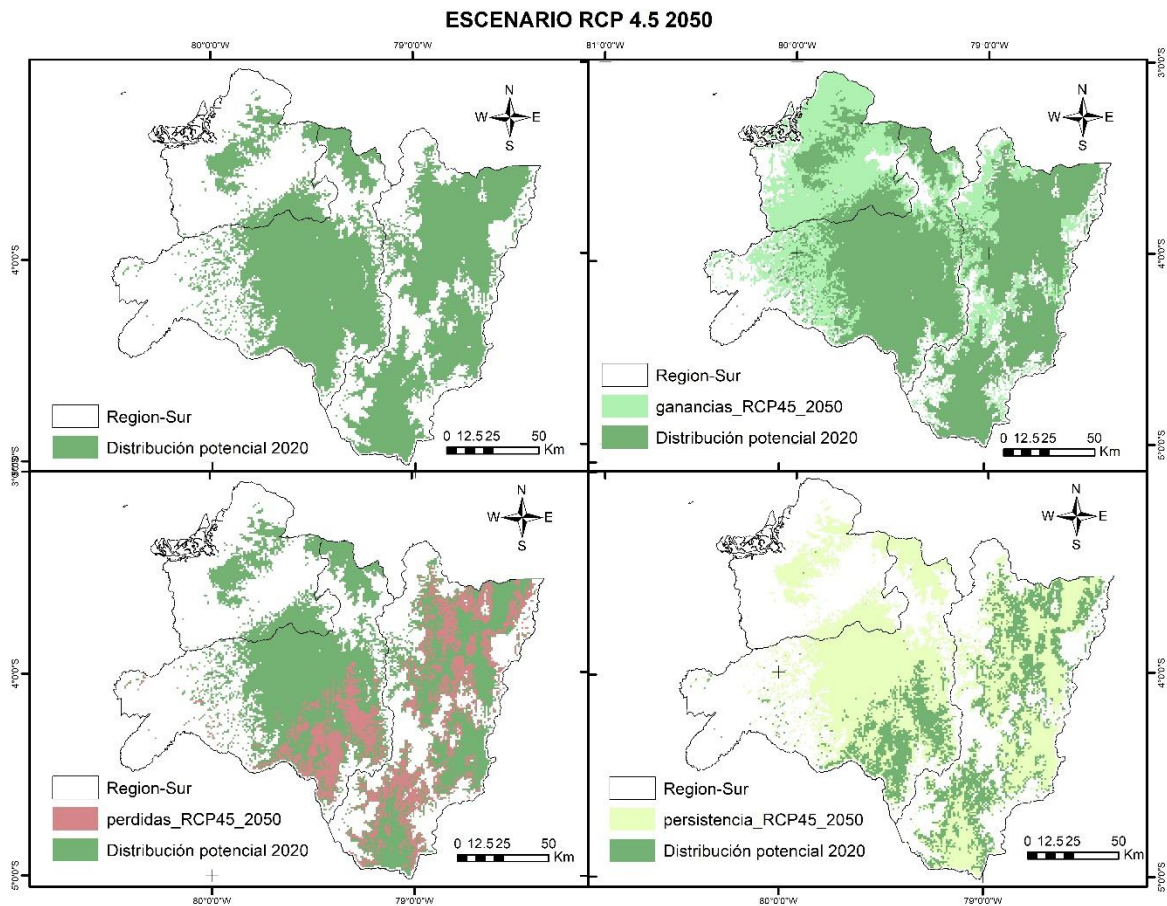


Figura 5. Escenario RCP 4.5 2050: Ganancias, pérdidas y persistencia de la *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador.

Escenario RCP 4.5 2080

Para el año 2080, existe una pérdida significativa, respecto a los anteriores escenarios 2030 y 2050 en la parte sureste de la RSE debido a los cambios antrópicos y uso de suelo, asimismo, en la parte suroeste de la RSE, la probabilidad de ganancia de superficie disminuyó notablemente respecto al escenario 2050, debido probablemente al cambio de estaciones y a las intervenciones del ser humano, por otra parte, la persistencia podría aumentar referente al escenario 2030 y 2050, debido presumiblemente a las variables bioclimáticas que se mantienen en la zona y que luego son distribuidas en diferentes áreas. La superficie de la especie *Psidium guajava* L., experimentó una transición significativa, con una pérdida de ~381 440 ha que corresponde al 27 % y ~677 280 ha de ganancia (48%), con una persistencia del 73 % equivalente a ~1 020 474 ha (Tabla 10).

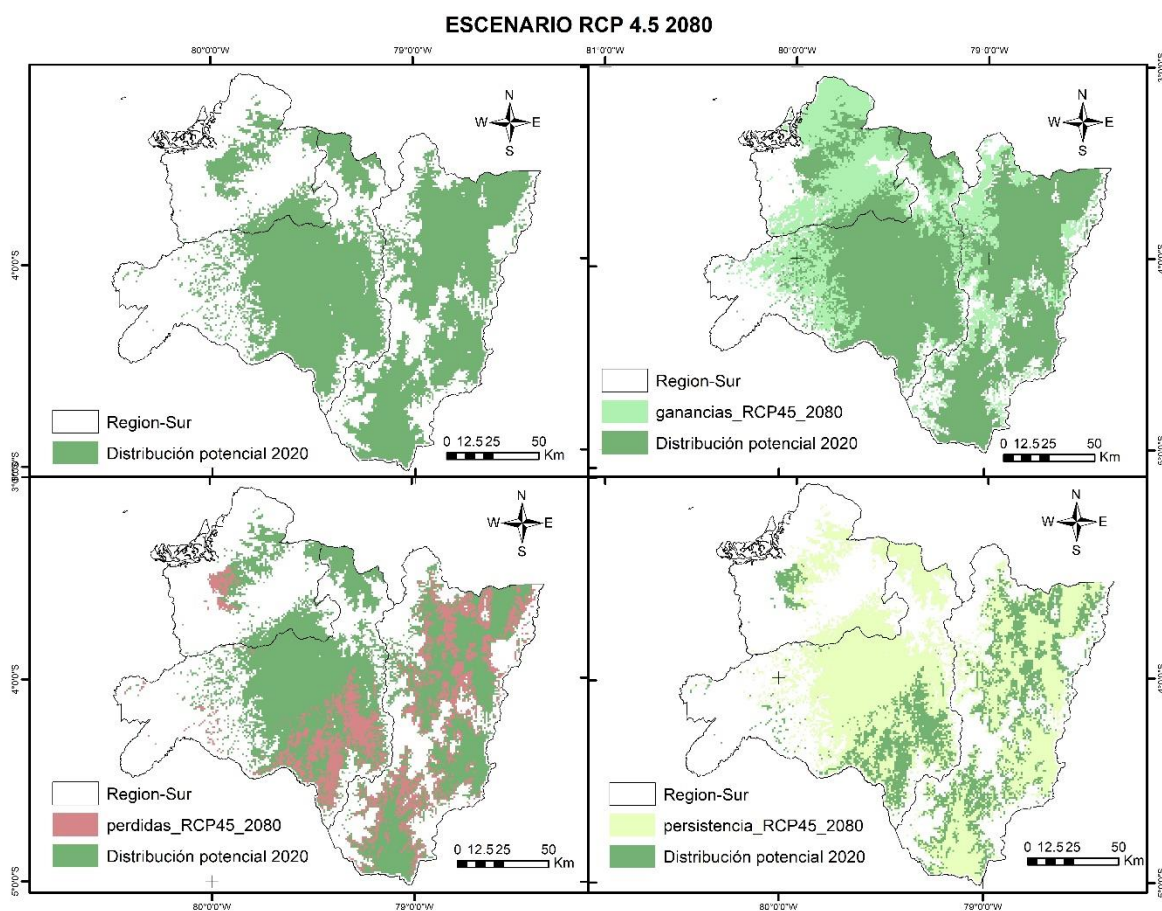


Figura 6. Escenario RCP 4.5 2080: Ganancias, pérdidas y persistencia de la *Psidium guajava*, en la región sur del Ecuador.

Tabla 10. Ganancias, pérdidas y persistencias de distribución actual y futura de la *Psidium guajava*, en la región sur de Ecuador.

Descripción	RCP 4.5 Escenario					
	Año 2030		Año 2050		Año 2080	
	ha ~	%	ha ~	%	ha ~	%
Ganancia	631 205	45%	736 403	53%	677 280	48%
Perdida	-463 862	-33%	-402 575	-29%	-381 440	-27%
Persistencia	938 093	67%	999 342	71%	1 020 474	73%

Fuente: Elaboración propia

Escenario RCP 6.0 2030

La distribución potencial en el escenario actual de *Psidium guajava*, se encuentra en su mayoría en la provincia de Loja y Zamora con menor presencia en la provincia de El Oro. Existiendo una probabilidad de que la distribución potencial para el escenario 2030 se obtuvo una ganancia de ~533 665 ha equivalente al 38 %, asimismo, se experimentó una pérdida significativa de ~577 161 ha (41 %), con persistencias de ~824 731 ha (59 %) con respecto a la distribución potencial del escenario actual (Tabla 11 y Figura 7).

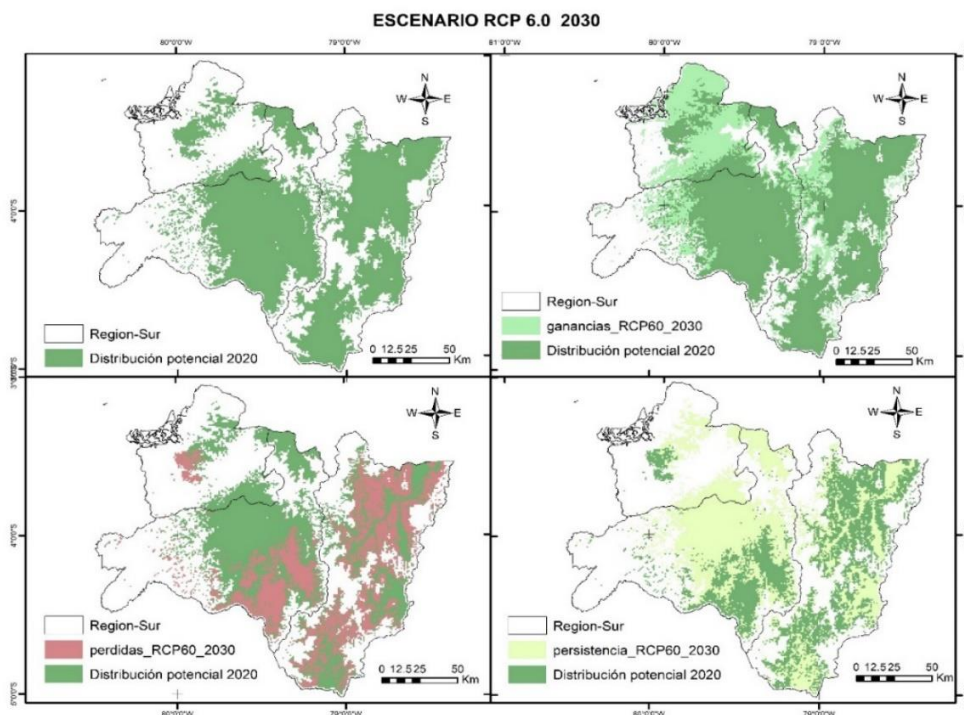


Figura 7. Escenario RCP 6.0 2030: Ganancias, pérdidas y persistencia de la *Psidium guajava*, en la región sur del Ecuador.

Escenario RCP 6.0 2050

La distribución potencial de la especie para el escenario RCP 6.0 2050, indicaron que existe una probabilidad de ganancias de ~585 507 ha correspondiente al 21 %; comparado con el escenario RCP 6.0 2030, se observa que existe un aumento de superficie con un total del 3 %, mientras que la pérdida de área para el escenario RCP 6.0 2050, es de ~476 006 ha, (17 %), contrastando con el año 2030 hubo una disminución del 4 %, y en la persistencia para el año 2050 se determinó que existe una probabilidad de permanencia de 925 890 ha equivalente al 34

%, demostrado que en el escenario 2030 tuvo un aumento del 4 % al año 2050. (Tabla 11 y Figura 8).

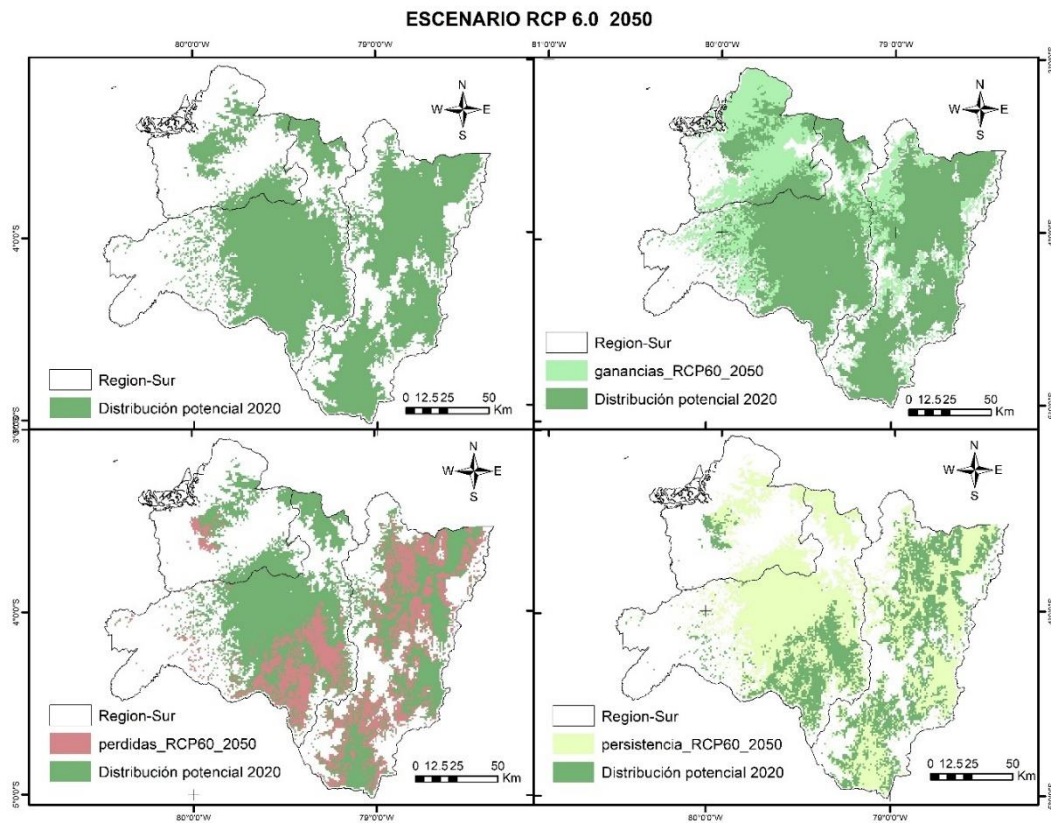


Figura 8. Escenario RCP 6.0 2050: Ganancias, pérdidas y persistencia de la *Psidium guajava*, en la región sur del Ecuador.

Escenario RCP 6.0 2080

En el escenario RCP 6.0 2080, existe una probabilidad de ganancias de superficie de ~731 685 ha equivalente al 52%, comparado con los escenarios 2030 y 2050 ha aumento un 14 y 10 % respectivamente, no obstante, en la pérdida de área de hubo una pérdida del 24 %, ~331 729 ha, comparado con el 2030 y 2050 disminuyó un 10 y 17 % con respecto a la distribución del escenario actual, esto es debido presumiblemente a los factores climáticos, mientras que, en la persistencia en el año 2050, existe una probabilidad de un aumento del 17 % contrastado al 2030 (Tabla 11 y Figura 9).

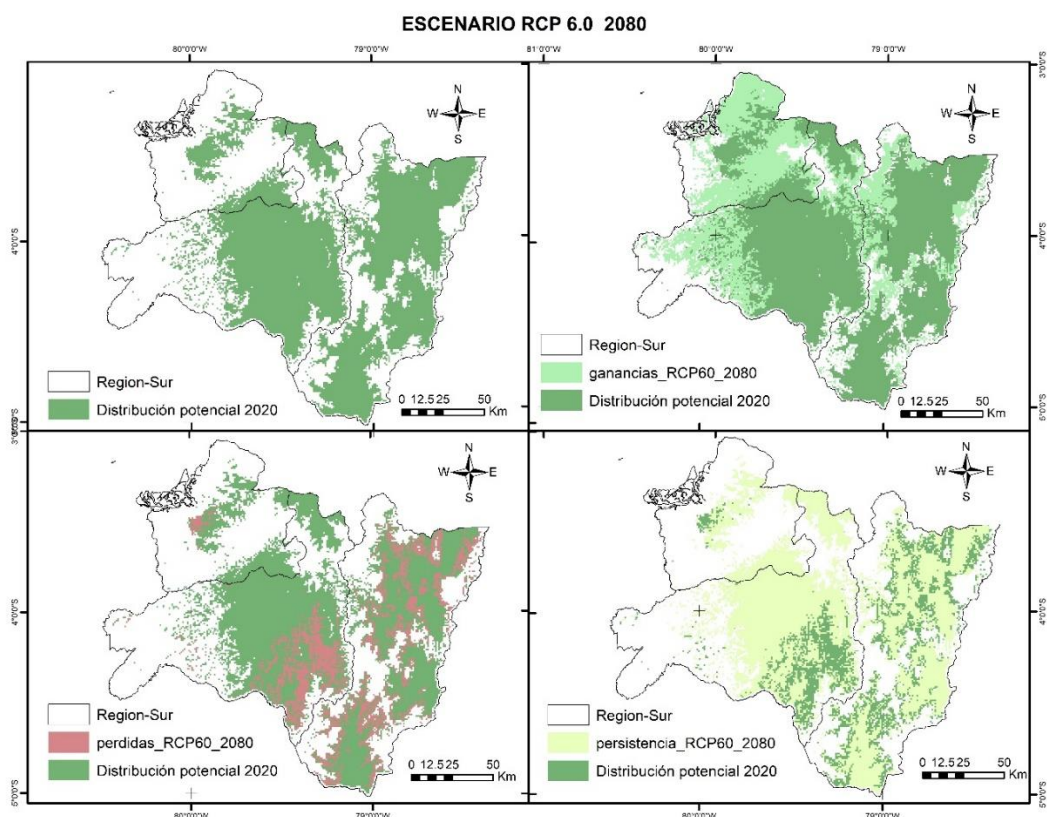


Figura 9. Escenario RCP 6.0 2080: Ganancias, pérdidas y persistencia de la *Psidium guajava*, en la región sur del Ecuador.

Tabla 11. Ganancias, pérdidas, y persistencias en el escenario RCP 6.0 2030 de la *Psidium guajava*.

Descripción	RCP 6.0 Escenario					
	Año 2030		Año 2050		Año 2080	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Ganancia	~533 665	38%	~585 507	42%	~731 685	52%
Perdida	~-577 161	-41%	~-476 006	-34%	~-331 729	-24%
Persistencia	~824 731	59%	~925 890	66%	~1 070 160	76%

Fuente: Elaboración propia.

6.2. Evaluación de las zonas de distribución potencial actual y futura de la *Psidium guajava* frente a procesos asociados al cambio de uso de suelo.

La distribución potencial para el escenario actual de *Psidium guajava*, se encuentra en su mayoría en la provincia de Loja, Zamora Chinchipe y con menor presencia en la provincia

de El Oro, se observó que el área de distribución potencial actual tiene una superficie total de ~1 401 955 ha, mientras que, su distribución modelada actual se discrimina un total del ~1 375 328 ha correspondiente al 98,10 %. Por consiguiente, el cambio de uso de suelo de la *para* el año 2030 bajo el escenario climático RCP 4.5, muestra una discriminación de ~1 547 287 ha, correspondiente al 98,6 %, esto quiere decir, que la especie sin las actividades antrópicas obtiene una ganancia del 0.50 % respecto a la distribución modelada actual. No obstante, para el año 2050, se muestra una probabilidad de segregación de los cambios de uso de suelo respecto a la especie con un total del 98,71 %, correspondiente a ~1 713 486 ha, obteniendo una ganancia del 0,61 % respecto a la superficie modelada actual. La probabilidad de los cambios de uso para el año 2080 determino que la especie *Psidium guajava*, el total real será de ~1 681 685 ha, correspondientes al 99,05 %, consiguiendo una ganancia de 0,94 % de la superficie modelada actual y respecto al 2030 se logra una ganancia de 0,40 % (Figura 9 y Tabla 12).

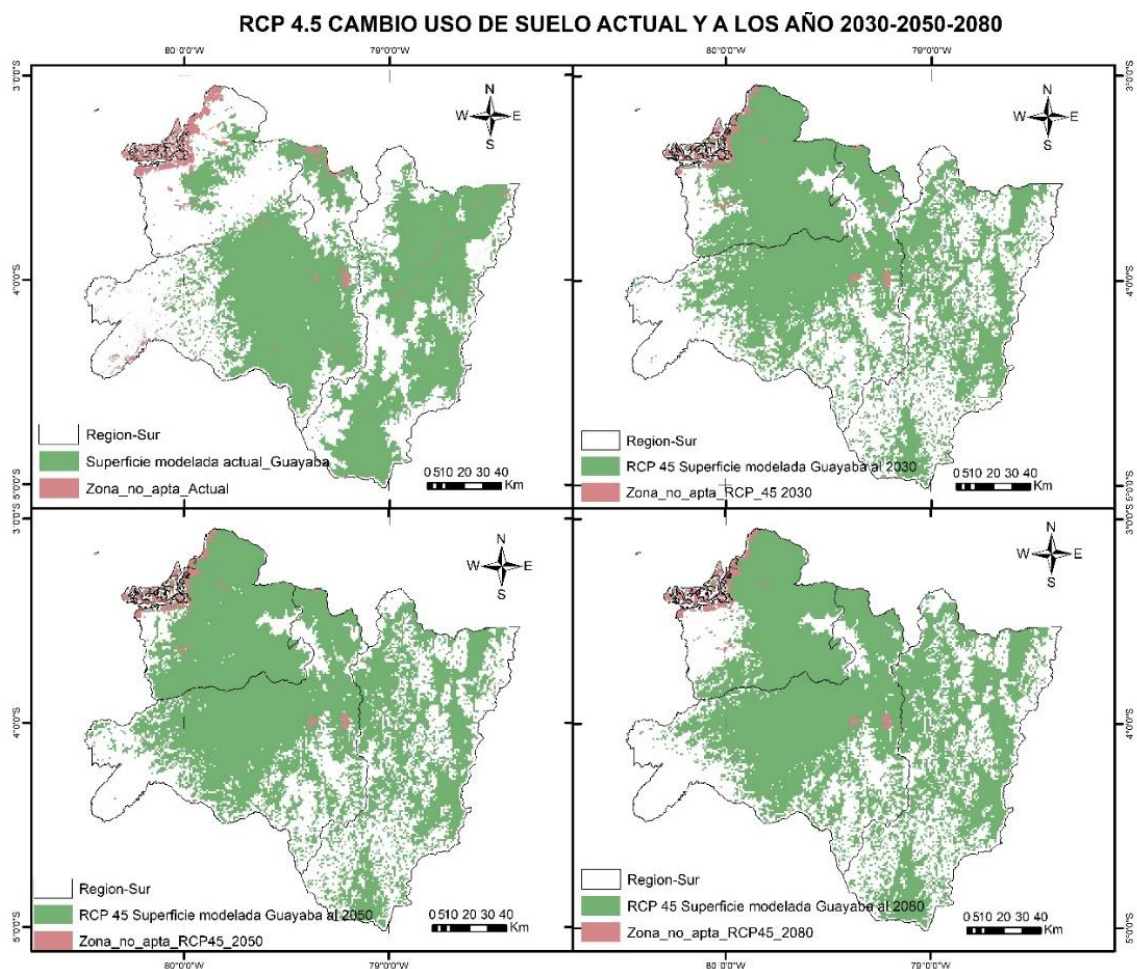


Figura 10. Cambios de uso de suelo y su modelamiento de la distribución potencial actual y futura de la *Psidium guajava*, bajo el escenario climático RCP 4.5.

Los resultados obtenidos corresponden a las probabilidades de que la especie se encuentre en la Región Sur del Ecuador bajo el escenario RCP 6.0 para la distribución potencial hacia el año 2030 de *Psidium guajava L.*, esto debido a los cambios provocados por el ser humano, uso de suelo y deforestación dando un área total de ~1 358 494 ha, mientras que, para la superficie modelada se obtuvo un total del 98.56 % (~1 338 951 ha), logrando una ganancia del 0,46 % a la distribución modelada actual. En cambio, para el año 2050 se determinó una superficie modelada de ~1 490 513 ha correspondiente al 98,61 %, obteniendo una ganancia del 0,51 % correspondiente a una probabilidad de adaptación de la especie para este año comparado a la superficie actual y finalmente para el 2080 se mantiene la especie respecto al año 2050 con una superficie modelada de 1 776 84 ha correspondiente al 98.61 %. (Tabla 12 y Figura 11).

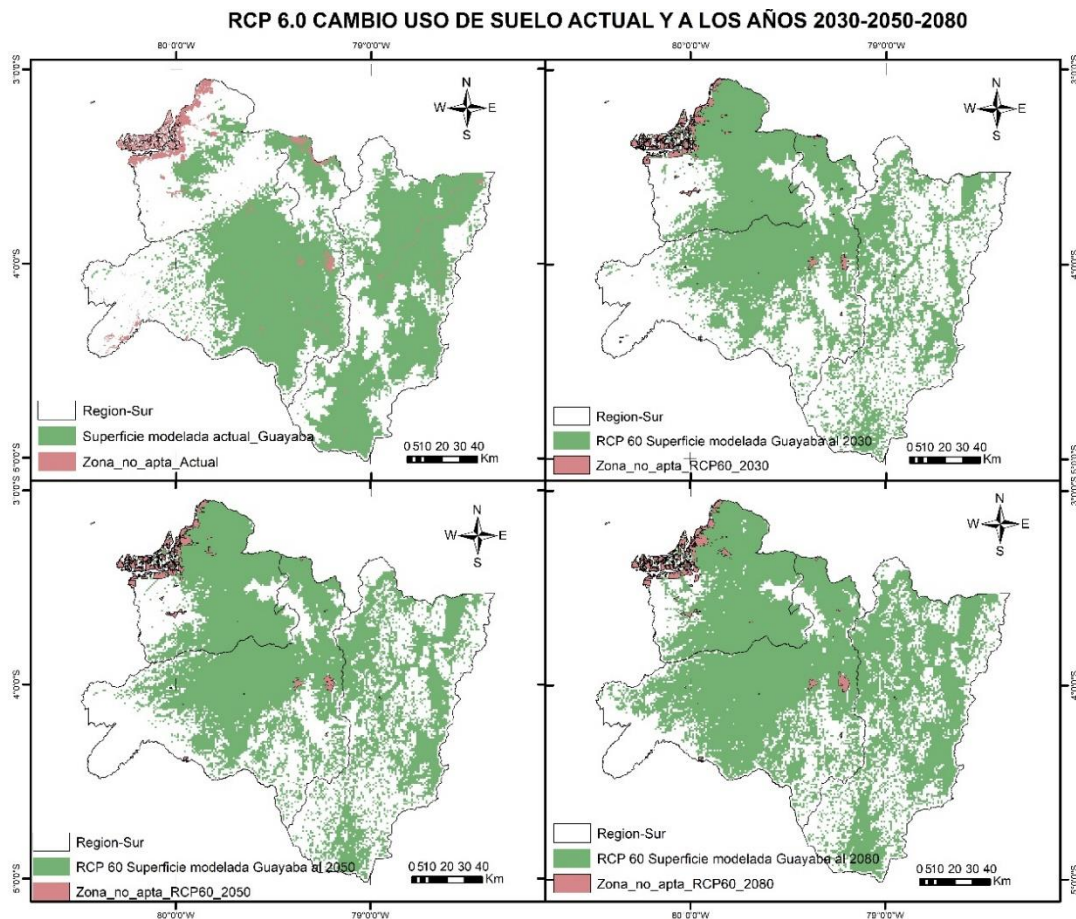


Figura 11. Cambios de uso de suelo y su modelamiento de la distribución potencial actual y futura de la *Psidium guajava*., bajo el escenario climático RCP 6.0.

Tabla 12. Cambios de uso de suelo en los escenarios SSP2 - RCP 4.5 y SSP4 - RCP 6.0 de la distribución potencial actual y futura de la *Psidium guajava*, en la región sur del Ecuador.

	Superficie total	Superficie modelada (SM)	SM %	Ganancia
Actual	1 401 955	1 375 328	98.10%	
RCP 4.5 2030	1 569 299	1 547 287	98.60%	0.50%
RCP 4.5 2050	1 735 911	1 713 486	98.71%	0.61%
RCP 4.5 2080	1 697 893	1 681 685	99.05%	0.94%
RCP 6.0 2030	1 358 494	1 338 951	98.56%	0.46%
RCP 6.0 2050	1 511 490	1 490 513	98.61%	0.51%
RCP 6.0 2080	1 801 922	1 776 846	98.61%	0.51%

Fuente: Elaboración propia.

7. Discusión

La distribución potencial de la *Psidium guajava*, en la región sur del Ecuador se encuentra principalmente en la provincia de Loja y Zamora Chinchipe con menor presencia en la provincia del Oro presentando tres tipos de clima: a) Un clima subtropical seco a semihúmedo; b) un clima tropical muy húmedo y un c) clima tropical semihúmedo a humedad media respectivamente (Samaniego et al., 2015; Pourrut et al. 1995). Según Arango et al (2020), esta especie tolera una amplia gama de condiciones del suelo, pero crece mejor en suelos bien drenados, ricos en materia orgánica.

Las variables bioclimáticas y las variables topográficas, utilizando el factor de inflación de la varianza en el modelo de distribución potencial de la especie *Psidium guajava*, dio como resultado una correlación moderada en las variables predictoras en rangos de 1 a 4 y una correlación severa en la variable bioclimática BIO19 (Precipitación del trimestre más frío) en un rango de 8.3. Estudios recientes demuestran que el VIF debería situarse entre 3 a 5, o por debajo de la medida, incluso cuando se aplican habitualmente enfoques de estándar de regresión múltiples y aprendizaje automático (Zuur et al., 2010). De hecho, la elección de las variables a incluir en el modelo debe basarse en un equilibrio entre la correlación de las variables y la consistencia esperada de la relación en cuestión del tiempo y el espacio en que se implementa el modelo (Dormann et al., 2013).

Estudios similares de especies florísticas tales como *Cedrela .odorata*, muestra que las estadísticas de evaluación, dio como resultado un ROC de 0,8 frente a datos de prueba, lo que consiste en un modelo bien ajustado o bueno (Araújo et al. 2005). De esta manera el modelo de distribución potencial de *Psidium guajava*, se encuentra con un alto grado de poder predictivo, dando como resultado en el modelo generalizado de refuerzo (GBM), fue el que obtuvo el valor más alto en los test ROC y TSS, 0.99 en ambos estadísticos,

El calentamiento cambio climático altera directa e indirectamente la estructura y funcionalidad de los seres humanos y especies de flora, así como la funcionalidad de los sistemas de los ecosistemas. (Parmesan, 2006). Basado en los resultados de la modelación para los dos escenarios: RCP 4.5 se pudo observar que el área actual de *Psidium guajava*, para el año 2030 se podría perder un 33 % acentuándose en la parte sureste de la RSE, considerando que bajo estos escenarios probablemente no cuenten con los requerimientos ambientales

necesarios para la distribución de *Psidium guajava*. Existiendo una probabilidad de ganancia del 53% para el año 2050 en la parte suroeste de la RSE debido a sus zonas protegidas. De acuerdo a un estudio realizado por Sousa et al. (2017), acerca de mapas de idoneidad de hábitat que son ampliamente utilizadas en América Central para dar sombra en sistemas agroforestales de café o cacao, la especie *Psidium guajava*, en el futuro podrían generarse pérdidas de superficie para su distribución tanto en los bosques secos y húmedos en escenarios climáticos RCP 4.5 con una superficie de 102 018 km².

En el RCP 6.0 la representación de las áreas actuales de *Psidium guajava*., frente a los años futuros se determina una pérdida significativa del 41 % comparado para los años 2050 y 2080 habrá una disminución del 14 % para el año 2080 esto debido a las condiciones climáticas en relación a la temperatura que va en rangos de 19.9°C, precipitación de 1300 mm y altitud de 990 m.s.n.m, en cuanto, a la ganancia y persistencia de la especie se obtuvo un total del 52 % y 76% respectivamente, esto se debe que puede haber probabilidades de mejores estrategias para su reproducción y utilización. Según Lemoine et al. (2007), menciona que, el cambio climático puede causar pérdida de hábitats, así como una mayor distribución de especies invasoras, cambios en los modelos de migración de su tamaño y distribución ya que, se volverá un poco más susceptible a los cambios climáticos. Otro estudio relacionado demuestra que la especie de *Psidium guajava*, se reproduce en temperaturas de 16 °C para el año actual, mientras que, el RCP 4.5 y en los años 2030,2050 y 2080 la temperatura va desde 19.91°C a 20°C. Por su parte, en el escenario climático RCP 6.0 la temperatura va desde 19.16°C a 20.16°C para los años 2030,2050, y 2080, precipitaciones desde los 2000 a 3000 mm, desarrollándose en una amplia gama de suelos, desde arenosos hasta arcillosos para el desarrollo de la especie de *Psidium guajava*, sin embargo, podría existir menor producción y rendimiento de la misma, por afectaciones de plagas y enfermedades bajo el escenario climático RCP 6.0, señalando que las plagas se adaptan a las condiciones climáticas para el año 2040 (Álvarez & Camacho, 2018). Indicando que, en nuestro caso, existe mayor pérdida del 10 % equivalente a 137 019.13 ha, con incremento de la temperatura de 1.3 °C de manera que se puede determinar vulnerabilidad a la especie.

Hay que tener en cuenta que los escenarios RCP fueron elaborados tomando en cuenta principalmente políticas orientadas a mitigar el cambio climático y sus nombres corresponden al Forzamiento Radiativo que se mostrara al año 2100, por lo tanto, el RCP 4.5 sirvió para reducir emisiones en los modelos siendo un escenario de estabilización, mientras que, el RCP

6.0 tiene una fuerte dependencia de los combustibles fósiles y emisiones de metano siendo un escenario creciente al forzamiento radiativo con aumentos de temperatura de 1.4 °C a 1.3 °C equitativamente (Sousa et al., 2019), además, incluyendo un alto crecimiento de población, un crecimiento del producto interno bruto muy bajo, tasas modestas de cambio tecnológico, eficiencia energética, generando alta demanda de energía y un desarrollo económico elevado, provocando un alto grado de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, al no implementar políticas de cambio climático. (Thomson et al., 2011).

Por lo tanto, se menciona que las simulaciones de distribuciones potenciales de especies basadas en escenarios de cambio climático deben interpretarse con mesura, ya que las proyecciones a lo largo del tiempo pueden sobreestimar disminuciones, al no tener en cuenta las cualidades de la especie para ajustarse a las condiciones atmosféricas, o persistir fuera de esta (Romo et al., 2013). No obstante, los resultados de la presente investigación demuestran que los modelos de distribución potencial de *Psidium guajava*, para los años 2030, 2050 y 2080 bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 y 6.0, son buenos con muy buen poder predictivo en base a los resultados obtenidos en la evaluación de los modelos mediante los test ROC y TSS donde superaron un umbral de 0.9.

Los cambios de uso de suelo y la distribución potencial de la *Psidium guajava*, actual y futura, podrían indicar variaciones ante los escenarios futuros en zonas aptas y no aptas de la RSE. Según Fischer et al. (2012), la *Psidium guajava* L., por ser una planta tropical se recomienda su cultivo entre 16 a 27 °C y precipitaciones anuales de 1000 a 1500 mm; por lo que se encuentra su distribución en mayor parte en la Provincia de Loja y Zamora Chinchipe, tanto en el escenario SSP2-RCP4.5 y SSP 4 y RCP 6.0 para los años 2030, 2050 y 2080. En cualquier caso, las tendencias reales, dependerá de la función de dispersión de la especie y de las distintas barreras y de la disponibilidad del entorno (Shanin et al., 2010), lo que concuerda con los resultados presentados en la presente investigación, donde la distribución potencial de *Psidium guajava*, serán aptos y su reproducción será viable hacia un futuro teniendo una ganancia del 0,94 % para el escenario RCP 4.5. Por lo tanto, según Moreno et al. (2022), la variedad de suelos y ambientes del país hacen viable la producción de una extensa variedad de cultivos, lo cual sólo es posible cuando la presencia de la Cordillera de los Andes en el trópico provoca cambios de temperatura y precipitación. Y la combinación de los modelos de distribución potencial de *Psidium guajava*, con los modelos de cambio de uso de suelo permiten obtener una superficie de distribución potencial más realista al considerar factores antrópicos

como los cambios de uso de suelo que delimitan aún más el área potencial para la distribución de *Psidium guajava*. Si bien la *Psidium guajava* L., al ser un árbol grande y probablemente más tolerante al cambio climático, pero algunos organismos más pequeños que habiten en estos ecosistemas podrían sufrir adaptaciones al cambio climático (Fischer et al., 2012).

8. Conclusiones

- Las variables que determinan la distribución *Psidium guajava*, son Temperatura media anual (BIO 1), Precipitación Anual (BIO 12) y el Modelo de Elevación Digital (DEM), obteniendo que en la evaluación de las variables y modelos mediante los estadísticos ROC y TSS presentaron un valor de 0,9 considerado muy bueno para la generación de los modelos de distribución potencial de *Psidium guajava* .
- La implementación de los modelos de la distribución de *Psidium Guajava L.*, en la RSE se pudo determinar mediante análisis los modelos de distribución potencial las proyecciones apuntan a una máxima dispersión de la especie en las provincias de Loja y Zamora, con la utilización de los RCP 4.5 y 6.0 para los años 2030, 2050, 2080 se logró establecer que el escenario más idóneo fue RCP 4.5 para el año 2050 respecto a la ganancia con un 53% (~736 403 ha), mayor pérdida en el año 2030 con un 33 % (463 862 ha) y una persistencia año 2080 con 73 % (1 020 474 ha), mientras tanto, para el escenario RCP 6.0 la ganancia y persistencia se observó en el año 2080 con un 52 % (~731 685 ha) y 76 % (~1 070 160 ha) respectivamente, y una pérdida del 41 % (~577 161 ha) para el año 2030.
- Mediante el análisis del cambio de uso de suelo para el segundo objetivo para los años 2030, 2050, 2080 se logró hacer predicciones de como el cambio climático afectara a la distribución potencial de la modelada de *Psidium guajava L.*, y las mayores concentraciones de la especie, se darán en las provincias de Loja y Zamora, mientras tanto, donde la especie tendrá repercusiones para su reproducción se dará en la provincia de El Oro, hay que tener en cuenta que, debido a las actividades humanas, especialmente la deforestación. Por lo tanto, la especie se verá afectada por el cambio climático y, también aumentarán su riesgo por tales actividades antropogénicas y cambios de uso de suelos.
- Los modelos de distribución de especies en la superficie total sobre los cambios de uso de suelo en función de los escenarios SSP 2- RCP 4.5 y SSP4-RCP 6.0 para el año 2080 con un total de 1 697 893 ha y 1 801 922 ha, respectivamente, se obtuvo una ganancia para superficie modelada del 99,05 % y 98,61 % proporcionalmente, debido a la adaptación de la especie en la RSE.

9. Recomendaciones

- Se incentiva a los investigadores a emprender proyectos para identificar la presencia de especies de importancia ecológica en el país y recibir registros con sus respectivas coordenadas georreferenciadas, ya que el Ecuador específicamente en la RSE cuenta con pocos registros de presencia de especies en este caso *Psidium guajava L.*
- Obtener previos conocimientos en el manejo de software como ArcGIS, QGIS, R Studio y sus librerías de Biomod2. Los cuales son un requerimiento indispensable para quienes deseen trabajar con modelación de especies.
- Crear medidas de preservación de especies que se encuentre en estado de vulnerabilidad y son de suma importancia para preservar el equilibrio ecológico.

10. Bibliografía

- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda, T., & Mendoza, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Universidad Nacional de Loja y Servicio Forestal de los Estados Unidos. <https://www.researchgate.net/publication/298753988%0AVulnerabilidad>
- Aguirre, Z. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 543–556. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24207>
- Aguirre, Z., Mendoza, N., & Muñoz, J. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 523–542. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24206>
- Álvarez, D., & Camacho, E. (2018). *Evaluación de las condiciones ambientales por el cambio en la dinámica de los cultivos de guayaba en la provincia sur de Vélez, Santander*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15396/ÁlvarezContrerasDaysyLiliana2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arango, G., Henao, E., Zambrano, H., & Rodríguez, J. (2020). Current state of research for the guava cultivation in Colombia. *Agronomy Mesoamerican*, 31(3), 845–860. <https://doi.org/10.15517/AM.V31I3.40207>
- 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.1365-2486.2005.01000.x>
- Armenteras, D., & Eraso, N. (2014). Forest deforestation dynamics and drivers in Latin America: a review since 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233–246. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a07>
- Armijos, D., & Patiño, A. (2010). Herpetofauna de un Bosque Húmedo Tropical en la Quinta “El Padmi” del Centro de Estudios y Desarrollo para la Amazonía (CEDAMAZ), provincia de Zamora Chinchipe. *Cedamaz*, 1(1), 57–64. https://www.researchgate.net/profile/Diego-Armijos-2/publication/271833091_Herpetofauna_de_un_Bosque_Humedo_Tropical_en_la_Quinta_El_Padmi_del_Centro_de_Estudios_y_Desarrollo_para_la_Amazonia_CEDAMAZ_provincia_de_Zamora_Chinchipe/links/54d327760cf28e06972

- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D., Lobo, J., Millán, A., & Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3), 79–84. <https://doi.org/10.7818/ecos.2012.21-3.10>
- Banco Mundial. (2021). *Plan de Acción sobre el Cambio Climático*. https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/35799/2022000104SPAspa002_CCAP_Report.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- Bates, B., Kundzewicz, Z., Palutikof, J., & Wu, S. (2008). El efecto invernadero. California: Centro Hadley. In IPCC (Ed.), *Library*. <http://216.92.126.55/publicaciones/climate-change-water-sp.pdf>
- Becerra, J., Romero, U., Ramírez, A., & López, J. (2016). Revisión de las técnicas para el modelado de la distribución de las especies. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 4(1), 176–187. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v4i1.47>
- Bell, J., Johnson, J., Ganachaud, A., Gehrke, P., Hobday, A., Guldberg, O., Borgne, R., Lehoder, P., Lough, J., Pickering, T., Pratchett, M., & Waycott, M. (2011). *Vulnerability of Tropical Pacific Fisheries and Aquaculture to Climate Change Vulnerability. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia*. Secretariat of the Pacific Community, Noumea.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4), 365–377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Benavidez, C., Jensen, M., & Pliscoff, P. (2021). Future scenarios for land use in Chile: Identifying drivers of change and impacts over protected area system. *Land*, 10(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/land10040408>
- Cárdenas, G., Mata, L., Silva, J. T., Santana, N., Godoy, F., & Sandoval, J. A. (2016). Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 22(2), 135–148. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.027>
- Castillo, A., Peña, L., & Delgado, S. (2017). Notas y comentarios Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(96), 669–693. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684>
- Castro, S., Regos, A., & Moreno, P. (2022). Modelos de distribución de especies en ecosistemas

- forestales. *Geomática, Teledetección y Modelos Espaciales Aplicados a La Gestión de Sistemas Forestales*, October, 1–45.
<https://www.researchgate.net/publication/364334678%0AModelos>
- Cerda, J., & Cifuentes, L. (2012). [Using ROC curves in clinical investigation: theoretical and practical issues]. *Revista Chilena de Infectología : Órgano Oficial de La Sociedad Chilena de Infectología*, 29(2), 138–141.
- 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), 1–18.
<https://doi.org/10.1038/s41597-022-01208-6>
- Contreras, R., Luna, I., & Ríos, C. A. (2010). Distribution of *Taxus globosa* (Taxaceae) in Mexico: Ecological niche modeling, effects of land use change and conservation. *Revista Chilena de Historia Natural*, 83(3), 421–433. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2010000300009>
- Copete, C. (2007). *Introducción al análisis de regresión lineal* (A. Herrera & M. Lázaro (eds.); Primera Ed). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Cuesta, F., Peralvo, M., & Valarezo, N. (2009). *Los Bosques Montanos de los Andes Tropicales. Una evaluación regional de su estado de conservación y de su vulnerabilidad a efectos del cambio climático*” (Nº5, Issue April, pp. 1–41). Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION.
- Dawson, T. P. (2011). Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate (Science (53)). *Science*, 332(6030), 664. <https://doi.org/10.1126/science.332.6030.664-b>
- Delgado, T., & Duque, D. (2009). Efectos Del Cambio Climático En La Diversidad Vegetal Del Corredor De Conservación Comunitaria Reserva Ecológica El Ángel- Bosque Protector Golondrinas En El Norte Del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 8(1–2), 27.
<https://doi.org/10.21704/rea.v8i1-2.379>
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J., 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>
- Elith, J., & Leathwick, J. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 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>
- Fajardo, F., Betancour, J., & Amaya, D. (2018). Modelling the potential distribution of the genus *Polylepis* occurring in Colombia with conservation considerations. *Ecologia Austral*, 28(1), 202–215. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.1.585>
- Feng, X., Park, D. S., Liang, Y., Pandey, R., & Papeş, M. (2019). Collinearity in ecological niche modeling: Confusions and challenges. *Ecology and Evolution*, 9(18), 10365–10376. <https://doi.org/10.1002/ece3.5555>
- Fernández, E., & Pérez, L. (2016). Revisión bibliográfica. MEJORAMIENTO GENÉTICO DE GUAYABO (*Psidium guajava* L.). *Cultivos Tropicales*, 36, 96–110. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193243640009.pdf>
- Fischer, G., Melgarejo, L., & Miranda, D. (2012). *Guayaba (Psidium guajava L.)*. March 2020. https://www.researchgate.net/publication/256680804_Guayaba_Psidium_guajava_L?enrichId=rgreq-9b11cfe179693e7963b212acfec68cea-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI1NjY4MDgwNDtBUzo4NzI3MDYyNjIxOTYyMjRAMTU4NTA4MDc5NTg5Nw%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf
- Gil, G. E. (2017). Modelos de distribución y su aplicación en la conservación de mamíferos terrestres sudamericanos. Universidad Autónoma de Madrid.
- Gómez, R., Pérez, J., Martín, M., & García, C. (2016). Collinearity diagnostic applied in ridge estimation through the variance inflation factor. *Journal of Applied Statistics*, 43(10), 1831–1849. <https://doi.org/10.1080/02664763.2015.1120712>
- González, D., Poma, R., Ordoñez, M., & Aguirre, N. (2010). Crecimiento Inicial de *Tabebuia chrysantha* y *Cedrela montana* con fines de rehabilitación de áreas abandonadas en el trópico húmedo ecuatoriano. *Ecología Forestal*, 1(1), 73–80.
- Harris, J. B. C., Dwi Putra, D., Gregory, S. D., Brook, B. W., Prawiradilaga, D. M., Sodhi, N. S., Wei, D., & Fordham, D. A. (2014). Rapid deforestation threatens mid-elevational endemic birds but climate change is most important at higher elevations. *Diversity and Distributions*, 20(7), 773–785. <https://doi.org/10.1111/ddi.12180>
- Hernández, S. (2014). *Metodología de la Investigación* (C. Fernández & M. Baptista (eds.); Sexta).
- Hijmans, R. J., & Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12(12), 2272–

2281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x>
- IICA. (2015). *Modelos de simulación y herramientas de modelaje: elementos conceptuales y sistematización de herramientas para apoyar el análisis de impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las actividades agrícolas.*
- IPCC. (2014). Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 9781107025). <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.003>
- IPCC. (2020). El cambio climático y la tierra. In *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- Kamyó, T., & Asanok, L. (2020). Modeling habitat suitability of *Dipterocarpus alatus* (Dipterocarpaceae) using maxent along the Chao Phraya river in central Thailand. *Forest Science and Technology*, 16(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/21580103.2019.1687108>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kreakie, B. J., Fan, Y., & Keitt, T. H. (2012). Enhanced migratory waterfowl distribution modeling by inclusion of depth to water table data. *PLoS ONE*, 7(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030142>
- Kriegler, E., Neill, B., Hallegatte, S., Kram, T., Lempert, R., Wilbanks, T. J., Kriegler, E., Neill, B. O., Hallegatte, S., Kram, T., & Moss, R. (2013). *Socio-economic Scenario Development for Climate Change Analysis To cite this version :*
- Laurance, W. F., Carolina Useche, D., Rendeiro, J., Kalka, M., Bradshaw, C. J. A., Sloan, S. P., Laurance, S. G., Campbell, M., Abernethy, K., Alvarez, P., Arroyo-Rodriguez, V., Ashton, P., Benítez-Malvido, J., Blom, A., Bobo, K. S., Cannon, C. H., Cao, M., Carroll, R., Chapman, C., ... Zamzani, F. (2012). Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. *Nature*, 489(7415), 290–293. <https://doi.org/10.1038/nature11318>
- Lemoine, N., Schaefer, H., & Böhning, K. (2007). Species richness of migratory birds is influenced by global climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1), 55–64. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00252.x>

- Lienin, P., & Kleyer, M. (2012). Plant trait responses to the environment and effects on ecosystem properties. *Basic and Applied Ecology*, 13(4), 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.05.002>
- Macías, J. (2016). *Distribución actual y potencial de especies leñosas alimenticias en África para la formulación de estrategias de conservación*. 43. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/40046/1/TFM.pdf>
- Maciel, C. A., Manríquez, N., Octavio, P., & Sánchez, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 03–19. <https://doi.org/10.15174/AU.2015.690>
- Madriz, H., Lara, J., Azuara, A., & Ibarra, K. (2018). PICUDO DE LA GUAYABA *Conotrachelus dimidiatus* (Champion) UNA PLAGA DE IMPORTANCIA ECONÓMICA PARA EL CULTIVO DE GUAYABA *Psidium guajava* L. EN MÉXICO. *Revista Mexicana de Fitosanidad*, 1(December), 25–38. www.revimexfito.com.mx
- MAE. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- MAE. (2019). Primera Contribución Determinada a nivel nacional para el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. In Ministerio de Ambiente del Ecuador (Ed.), *Gobierno de Ecuador*.
- MAE (Ministerio del Ambiente), & FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2014). *Resultados de la Evaluación Nacional Forestal*. suia.ambiente.gob.ec
- Magbma, & Fao. (2018). Estudio de las causas de la deforestación y degradación forestal en Guinea Ecuatorial. *Estudio de Las Causas de La Deforestación y Degradación Forestal En Guinea Ecuatorial*, 116. <http://www.fao.org/3/CA0399ES/ca0399es.pdf>
- Magrin, G. (2015). Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. *Cepal*, 15, 80. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/39842%0Ahttp://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>
- Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., & Jacob-Lopes, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología)*, 5(1).

- Mendoza, Z., Chalán, Á., Solano, C., & Aguirre, N. (2015). Especies forestales mas aprovechadas en la región sur del Ecuador. *Universidad Nacional de Loja, April*, 128. https://www.researchgate.net/publication/299761463_Especies_forestales_mas_aprovechadas_del_sur_del_Ecuador#fullTextFileContent
- Molero, T., Molina, J., & Padrón, A. (2003). Descripción morfológica de selecciones de *Psidium guajava* L. tolerantes y *Psidium friedrichsthalianum* (Berg.) Nied resistente a *Meloidogyne incognita* en el estado Zulia, Venezuela. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 20(4), 478–492. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182003000400008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Moreno, J., Espinosa, J., & Bernal, G. (2022). *Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo. José Espinosa, Julio Moreno, Gustavo Bernal* (Primera, Issue May).
- Moreno, L. (2009). Plant Response to Water-deficit Stress. *Universidad Nacional de Colombia*, 27(2), 179–191. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0001298>
- Moreno, V. M., Corral, J. A., García, G., Solano, C., Mauricio, J. E., & Bravo, A. (2017). Cambios Esperados al Uso del Suelo en México, Según Escenario de Cambio Climático A1F1. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 3979–3992. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.667>
- Mota, C., Soto, O. R., Lara, C., Guevara, C., & Ballesteros, C. (2013). Geographic and ecological analysis of the Bearded Wood Partridge *Dendrortyx barbatus*: Some insights on its conservation status. *Bird Conservation International*, 23(3), 371–385. <https://doi.org/10.1017/S0959270912000329>
- Padilla, N., Espejo, J., & Pardo, J. (2018). Bienes y servicios ecosistémicos de los bosques secos de la provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 118–130.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637–669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>
- Pautasso, M. (2012). Observed impacts of climate change on terrestrial birds in Europe: An overview. *Italian Journal of Zoology*, 79(2), 296–314. <https://doi.org/10.1080/11250003.2011.627381>
- PDOT. (2014). *DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE ZAMORA CHINCHIPE PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO.*
- PDOT. (2019). *ACTUALIZACIÓN INTEGRAL DEL PLAN DE DESARROLLO Y*

ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE EL ORO.

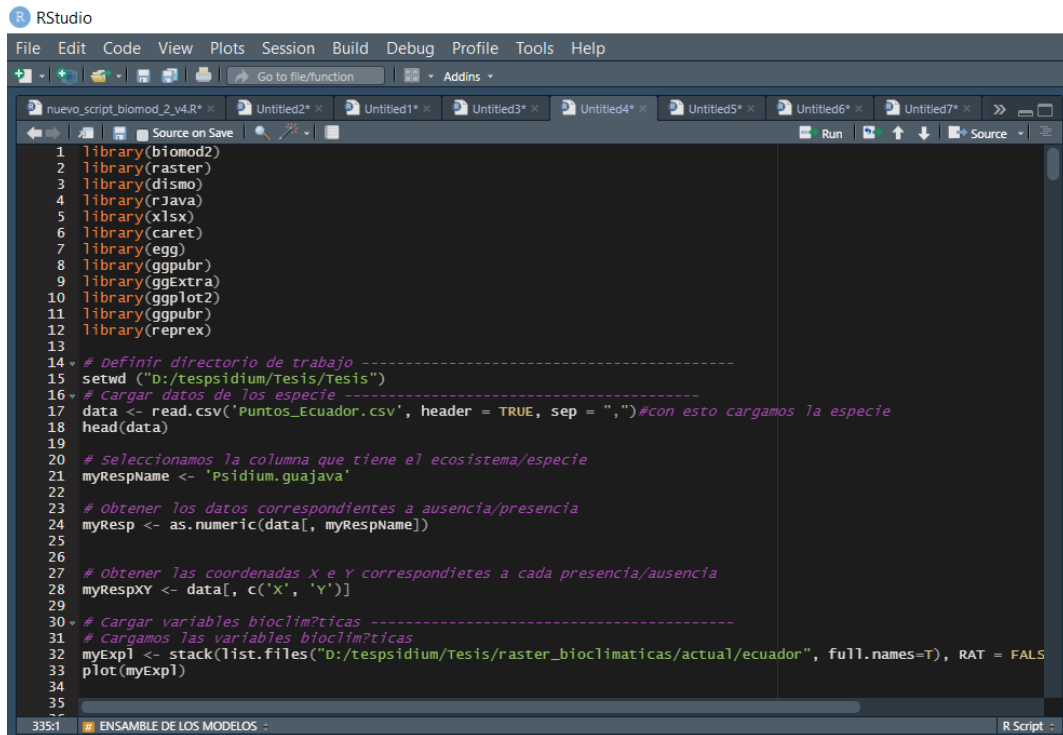
- Peters, T., Drobnik, T., Meyer, H., Rankl, M., Richter, M., Rollenbeck, R., Thies, B., & Bendix, J. (2013). *Environmental Changes Affecting the Andes of Ecuador*. April 2014, 19–29. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38137-9_2
- Pourrut, P. (1983). Los climas del Ecuador: fundamentos explicativos. Quito
- Plasencia, A., Escalona, G., & Olguín, L. (2014). Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 30(3), 471–490. <https://doi.org/10.21829/azm.2014.30372>
- Pliscoff, P., & 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*, 2011(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>
- Prefectura de Loja. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja 2015 - 2025. <https://prefecturaaloja.gob.ec/transparencia/#519-533-pdot>
- Rivero, P., Contreras, C., Galindo, M., Torrico, J., & Vos, V. (2013). *Cambios de Uso del Suelo, y Proyectos Forestales MDL y REDD en Riberalta, Amazonía Boliviana*. www.ibepa.org
- 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>
- Romo, H., Sanabria, P., & Barros, E. (2013). Predicción de los impactos del cambio climático en la distribución sobre las especies de lepidoptera. el caso del género boloria moore, 1900 en la península Ibérica (Lepidoptera: Nymphalidae). *SHILAP Revista de Lepidopterologia*, 41(162), 267–286.
- Samaniego, N., Eguiguren, P., Maita, J., & Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. *Biodiversidad Del Páramo: Pasado, Presente y Futuro ClimaClima*, March 2016, 43.
- Seppälä, R., Buck, A., & Katila, P. (2009). *ADAPTATION OF FORESTS AND – A Global Assessment Report Prepared by the Global Forest Expert Panel on Adaptation Risto Seppälä, Panel Chair* (C. E. Katila (ed.); Vol. 22). International Union of Forest Research

- Organizations (IUFRO). <https://www.iufro.org/uploads/media/ws22.pdf>
- Shanin, V. N., Mikhaïlov, A. V., Bykhovets, S. S., & Komarov, A. S. (2010). [Global climate change and carbon balance in forest ecosystems of boreal zones: imitating modeling as a forecast tool]. *Izvestiia Akademii Nauk. Serii Biologicheskaiia / Rossiiskaia Akademiia Nauk*, 6, 719–730.
- Sierra, R., Calva, O., & Guevara, A. (2021). La Deforestación en el Ecuador, 1990 – 2018: Factores, Promotores y Tendencias Recientes. In *Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador, en el marco de la implementación del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible. Quito, Ecuador.* https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestación_Ecuador_com2.pdf
- Sillero, N., Castro, S., Urzelai, U., Vale, C., Sousa, D., Freiría, F., Real, R., & Barbosa, M. (2021). Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, 456(July). <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109671>
- Soberón, J. (2014, February). *Nichos y Áreas de Distribución*. <https://sites.google.com/site/nichesandareasofdistribution/sobre-los-autores>
- Sousa, K., Zonneveld, M., Holmgren, M., Kindt, R., & Ordoñez, J. (2019). The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7>
- Sousa, K., Zonneveld, M., Imbach, P., Kindt, R., & Ordoñez, J. (2017). *Suitability of key Central American agroforestry species under future climates: an atlas* (26th ed.). World Agroforestry Centre. <http://www.worldagroforestry.org/output/suitability-key-central-american-agroforestry-species-under-future-climates-atlas>
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & de la Cruz, M. (2015). Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s—losing a hotspot of biodiversity. *PloS One*, 10(9), e0133701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133701>
- Thomson, A., Calvin, K., Smith, S., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., Delgado, S., Lamberty, B., Wise, M., Clarke, L., & Edmonds, J. (2011). RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change*, 109(1), 77–94. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4>
- Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., Breiner, F., Georges, M. D., & Thuiller, C. W. (2016). Package ‘biomod2.’ *Species Distrib. Model. within an Ensemble Forecast. Framew.*

- Thuiller, W., Georges, D., Gueguen, M., Engler, R., & Breiner, F. (2021). *R topics documented*. 1993.
- 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., Lavergne, S., Roquet, C., Boulangeat, I., Lafourcade, B., & Araujo, M. (2011). Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature*, 470(7335), 531–534. <https://doi.org/10.1038/nature09705>
- Torres, B., Fischer, R., & Vargas, J. C. (2020). *Deforestación en paisajes forestales tropicales del Ecuador* (Instituto). Instituto Nacional de Biodiversidad - INABIO. inabio.biodiversidad.gob.ec
- Zanetti, E., Gómez, J., Mostacedo, S., & Reyes, O. (2017). Cambio climático y políticas públicas forestales en América Latina. *Estudios Del Cambio Climático En América Latina*, 1–122. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40922/4/S1601346_es.pdf
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>

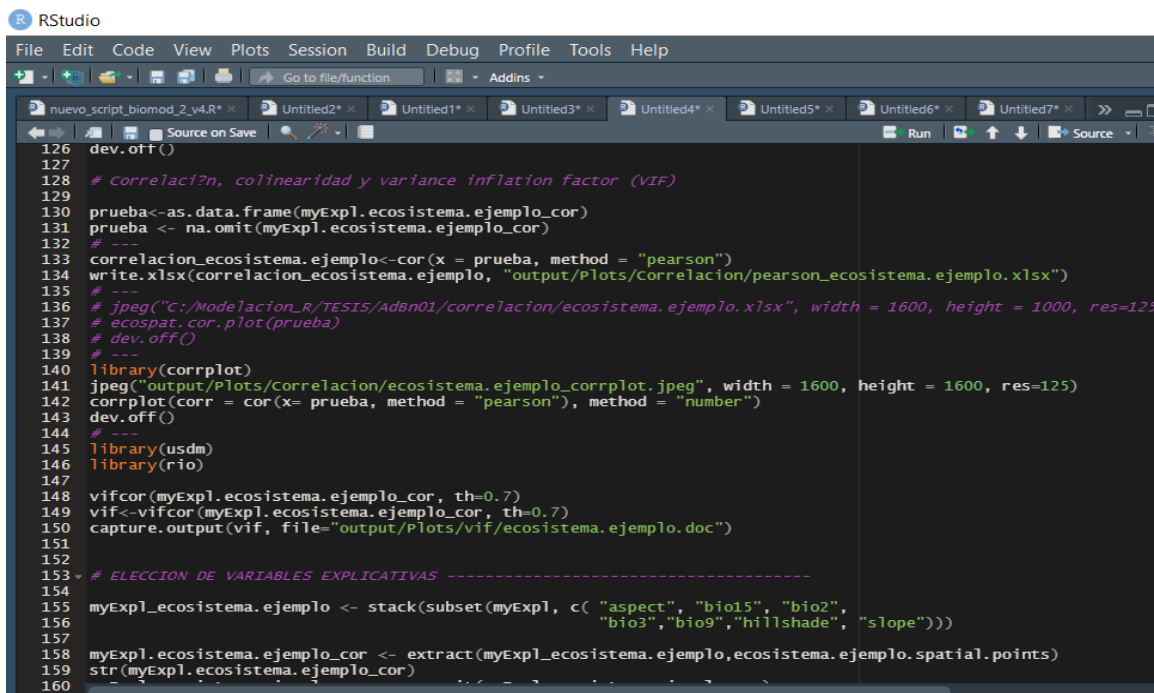
11. Anexos

Anexo 1. Técnicas de modelación utilizadas en el software R



```
1 library(biomod2)
2 library(raster)
3 library(dismo)
4 library(rJava)
5 library(xlsx)
6 library(caret)
7 library(egg)
8 library(ggpubr)
9 library(ggExtra)
10 library(ggplot2)
11 library(ggpubr)
12 library(reprex)
13
14 # Definir directorio de trabajo -----
15 setwd("D:/tespidium/Tesis/Tesis")
16 # cargar datos de los especie -----
17 data <- read.csv('Puntos_Ecuador.csv', header = TRUE, sep = ",")#con esto cargamos la especie
18 head(data)
19
20 # seleccionamos la columna que tiene el ecosistema/especie
21 myRespName <- 'psidium.guajava'
22
23 # Obtener los datos correspondientes a ausencia/presencia
24 myResp <- as.numeric(data[, myRespName])
25
26
27 # Obtener las coordenadas X e Y correspondientes a cada presencia/ausencia
28 myRespXY <- data[, c('X', 'Y')]
29
30 # Cargar variables bioclimáticas -----
31 # cargamos las variables bioclimáticas
32 myExpl <- stack(list.files("D:/tespidium/Tesis/raster_bioclimaticas/actual/ecuador", full.names=T), RAT = FALS
33 plot(myExpl)
34
35
```

Anexo 2. Correlación Jackknife y Vif con las variables bioclimáticas y topográficas en el software R.



```
126 dev.off()
127
128 # Correlación, colinearidad y variance inflation factor (VIF)
129
130 prueba <- as.data.frame(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
131 prueba <- na.omit(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
132 # ---
133 correlacion_ecosistema.ejemplo <- cor(x = prueba, method = "pearson")
134 write.xlsx(correlacion_ecosistema.ejemplo, "output/Plots/Correlacion/pearson_ecosistema.ejemplo.xlsx")
135 # ---
136 # jpeg("C:/Modelacion_R/TESIS/AdBn01/correlacion/ecosistema.ejemplo.xlsx", width = 1600, height = 1000, res=125
137 # ecospat.cor.plot(prueba)
138 # dev.off()
139 # ---
140 library(corrplot)
141 jpeg("output/Plots/Correlacion/ecosistema.ejemplo_corrplot.jpeg", width = 1600, height = 1600, res=125)
142 corrplot(corr = cor(x = prueba, method = "pearson"), method = "number")
143 dev.off()
144 # ---
145 library(usdm)
146 library(rio)
147
148 vifcor(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor, th=0.7)
149 vif <- vifcor(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor, th=0.7)
150 capture.output(vif, file="output/Plots/vif/ecosistema.ejemplo.doc")
151
152
153 # ELECCION DE VARIABLES EXPLICATIVAS -----
154
155 myExpl_ecosistema.ejemplo <- stack(subset(myExpl, c("aspect", "bio15", "bio2",
156 "bio3", "bio9", "hillshade", "slope")))
157
158 myExpl.ecosistema.ejemplo_cor <- extract(myExpl_ecosistema.ejemplo, ecosistema.ejemplo.spatial.points)
159 str(myExpl.ecosistema.ejemplo_cor)
160
```

Anexo 3. Evaluación de las variables en el software R.

```
RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
nuevo_script_biomod_2_v4.R* x Untitled2* x Untitled1* x Untitled3* x Untitled4* x Untitled5* x Untitled6* x Untitled7* x
Source on Save Run
272
273
274 # EVALUACION DE LAS VARIABLES -----
275 # get evaluation scores & variables importance
276 get_evaluations(myBiomodModelOut)
277 get_evaluations<-get_evaluations(myBiomodModelOut)
278 write.xlsx( get_evaluations, "output/Evaluaciones/modelos/evaluacion_modelos.xlsx")
279
280 get_variables_importance(myBiomodModelOut, as.data.frame = TRUE)
281 get_variables_importance<-get_variables_importance(myBiomodModelOut, as.data.frame = TRUE)
282 write.xlsx( get_variables_importance, "output/Evaluaciones/modelos/variables_importancia.xlsx")
283
284 # Represent evaluation scores & variables importance
285 jpeg("output/Evaluaciones/modelos/evaluacion_mean.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
286 bm_PlotEvalMean(bm.out = myBiomodModelOut)
287 dev.off()
288 jpeg("output/Evaluaciones/modelos/evaluacion_modelos.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
289 bm_PlotEvalBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by = c('algo', 'algo'))
290 dev.off()
291 jpeg("output/Evaluaciones/modelos/evaluacion_corridas.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
292 bm_PlotEvalBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by = c('algo', 'run'))
293 dev.off()
294 jpeg("output/Evaluaciones/modelos/evaluacion_variables.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
295 bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by = c('expl.var', 'algo', 'dataset'))
296 dev.off()
297 bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by = c('expl.var', 'algo', 'dataset'))
298 bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodModelOut, group.by = c('algo', 'expl.var', 'dataset'))
299
300 # Represent response curves
301 jpeg("output/Curvas_respuesta/modelos/median.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
302 bm_PlotResponsecurves(bm.out = myBiomodModelOut,
303                       models.chosen = get_built_models(myBiomodModelOut)[c(1:10, 12:14)],
304                       fixed.var = "median")
305 dev.off()
306 jpeg("output/Curvas_respuesta/modelos/mean.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
307 bm_PlotResponsecurves(bm.out = myBiomodModelOut,
308                       models.chosen = get_built_models(myBiomodModelOut)[c(1:10, 12:14)],
309                       fixed.var = "mean")
310 dev.off()
311 bm_PlotResponsecurves(bm.out = myBiomodModelOut,
312                       models.chosen = get_built_models(myBiomodModelOut)[3],
313                       fixed.var = "median",
314                       do.bivariate = TRUE)
315
316
```

Anexo 4. Evaluación de los modelos en el software R.

```
RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
nuevo_script_biomod_2_v4.R* x Untitled2* x Untitled1* x Untitled3* x Untitled4* x Untitled5* x Untitled6* x Untitled7* x
Source on Save Run
323 metric.select = c('TSS')
324 metric.select.thresh = c(0.8),
325 var.import = 3
326 metric.eval = c('TSS', 'ROC'),
327 prob.mean = TRUE,
328 prob.median = TRUE,
329 prob.cv = TRUE,
330 prob.ci = TRUE,
331 prob.ci.alpha = 0.05,
332 committee.averaging = TRUE,
333 prob.mean.weight = TRUE,
334 prob.mean.weight.decay = 'proportional')
335 myBiomodEM
336
337 # EVALUACION DE LOS MODELOS -----
338
339 # Get evaluation scores & variables importance
340 get_evaluations(myBiomodEM, as.data.frame = TRUE)
341 get_evaluations<-get_evaluations(myBiomodEM, as.data.frame = TRUE)
342 write.xlsx( get_evaluations, "output/Evaluaciones/ensambles/evaluacion_ensamble.xlsx")
343
344 get_variables_importance(myBiomodEM, as.data.frame = TRUE)
345 get_variables_importance<-get_variables_importance(myBiomodEM, as.data.frame = TRUE)
346 write.xlsx( get_variables_importance, "output/Evaluaciones/ensambles/variables_importancia.xlsx")
347
348 # Represent evaluation scores & variables importance
349 jpeg("output/Evaluaciones/ensambles/evaluacion_mean.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
350 bm_PlotEvalMean(bm.out = myBiomodEM, group.by = "model", main="asdasdad",
351                xlim = c(0.96,1), ylim = c(0.96,1))
352 dev.off()
353 jpeg("output/Evaluaciones/ensambles/evaluacion_ensamble.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
354 bm_PlotEvalBoxplot(bm.out = myBiomodEM, group.by = c('model', 'model'))
355 dev.off()
356 jpeg("output/Evaluaciones/ensambles/evaluacion_variables.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
357 bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodEM, group.by = c('expl.var', 'model', 'model'))
358 dev.off()
359 bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodEM, group.by = c('expl.var', 'model', 'dataset'))
360 bm_PlotVarImpBoxplot(bm.out = myBiomodEM, group.by = c('model', 'expl.var', 'dataset'))
361
362 # Represent response curves
363 jpeg("output/Curvas_respuesta/ensamble/median.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
364 bm_PlotResponsecurves(bm.out = myBiomodEM,
365                       models.chosen = get_built_models(myBiomodEM)[c(1, 6, 7)],
366                       fixed.var = "median")
367 dev.off()
368 jpeg("output/Curvas_respuesta/ensamble/mean.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
369 bm_PlotResponsecurves(bm.out = myBiomodEM,
370                       models.chosen = get_built_models(myBiomodEM)[c(1, 6, 7)],
371                       fixed.var = "mean")
372 dev.off()
373 bm_PlotResponsecurves(bm.out = myBiomodEM,
374                       models.chosen = get_built_models(myBiomodEM)[7],
375                       fixed.var = "median",
376                       do.bivariate = TRUE)
377
```

Anexo 5. Proyecciones actuales y futuras del modelo de distribución potencial de la especie Psidium guajava, en el software R.

```
RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
nuevo_script_biomod_2_v4.R* x Untitled2* x Untitled1* x Untitled3* x Untitled4* x Untitled5* x Untitled6* x Untitled7* x
406 -----
407 # PROYECCION AL FUTURO -----
408
409 # Load environmental variables extracted from BIOCLIM (bio_3, bio_4, bio_7, bio_11 & bio_12)
410
411 myExpIFuture <- stack(list.files("Paster_bioclimaticas/futuras/ecuador/2080_rcp_60", full.names=T), RAT = FALSE)
412 myExpIFuture <- stack(subset(myExpIFuture, c("aspect", "bio_15", "bio_2", "bio_3", "bio_9",
413 "slope")))
414
415 # Project onto future conditions
416 myBiomodProjectionFuture <- BIOMOD_Projection(bm.mod = myBiomodModelOut,
417 proj.name = "Future",
418 new.env = myExpIFuture,
419 models.chosen = "all",
420 metric.binary = "TSS",
421 build.clamping.mask = TRUE)
422
423 jpeg("output/Plots/Proyeccion/myBiomodProjectionFuture.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
424 plot(myBiomodProjectionFuture)
425 dev.off()
426
427 myBiomodEMProj_Future <- BIOMOD_EnsembleForecasting(bm.em = myBiomodEM,
428 bm.proj = myBiomodProjectionFuture,
429 models.chosen = "all",
430 metric.binary = "all",
431 metric.filter = "all")
432
433 jpeg("output/Plots/Proyeccion/myBiomodEMProj_Future.jpeg", width = 1960, height = 900, res=125)
434 plot(myBiomodEMProj_Future)
435 dev.off()
436
437 # Load current and future binary projections
438 currentProj <- stack("D:/tespsidium/datos/psidium.guajaba.L/proj_current/proj_current_psidium.guajaba.L_ensem
439
440 futureProj <- stack("D:/tespsidium/datos/psidium.guajaba.L/proj_future/proj_future_psidium.guajaba.L_ensembl
441
442 # Compute differences
443 myBiomodRangeSize <- BIOMOD_RangeSize(proj.current = CurrentProj, proj.future = FutureProj)
444
445 myBiomodRangeSize$Compt.By.Models
446
447 pdf("output/Range_size/Compute_differences.pdf")
448 plot(myBiomodRangeSize$Diff.By.Pixel)
449 dev.off()
450
451 # REPRESENTACION DE LOS RESULTADOS -----
452 # Represent main results
453 pdf("output/Range_size/prueba2.pdf")
454 # Represent main results
455 gg_biom_PlotRangeSize(bm.range = myBiomodRangeSize,
456 do.count = TRUE,
457 do.perc = TRUE,
458 do.maps = TRUE,
459 do.mean = TRUE,
460 do.plot = TRUE,
461 row.names = c("Especie", "Dataset", "Run", "Algo"))
462
463 dev.off()
464
465 ## plot de dinamica de ranas
466
467
```

Anexo 6. Certificación de la traducción del resumen

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN DEL RESUMEN

Loja, 16 de agosto del 2023

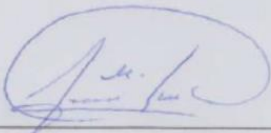
Yo, Livia Rosario Vega Luzuriaga, con número de cédula **1103259428** y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, especialidad de idioma inglés, registrado en el SENESCYT con número **1008-15-1403516**.

CERTIFICO:

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de investigación titulado: **Impactos antrópicos, cambio climático, y vulnerabilidad de especies: el caso de *Psidium guajava* en la región sur del Ecuador**, de autoría del estudiante: Leodan Vicente Ramirez Criollo, portador de la cédula de identidad: **1150508057**, egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad de Loja, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente para fines pertinentes.

Atentamente



Lic. Livia Rosario Vega Luzuriaga

C.I. 1103259428

Celular: 0988513538

Correo: liviavega10@gmail.com