



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Ambiental

Distribución potencial de *Annona cherimola* Mill bajo escenarios de cambio climático y cambios usos del suelo en la Región Sur del Ecuador

Trabajo de Integración Curricular
previa a la obtención del título de
Ingeniero Ambiental

Autor:

Jaime Vinicio Chimbo Granda

Director:

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 23 de septiembre de 2022

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifico:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Distribución potencial de *Annona cherimola* Mill bajo escenarios de cambio climático y cambios usos del suelo en la región Sur del Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Ambiental**, de autoría del estudiante **Jaime Vinicio Chimbo Granda**, con cédula de identidad Nro. **1150668778**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS GUILLERMO
CHUNCHO MOROCHO**

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Jaime Vinicio Chimbo Granda**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de Identidad: 1150668778

Fecha: 22/06/2023

Correo electrónico: jaime.chimbo@unl.edu.ec

Celular: 0990151588

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

Yo, **Jaime Vinicio Chimbo Granda**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Distribución potencial de *Annona cherimola* Mill bajo escenarios de cambio climático y cambios usos del suelo en la región Sur del Ecuador**, como requisito para optar el título de **Ingeniero Ambiental**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintidós días del mes de junio de dos mil veintitrés.



Firma:

Autor: Jaime Vinicio Chimbo Granda

Cédula: 1150668778

Dirección: Loja, Carigan Barrio El Manzano

Correo electrónico: jaime.chimbo@unl.edu.ec

Celular: 0990151588

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Dedicatoria

A Dios y a la Virgen Santísima del Cisne por haberme permitido llegar a uno de los momentos más especiales de mi vida, por la fortaleza de ayudarme a superar muchos obstáculos y miedos durante mi formación universitaria, a mi tía Mariana que desde el cielo estará muy orgullosa de mí al ver que cumplo una meta más en mi formación profesional.

A las personas más importante en mi vida, las cuales amo con todo mi corazón, por las que lucho cada día, mi mayor inspiración a mis padres Jaime y Claudina por darme la oportunidad de vivir, por todos sus consejos de esfuerzo, amor, sacrificio y superación, se han constituido en el pilar fundamental de mi vida, a mi hermana /comadre Gabriela, por el cariño y consejos que siempre me brindo durante mi carrera universitaria.

Finalmente, a todos mis amigos/as y compañeros/as que nos hemos esforzado para cumplir una meta y hacer realidad un sueño compartido.

¡Gracias a todos ustedes!

Jaime Vinicio Chimbo Granda

Agradecimiento

Expreso mis sinceros agradecimientos a quienes hicieron posible la culminación de la presente investigación:

A la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental por sus conocimientos y experiencias brindadas durante los años de formación universitaria.

De manera especial al Ing. Guillermo Chunchu, director de Trabajo de Integración Curricular, por su orientación, apoyo incondicional y principalmente por su amistad que me permitieron realizar exitosamente la presente investigación, de igual manera a la Blga. Aura Paucar, por sus enseñanzas y el apoyo brindados durante todo el desarrollo del presente trabajo.

Así mismo a todos los docentes e investigadores que me permitieron formar parte de este macroproyecto “Biogeografía del cambio climático en el Sur del Ecuador: Dinámicas de cambio de uso de suelo y su influencia en la distribución espacial y temporal de especies nativas” especialmente al Ing. Cesar Benavidez por su apoyo incondicional, la paciencia y tiempo en el desenvolvimiento de este trabajo.

Y finalmente agradezco a mi familia, amigos, compañeros, y a todas las personas que estuvieron apoyándome en estos 5 años de formación académica, en especial a mis amigos por tantos buenos momentos compartidos; pero sobre todo a Fernanda, mi compañera de confianza que siempre estuvo ahí para darme apoyo en los momentos más difíciles que tuvimos que pasar en tiempos de pandemia y ser mi guía para poder seguir adelante, mi agradecimiento por impulsarme a ser una mejor persona.

Jaime Vinicio Chimbo Granda

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Cambio climático y los gases de efecto invernadero	6
4.2. Vulnerabilidad al cambio climático en el Ecuador	7
4.3. Impactos y efectos del cambio climático en la biodiversidad	7
4.4. Impacto del cambio climático en la flora.....	8
4.5. Cobertura vegetal y cambios del uso de suelo	8
4.6. ¿Qué es el cambio en la cobertura/uso del suelo, y cuáles son sus implicaciones?.....	9
4.7. Importancia del estudio del cambio de uso del suelo.	10
4.8. Modelos y estudios de cambio de uso de suelo	10
4.9. Origen, generalidades y distribución geográfica de la Chirimoya.....	11

4.9.1. <i>Taxonomía</i>	11
4.9.2. <i>Familia Annonaceae</i>	12
4.9.3. <i>Annona cherimola Mill.</i>	12
4.10. Importancia económica, valor nutricional y aspectos culturales.....	13
4.11. Consumo de Chirimoya en el Ecuador, propiedades, usos y valor medicinal	13
4.12. Modelos de distribución	14
4.12.1. <i>Modelos de distribución de especies</i>	14
4.12.2. <i>Método de modelación</i>	15
4.12.3. <i>Evaluación del modelo</i>	15
4.12.4. <i>Ensamblajes de técnicas</i>	15
4.12.5. <i>Predicción y proyección espacial</i>	16
5. Metodología	16
5.1. Área de estudio	16
5.2. Diseño de investigación	17
5.2.1. <i>Primera fase: Variables bioclimáticas y topográficas</i>	18
5.2.2. <i>Segunda fase: Modelo de distribución potencial de especies</i>	20
5.2.3. <i>Tercera fase: Comparación de modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de especies</i>	22
5.3. Análisis estadístico	23
6. Resultados	23
6.1. Primera fase: Variables bioclimáticas y topográficas.....	23
6.2. Segunda fase: Modelo de distribución potencial de especies.....	27
6.2.1. <i>Escenario 2030-RCP 4.5</i>	29
6.2.2. <i>Escenario 2030-RCP 6.0</i>	30
6.2.3. <i>Escenario 2050-RCP 4.5</i>	31
6.2.4. <i>Escenario 2050-RCP 6.0</i>	32
6.2.5. <i>Escenario 2080-RCP 4.5</i>	33

6.2.6. Escenario 2080-RCP 6.0.....	34
6.3. Tercera fase: Comparación de modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de especies	36
7. Discusión	36
8. Conclusiones	41
9. Recomendaciones	43
10. Bibliografía	44
11. Anexos	55

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación Taxonómica de <i>Annona cherimola</i> Mill	11
Tabla 2. Variables climáticas (Cuervo-Robayo et al. 2013) y topográficas (proyecto Hydro 1k) empleadas para la modelación de la distribución potencial de <i>Annona cherimola</i> mil en la Región Sur del Ecuador.	18

Índice de figuras

Figura 1.	Ubicación del área de estudio de la región sur del Ecuador, provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.	17
Figura 2.	Fases para el diseño de la investigación.....	18
Figura 3.	Diagrama de flujo metodológico para el modelamiento de distribución de especies con Biomod2.....	21
Figura 4.	Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas (5) y topográficas (3), para los modelos de distribución geográfica potencial de <i>Annona cherimola</i> Mill en la Región Sur del Ecuador. Bio12: Precipitación anual; Bio18: Precipitación en el trimestre más caluroso; Bio19: Precipitación en el trimestre más frío; Bio3: Isotermalidad; Bio4: Estacionalidad de temperatura; Dem: Elevación; Hillshade: Superficie; Slope: Pendiente.	23
Figura 5.	Variación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelo distribución de la <i>Annona cherimola</i> Mill entre el presente y el futuro según la elevación para los diferentes escenarios de cambio climático de RCP 4.5 y 6.0.....	25
Figura 6.	Variación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelo distribución de la <i>Annona cherimola</i> Mill entre el presente y el futuro según la precipitación para los diferentes escenarios de cambio climático de RCP 4.5 y 6.0.....	26
Figura 7.	Variación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelo distribución de la <i>Annona</i> entre el presente y el futuro según la temperatura para los diferentes escenarios de cambio climático de RCP 4.5 y 6.0.	27
Figura 8.	Resultado del análisis de ganancias, pérdidas y persistencia en áreas de distribución potencial en los distintos escenarios de cambios climáticos expresados en hectáreas.	29
Figura 9.	Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de <i>Annona cherimola</i> Mill para el escenario 2030–RCP 4.5.	30
Figura 10.	Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de <i>Annona cherimola</i> Mill para el escenario 2030–RCP 6.0.	31
Figura 11.	Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de <i>Annona cherimola</i> Mill para el escenario 2050–RCP 4.5.	32
Figura 12.	Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de <i>Annona cherimola</i> Mill para el escenario 2050–RCP 6.0.	33

Figura 13. Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de *Annona cherimola* Mill para el escenario 2080–RCP 4.5.34

Figura 14. Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de *Annona cherimola* Mill para el escenario 2080–RCP 6.0.35

Índice de anexos

Anexo 1. Evaluación de los modelos para la especie <i>Annona cherimola</i> Mill.....	55
Anexo 2. Evaluación de variables para el modelo de la especie <i>Annona cherimola</i> Mill.....	55
Anexo 3. Curvas de respuesta del modelo de la especie <i>Annona cherimola</i> Mill.....	56
Anexo 4. Presencias y Ausencias de la especie <i>Annona cherimola</i> Mill.	56
Anexo 5. Certificado de traducción del abstract.....	57

1. Título

Distribución potencial de *Annona cherimola* Mill bajo escenarios de cambio climático y cambios usos del suelo en la Región Sur del Ecuador.

2. Resumen

Evitar las pérdidas de biodiversidad causadas por los impactos del cambio climático, requiere respuestas globales. Los impactos del cambio climático sobre la diversidad vegetal se producen a través de dos efectos: el calentamiento, que alarga el período de actividad de las plantas e incrementa su productividad, y la reducción de las disponibilidades hídricas, que actúa en sentido contrario. En este contexto, la *Annona cherimola* Mill es un árbol frutal distribuido desde Centro América hasta el Sur de América, con mayor población en los Andes de Ecuador y Perú. En este trabajo se ha profundizado en las razones que pueden explicar la distribución actual y futura de la especie *Annona cherimola* Mill, especie adaptada a climas subtropicales, con claras implicaciones para su uso y conservación. La apreciación de esta especie y el conocimiento de su distribución se considera la base importante para su conservación, debido a que generalmente es desconocida en algunos países y regiones del mundo. Por lo tanto, se ha propuesto evaluar el modelamiento de la distribución potencial de la especie bajo los escenarios climáticos y cambios usos del suelo en la Región Sur del Ecuador. Los métodos de modelación se aplicaron utilizando el paquete Biomod2 implementado en RStudio, conjuntamente con información sobre ubicaciones de presencia de la especie en la Región Sur del Ecuador; así como variables bioclimáticas y topográficas para las condiciones de clima de línea de base y para climas futuros para los años 2030, 2050 y 2080 generados por 10 modelos de cambio climático para cada RCP. Para ello, se realizaron proyecciones de la distribución potencial actual, y futuras hacia los años 2030, 2050 y 2080 bajo dos escenarios de cambio climático: RCP 4.5 y RCP 6.0. También se ha evaluado las principales variables bioclimáticas y topográficas que influyen sobre la distribución de *Annona cherimola* Mill; así como, cuantificar los escenarios modelados de la especie *Annona cherimola* Mill en un contexto de cambio de uso de suelo. En los escenarios evaluados se identificaron las áreas de distribución actual de la especie que podrían perder idoneidad entre 50% (2030 RCP 6.0) y 75% (2080 RCP 6.0) en las décadas futuras debido al cambio climático, persista entre 45% (2080 RCP 6.0) y 90% (2030 RCP 6.0) podrían dejar de serlo y gane entre 20% (2080 RCP 6.0) y 70% (2030 RCP 6.0) gran parte de las áreas modeladas, donde se cumplen las condiciones climáticas más propicias para la especie, como muestra el modelo de distribución futura de la especie llevado a cabo.

Palabras clave: Variables climáticas; Modelos de distribución de especies; Cambio climático; Usos de suelo.

2.1 Abstract

As a result of climate change, biodiversity loss must be avoided, hence the need for global responses. Climate change impacts plant diversity by two effects: warming, which lengthens plants' activity period and increases their productivity, and water availability reduction, which acts in the opposite direction. In this context, *Annona cherimola* Mill is a fruit tree distributed from Central to South America. It has the largest population in the Andes of Ecuador and Peru. In this work we have delved into the reasons that may explain the current and future distribution of *Annona cherimola* Mill, a species adapted to subtropical climates, with clear implications for its use and conservation. The appreciation of this species and the knowledge of its distribution is considered the key basis for its conservation, because it is generally unknown in some countries and regions of the world. Therefore, it has been proposed to evaluate the modeling of the potential distribution of the species under climatic scenarios and land use changes. This is in Ecuador's southern region. The modeling methods were applied using the Biomod2 package implemented in RStudio, together with information on locations of occurrence of species in the Southern Region of Ecuador; as well as bioclimatic and topographic variables for baseline climate conditions and for upcoming climates for the years 2030, 2050 and 2080 generated by 10 climate change models for each RCP. To this end, projections of the current and future potential distribution were made for the years 2030, 2050 and 2080 under two climate change scenarios: RCP 4.5 and RCP 6.0. Bioclimatic and topographic variables affecting *Annona cherimola* Mill distribution were also considered, as well as quantifying land use change scenarios for the mill. The scenarios evaluated identified the areas of current distribution of the species that could lose suitability between 50% (2030 RCP 6.0) and 75% (2080 RCP 6.0) in future decades due to climate change and persist between 45% (2080 RCP 6.0) and 90% (2030 RCP 6.0) could cease to be so, and gain between 20% (2080 RCP 6.0) and 70% (2030 RCP 6.0) of the modeled areas, which demonstrate the most favorable climatic conditions for the species.

Key words: Climate variables; Species distribution models; Climate change; Land use.

3. Introducción

Durante sus más de cuatro mil millones de años, la Tierra ha sufrido importantes cambios climáticos que afectan a todas las formas de vida del planeta, a pesar de que la temperatura media difiere tan solo en unos 5 o 6 grados entre una era y otra (Gómez y Torres 2008). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea natural o debido a actividades humanas; por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, completa que el cambio climático se atribuye directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera global más la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (IPCC, 2001; CMNUCC, 1992). El cambio climático es un factor determinante para la dinámica de la biodiversidad mundial (Risto et al., 2009).

Ecuador es uno de los países que tiene una gran diversidad de flora y fauna, es considerado uno de los 17 países megadiversos a nivel mundial, logrando alcanzar beneficios ecosistémicos muy importantes a sus comunidades locales (Aguirre, 2012; Delgado et al., 2017). Su alta diversidad puede ser evidenciada en las más de 18.000 especies de plantas vasculares, de ellas cerca de 4.011 especies son endémicas, de estas aproximadamente el 14% y 15% se ubican en Loja y Zamora, respectivamente (Valencia et al., 1994), lo que indica una alta diversidad de la región sur. Por ejemplo, en estas provincias se encuentra el Parque Nacional Podocarpus con el mayor número de especies de plantas vasculares endémicas en relación al resto de áreas protegidas del país (Amores, 2012). Sin embargo, no existe una cultura de cuidado de la diversidad biológica en el sur del país (Cuesta et al. 2016).

Son pocos los estudios que han evaluado los impactos de múltiples amenazas a especies de manera específica y explícita. Para Miranda et al., (2017) la comprensión de las variaciones espaciales y temporales de cambio de uso de suelo, proporcionara una visión crítica sobre las amenazas potenciales de la flora endémica. Además, es necesario plantear estrategias de conservación y gestión de las políticas públicas y toma de decisiones. Así mismo, la región sur del Ecuador tiene una gran diversidad biológica que puede ser vulnerable a los efectos provocados por cambios de uso de suelo, lo que compromete su riqueza, endemismo y degradación de los ecosistemas (Gaisberger et al., 2017; Fremout et al., 2020).

Según Curatola Fernández et al., (2015) y Thies et al., (2014), existen distintas metodologías que ayudan a estudiar los cambios de uso de suelo en Ecuador. Estas investigaciones realizadas

sobre cambios de uso de suelo en el Ecuador y en la región sur, han generado un marco conceptual de gran importancia, que permitirán generar un estado del arte adecuado para esta investigación, así como implementar modelos de cambio de uso de suelo que permitan evaluar las trayectorias de las categorías de uso de suelo más relevantes para la región sur del Ecuador en distintas escalas espaciales y temporales, utilizando escenarios de forzamiento radiativo (IPCC AR5-RCP 4.5 y 6.0) hacia los años 2030, 2050 y 2080.

Este trabajo de investigación se inserta dentro del macroproyecto institucional denominado: “*Biogeografía del cambio climático en el Sur del Ecuador: Dinámicas de cambio de uso de suelo y su influencia en la distribución espacial y temporal de especies nativas.*”; auspiciado por la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja. Y se enmarca en el estudio de la distribución de *Annona cherimola* Mill, con un enfoque orientado a la Calidad y Gestión Ambiental y Biodiversidad y Conservación de especies nativas y endémicas, con el fin de disminuir el impacto de los sistemas agrícolas de monocultivo, el desarrollo rural, forestal y agropecuario.

Esta especie se encuentra clasificada en la familia Annonaceae (Walter, 1970; Mabberley, 1990), y es la única especie del género altamente adaptada a condiciones tropicales y subtropicales (NAS, 1975). La especie *Annona cherimola* Mill es un árbol frutal que se distribuye desde Centro América hasta Sudamérica, sus poblaciones son más numerosas en los Andes de Ecuador y Perú. Se considera que la apreciación de esta especie y el conocimiento sobre su distribución es la base para su conservación, ya que es frecuentemente desconocida en ciertos países y regiones a nivel mundial (Sanewski, 1991).

Para conocer la distribución de la especie *Annona cherimola* Mill, cuál ha sido su evolución o cómo evolucionará su distribución en los próximos años, los Modelos de Distribución Potencial resultan ser una herramienta muy interesante.

Según Araújo y Peterson (2012) estos modelos se basan en la búsqueda de las relaciones existentes entre variables climáticas y ocurrencias de especies con el objetivo de definir aquellos conjuntos de condiciones bajo los cuales las especies pueden mantener poblaciones viables. Por ello, uno de los objetivos de esta investigación es identificar las variables climáticas y topográficas más importantes para la distribución geográfica potencial de la especie *Annona cherimola* Mill, mediante la modelación con RStudio.

Estos resultados se obtuvieron con el cumplimiento de tres objetivos:

- Evaluar las principales variables bioclimáticas y topográficas que influyen sobre la distribución de *Annona cherimola* Mill, en un contexto de cambio climático;
- Realizar modelos de distribución potencial frente a escenarios de cambio climático de la especie *Annona cherimola* Mill en la Región Sur del Ecuador; y finalmente;
- Cuantificar los escenarios modelados de la especie *Annona cherimola* Mill en un contexto de cambio de uso de suelo.

Todo esto con el fin de Modelar la distribución potencial actual y futura de la especie *Annona cherimola* Mill frente a escenarios de cambio climático y cambios usos del suelo en el periodo 1970 – 2080 de la Región Sur del Ecuador.

4. Marco teórico

4.1. Cambio climático y los gases de efecto invernadero

Aguirre et al., (2010) y IPCC, (2014) define el cambio climático como cualquier cambio de clima en el transcurso del tiempo, ya sea de manera natural o como resultado de actividades humanas, mientras que CMNUCC, (1992) define que el cambio del clima se atribuye directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial sumado a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparable. Díaz, (2012) menciona que en las décadas recientes, las modificaciones en el clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. Sin embargo, Giddens y Bustillo, (2010) califican el cambio climático como un factor de riesgo para el éxito de las acciones encaminadas a la reducción de la pobreza, para la seguridad alimentaria, la salud pública, educación, en general para el desarrollo humano; elementos que de no atenderse aumentan la vulnerabilidad de la población.

Cepssa (2020), afirma que los gases de efecto invernadero (GEI) son gases en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero. Son de origen natural y artificial (resultado de la actividad humana). Se entiende por efecto invernadero el proceso por el cual la radiación térmica emitida por la atmósfera es absorbida por los gases presentes e irradiada en todas las direcciones.

La emisión continua de estos gases hace que la superficie terrestre se caliente más, porque absorben más radiación que la cantidad de radiación devuelta por la superficie terrestre. Los efectos de estos gases sobre el cambio climático dependen de tres factores principales: su cantidad o concentración en la atmósfera, cuánto tiempo permanecen allí y cuánto afectan las temperaturas globales (Cepssa, 2020). Los principales gases de origen natural son: vapor de

agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), ozono (O₃); y de origen antropogénico: hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbonos (HFC's), perfluorocarbonos (PFC's).

4.2. Vulnerabilidad al cambio climático en el Ecuador

La vulnerabilidad es el grado en que un sistema es vulnerable e incapaz de resistir, recuperarse o adaptarse al cambio climático, incluido el cambio climático y los eventos extremos. Depende de la magnitud y la velocidad del cambio climático y la variabilidad a la que está expuesto un elemento de evaluación, su sensibilidad y adaptabilidad (IPCC 2007; Parry et al., 2007). En general, se estima que la variabilidad y el cambio climático provocarán cambios en las precipitaciones y las temperaturas medias, lo que provocará alteraciones en el sistema climático. Si la presión de las actividades humanas se suma a estos cambios, se espera que aumente la vulnerabilidad de los sistemas ambientales y sociales (Forner 2006, IPCC 2014).

4.3. Impactos y efectos del cambio climático en la biodiversidad

El cambio climático afecta de manera directa e indirectamente a individuos, poblaciones y especies, así como a los ecosistemas en su composición y función (Hurt et al., 2011). Así mismo este cambio puede generar pérdida del hábitat, cambios de la cobertura del suelo, pérdida de componentes del ecosistema y de interacciones intra e interespecífica, así como aumento en la distribución de especies invasoras, modificaciones en los patrones de la migración de los organismos, en el tamaño y distribución de las poblaciones (Huang y Geiger, 2008). Consecuentemente el cambio climático puede afectar la distribución de las especies y de esta manera a la biodiversidad (Bravo y Sánchez, 2011).

Durante los últimos 30 años a nivel mundial, los cambios climáticos han sido evidentes y han llevado a provocar numerosas transformaciones en la distribución y abundancia de especies, ocasionando alteraciones en la distribución interna de los ecosistemas (Chapin et al., 2000; Walther et al., 2002; Parmesan y Yohe, 2003; Root et al., 2003).

De acuerdo al IPCC (2007 y 2014), se espera que, a mediano y largo plazo, el cambio climático afecte América Latina de la siguiente manera:

- El aumento de la temperatura y la correspondiente disminución de la humedad del suelo originarían en la parte oriental de la Amazonia una sustitución gradual de los bosques tropicales por sabanas.
- La vegetación semiárida se sustituirá progresivamente por vegetación de tierras áridas.

- Podrían experimentarse importantes pérdidas de diversidad biológica con la extinción de especies en muchas áreas de la América Latina tropical.
- La productividad de algunos cultivos importantes disminuiría, y con ella la productividad pecuaria, afectando negativamente a la seguridad alimentaria.
- Los cambios en los patrones de precipitaciones y la desaparición de los glaciares disminuirían notablemente la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico.

4.4. Impacto del cambio climático en la flora

Para Alpízar (2008) el cambio climático está afectando los patrones ambientales de los lugares donde viven los organismos y, según las investigaciones, se ha acelerado en los últimos años y puede superar la capacidad de adaptación de muchas especies e incluso llegar al punto de ser insoportable para estas cosas. Sabemos que la temperatura y disponibilidad de agua son fundamentales en todos los procesos de los seres vivos; si éstos cambian, se propician trastornos en esos procesos. Los escenarios climáticos recientes sugieren que efectivamente las condiciones climáticas de cualquier lugar sufrirán cambios, lo que implica directamente que el rango ambiental de las especies, o mejor dicho, su distribución natural, cambiará, por lo que todos los seres vivos se verán afectados (Alpízar, 2008).

Las especies pueden tener limitaciones en movilidad, adaptación, reproducción o pueden experimentar pérdida de su hábitat. Las especies con estas limitaciones son hoy consideradas amenazadas o en peligro de extinción y, por tanto, consideradas vulnerables al cambio climático. La flora vegetal puede sufrir procesos de adaptación que le permitan sobrevivir, ya que su movimiento será más lento que el cambio climático; sin embargo, es posible que altere la morfología y esto tenga serias consecuencias para su fauna fructífera y foliar (Alpízar, 2008).

4.5. Cobertura vegetal y cambios del uso de suelo

Los cambios en la cobertura del suelo contemporáneos son generados principalmente por la actividad humana, actividad dirigida a la manipulación de la superficie terrestre para satisfacer alguna necesidad o requerimiento individual o de la sociedad, como la agricultura (Cassman et al., 2005).

Eraso et al., (2010) menciona que la cobertura del suelo se refiere al tipo de cubierta (natural o producto del ser humano) que se encuentra en la superficie terrestre (pasto, cultivo, ciudad, entre otros), mientras que el uso es el conjunto de actividades que el ser humano desarrolla en

relación con cierto tipo de cobertura, y está asociado con los fines sociales y económicos como: agricultura comercial, ganadería intensiva, minería ilegal, ocupación de viviendas, etc. Así mismo estas son el resultado de complejas interacciones entre actividades antrópicas y procesos ambientales (Calamari et al., 2013).

El cambio del suelo es la conversión de la cubierta terrestre que constituye en el reemplazo de un tipo de cobertura por otro (DeFries et al., 2004; Henríquez, 2012). Así mismo es medida por una transición de una categoría de cubierta de suelo a otra, como es el caso de la expansión agrícola, la deforestación, o el cambio en la extensión urbana (Cassman et al., 2005).

Álvarez y Agredo (2013), señalan varios factores como el origen de la pérdida de la cubierta vegetal, aunque algunos son resultado de las características terrestres y su evolución natural, otros se deben a las personas a continuación, algunos factores que ponen de relieve esta situación:

- Carencia de una planificación que integre los procesos político administrativos y las particularidades ecosistémicas y ambientales del territorio.
- Migración o desplazamiento.
- Escasez de suelo urbanizable.
- Aumento de la población por fertilidad.
- Topografía con altas pendientes.
- Desarrollos urbanísticos espontáneos no planificados.
- Desarrollos urbanísticos en suelos no aptos.
- Deficiencia de control urbano estatal.
- Regímenes de lluvias, que superan los niveles pluviométricos normales.
- Actividades agrícolas y ganaderas en laderas.

4.6. ¿Qué es el cambio en la cobertura/uso del suelo, y cuáles son sus implicaciones?

En las últimas décadas, el cambio de uso del suelo se ha convertido en uno de los factores que se asocian al cambio global, los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, en gran parte debido a la transformación de la cobertura del suelo, la degradación y la intensificación del uso del suelo. Estos procesos, a menudo incluidos en la llamada deforestación o degradación forestal, están asociados con impactos ecológicos significativos en la mayoría de las escalas (Bocco et al., 2001).

Para comprender este tipo de procesos, primero es necesario comprender la diferencia entre los términos cobertura y uso de suelo, ya que la cobertura son superficies naturales o artificiales que cubren el suelo y pueden ser tanto de origen natural (bosque, sabanas, lagunas, etc.) y entornos creados y mantenidos por el hombre (Bocco et al., 2001).

El uso del suelo resulta de asentamientos y actividades productivas que influyen en el uso del suelo para satisfacer las necesidades humanas (cultivos, pueblos, represas, etc.). Las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre factores físicos y naturales y factores culturales o humanos (Bocco et al., 2001).

4.7. Importancia del estudio del cambio de uso del suelo.

Para Veldkamp y Lambin (2001) afirman que los cambios y uso del suelo ofrecen la posibilidad de analizar la sensibilidad de los patrones de uso de suelo a cambios en variables selectas. También permiten comprobar la estabilidad asociada a los sistemas sociales y medios ambientales a través de la construcción de escenarios.

Uno de los problemas más graves que han experimentado los ecosistemas naturales es el cambio del uso de suelo, lo que ha provocado reducción de hábitats, extinción de especies y la pérdida de biodiversidad (Vincent et al., 2019). Así mismo el uso de agentes químicos contaminantes usados en la agricultura y medios urbanos afectan integridad del agua y suelo, provocando la compactación de suelo, alteración de ciclos hidrológicos, atmosféricos y ciclos de nutrientes (Alexander et al., 2017; Lawrence et al., 2016; Van Asselen y Verburg, 2013).

4.8. Modelos y estudios de cambio de uso de suelo

Bocco et al., (2001) afirman que la cuantificación de los cambios de uso del suelo se da por teledetección combinada con las herramientas analíticas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica para modelizar los procesos de cambio, es un medio muy eficaz para entender las dinámicas de cambio en un territorio.

Los estudios de la evolución de la cobertura y el uso de la tierra están en el centro de la atención de la investigación ambiental actual. La mayoría de los cambios que han ocurrido en los ecosistemas terrestres se deben a: a) la conversión de la cobertura del suelo, b) la degradación del suelo y c) la intensificación del uso del suelo. Estos procesos, a menudo incluidos en la llamada deforestación o degradación forestal, están asociados con impactos ecológicos significativos de casi cualquier escala (Bocco et al., 2001).

Los modelos de cambio de uso del suelo se han convertido en una poderosa herramienta para el análisis espacial, principalmente dirigido a los siguientes aspectos: (a) Explorar los diferentes mecanismos que subyacen a los cambios en el uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que conducen a los cambios en el uso del suelo. (b) los impactos ambientales y socioeconómicos potenciales del proyecto debido a cambios en el uso de la tierra, y; (c) Evaluar la influencia de los regímenes políticos alternativos de gestión en el uso de la tierra y los patrones de desarrollo (Aguayo et al., 2006).

4.9. Origen, generalidades y distribución geográfica de la Chirimoya

Según Valencia et al., (1994) en la década de los 90, aún existían rodales silvestres de chirimoya. La chirimoya es un árbol caducifolio de la familia de las anonáceas, cuyo origen se remonta a los Andes Peruanos y las montañas de Ecuador, donde crece espontáneamente, aunque algunos historiadores incluyen también las zonas andinas de Chile y Colombia. En la provincia de Loja y el llamado valle sagrado de Vilcabamba, en el Ecuador, son los probables centros de biodiversidad.

A partir de su lugar de origen el hombre distribuyó las semillas. Por el norte se extiende a la región andina de Colombia, Venezuela y las zonas altas de Centroamérica y México. Hacia el sur alcanza Bolivia y Argentina (Popenoe, 1975). Su cultivo comercial es poco difundido, existiendo de forma comercial únicamente en España, Perú, Chile, Bolivia, Ecuador, California, e Islas Madeira. En diversos lugares la producción va destinada al mercado nacional debido a la escasa resistencia del fruto a la manipulación y transportación. Su expansión está muy limitada debido al número reducido de variedades comerciales disponibles, que además, concentran la producción en determinadas fechas y saturan el mercado. Otra razón de su reducida difusión se debe a sus exigencias edafoclimáticas (González, 2013).

4.9.1. Taxonomía

Popenoe (1975) menciona que en la familia Annonaceae existen 130 géneros y 2000-2500 especies, de los cuales se cultivan solo tres géneros, *Annona*, *Rollinia* y *Asimina*, siendo *Annona* los frutos de mayor interés.

Tabla 1. Clasificación Taxonómica de *Annona cherimola* Mill

Taxonomía de <i>Annona cherimola</i> Mill	
Reino:	Vegetal

Subreino:	Embriophyta
División:	Spermatophyta
Subdivisión:	Angiospermae
Clase:	Dicotyledoneae
Orden:	Ranales
Suborden:	Magnoliales
Familia:	Annonaceae
Subfamilia:	Annonoideae
Tribu:	Annoneae
Género:	Annona
Especie:	<i>Annona cherimola</i> Mill

4.9.2. Familia Annonaceae

La familia Annonaceae está definida como un grupo de plantas que producen frutos de sabor exquisito, además, de su importancia económica en algunas regiones del mundo. Está compuesta principalmente por plantas tropicales, siendo muchas de ellas nativas de Ecuador, Perú y Brasil (Lizana y Reginato, 1990). Las especies, según sus características, se agrupan en comestibles establecidas en plantaciones comerciales, las de uso medicinal, industrial y las empleadas como plantas exóticas y en labores de reforestación. La similitud en las especies de este género causa a menudo confusión en la identificación popular, principalmente debido a las denominaciones regionales (Lizana y Reginato, 1990).

4.9.3. *Annona cherimola* Mill

Esta especie es nativa de los Andes Ecuatorianos y Peruanos, y es considerada una de las frutas tropicales más apreciadas dentro del género *Annona* sp. (Correa y Bernal, 1989; Calzada, 1993). Presenta excelente calidad y valor comercial, siendo cultivada en los Andes, Europa, California y regiones brasileras de clima adecuado. Posee sabor dulce y deliciosa pulpa; se le suele denominar como la reina de los frutos subtropicales (National Research Council, 1989).

El árbol de la chirimoya es de crecimiento lento, puede adquirir en su madurez una altura de 7 a 8 m, presenta exuberante follaje, porte erguido y a veces ramificado. El tallo es cilíndrico, de corteza gruesa. Su sistema radicular es superficial y ramificado, originando dos o tres pisos a diferentes alturas, pero poco profundo. Las hojas son simples, enteras, de disposición alterna y

de forma ovada u ovada lanceolada. Las yemas son compuestas y pueden originar brotes mixtos (Morton, 1987).

4.10. Importancia económica, valor nutricional y aspectos culturales

En Ecuador siempre ha sido una fruta apreciada por su delicado sabor (Guirado, et al., 2003). El cultivo de este frutal a gran escala no ha sido promovido en el país, principalmente debido a la tecnología de rara generación para solucionar problemas importantes como: baja calidad del fruto, falta de uniformidad, bajo rendimiento por baja fertilización, el polen natural es bajo, la cosecha se concentra en unos pocos meses del año, el período de reposo del árbol es largo, el árbol es muy alto y las moscas de la fruta atacan fuertemente. Esto ha resultado en bajas ganancias e ingresos poco atractivos para los agricultores (INIAP, 2012).

La planta *Annona cherimola* Mill requiere un clima seco donde no llueva mucho y la temperatura no sea demasiado caliente o demasiado fría. Esta especie, en los trópicos, crece más favorablemente en altitudes entre 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar. En cuanto a la luz, se sugiere que es una planta muy competitiva por este factor de producción, por lo que es práctica la poda, dejando una copa bien proporcionada con formas bastante libres, abrir el centro a la luz y tratar de facilitar también la polinización artificial y cosecha (González, 2013).

La chirimoya es una fruta muy buena para la digestión y es nutritiva, se caracteriza por contener mucha agua; Tiene características muy especiales debido a la combinación armoniosa en la composición de ácidos y azúcares. Este último es producto de la reducción del almidón, principalmente glucosa (11,75%) y sacarosa (9, %) (Kawamata, 1977). Los principales ácidos orgánicos en su composición son el ácido cítrico y el ácido málico.

4.11. Consumo de Chirimoya en el Ecuador, propiedades, usos y valor medicinal

A nivel de fruto, la especie *Annona* es importante por la pulpa, que usualmente es utilizada como alimento en forma fresca, y particularmente para la elaboración de productos industriales alimenticios tales como jugos, yogurt, cremas y productos saborizantes (NRC, 1989; Gardiazabal y Rosenberg, 1993). Además de su uso en helados, los productores bolivianos han empezado a incursionar en la comercialización de la pulpa de la fruta en frascos que contienen sólo la pulpa y permiten preservar su contenido por varios meses. También comercializan, licor de chirimoya, dulces, tortas, entre otros.

La familia Annonaceae y en ella la especie *Annona cherimola* Mill (Lizana y Reginato, 1990; Manica, 1997), se caracterizan por la presencia de muchas sustancias biológicamente activas

de distinta naturaleza química, en las hojas, raíces, frutos y semillas. La especie también es conocida como planta medicinal, y se cree que el té elaborado con sus hojas tiene un efecto relajante, al igual que su fruto tiene un efecto laxante y asegura beneficios digestivos (García, 1974). Se han caracterizado frutos de chirimoya, encontrando que producen una amplia gama de compuestos volátiles. Se han reportado alcaloides, terpenoides, flavonoides, acetogeninas y aceites saponificables (Chen et al., 1999).

4.12. Modelos de distribución

4.12.1. Modelos de distribución de especies

Se pueden distinguir cuatro grandes familias de técnicas de modelación de la distribución geográfica de las especies: las relacionadas a modelos estadísticos de regresiones (Modelos Lineales Generalizados [GLM], Modelos Aditivos Generalizados [GAM]), los métodos de clasificación (Random Forest [RF], Boosted regression trees [BRT]), los métodos de "sobre" (BIoclim, ENFA) y aquellos basados en algoritmos específicos (GARP, MAXENT). Además, se puede incluir como un nuevo enfoque los programas que utilizan ensambles de técnicas para obtener modelos de consenso, buscando disminuir los sesgos y limitaciones propias del uso en forma individual de las técnicas estadísticas mencionadas (Pliscoff y Fuentes, 2011).

Según Pliscoff y Fuentes (2011) los modelos de distribución se generan a partir de dos tipos de fuentes de información: datos sobre la presencia o ausencia de la especie/ecosistema a modelar, y variables descriptivas que definen el espacio ambiental donde se distribuirán en el espacio geográfico. La técnica de modelado elegida establece la relación entre la ubicación geográfica de la información presente o ausente y el rango de valores de todas las variables donde se ubican estos puntos.

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

4.12.2. Método de modelación

Para realizar el modelado de la distribución potencial de la especie se utilizó el paquete Biomod2 (<https://cran.rproject.org/web/packages/biomod2/index.html>) en el programa estadístico de RStudio. Este paquete provee métodos y herramientas relevantes para modelar distribuciones, así como la habilidad de construir rápidamente modelos individuales y combinarlos de distintas formas (Hao et al., 2019).

Para generar las distribuciones potenciales a través de modelos de distribución basados en clima (Environmental Niche Modelling, ENM) se utilizó la plataforma de Biomod2 Biodiversity Modelling (Thuiller et al., 2013), la cual corre en RStudio, lenguaje que permite hacer cálculos estadísticos y gráficos (RStudio, 2008); ambos de libre acceso. Biomod2 aprovecha diferentes técnicas usadas en modelaciones estadísticas para generar predicciones espaciales. En esta plataforma se pueden ensamblar todos los modelos generados los nueve algoritmos, incluyendo los cuatro algoritmos más comúnmente utilizados en 10 modelaciones estadísticas, que tiene implementados GLM, GAM, MAXENT, CTA, ANN, GBM, MARS, SRE, FDA y RF (Plischoff y Fuentes, 2011).

Los modelos de distribución se generan usando dos tipos de fuentes de información: los datos de presencia o ausencia de las especies/ecosistemas que se quiere modelar y las variables descriptoras que definirán el espacio ambiental, donde se distribuirá en el espacio geográfico. La técnica de modelación seleccionada establecerá una relación entre la posición geográfica de la información de presencia o ausencia y el rango de valores del conjunto de variables donde se ubican estos puntos.

4.12.3. Evaluación del modelo

En Biomod2 es posible evaluar los modelos a través de cuatro medidas estadísticas comúnmente utilizadas. En el presente proyecto se utilizaron las dos siguientes reportadas en el archivo: AUC, evalúa los modelos utilizando el área bajo la curva; ROC, es una representación gráfica de la capacidad discriminativa de un modelo para todos sus posibles puntos de corte (Mateo et al., 2011).

4.12.4. Ensamblaje de técnicas

Una reciente aproximación es utilizar ensambles de técnicas (Araujo y New, 2007; Marmion et al., 2009), con el objetivo de disminuir las incertidumbres asociadas a los modelos de distribución, especialmente en relación a la validez estadística de los resultados. Según

Thuiller, (2009) Biomod2 es un paquete de RStudio que ha sido utilizado principalmente para analizar proyecciones de la distribución actual bajo escenarios de cambio climático, análisis del nivel de protección actual y futuro de especies con problemas de conservación (Le Maitre et al., 2008; Barbet Massin et al., 2009; Parviainen et al., 2009; Marini et al., 2010).

4.12.5. Predicción y proyección espacial

El paso final en la generación de un modelo de distribución, es la proyección en el espacio geográfico del modelo que ha sido calibrado y evaluado. En este paso los valores continuos de probabilidad, son transferidos al espacio geográfico, por lo que se pueden representar en forma cartográfica. El modelo de distribución se puede proyectar en el espacio actual, utilizando variables descriptoras actuales, pero también se puede proyectar en el futuro o en el pasado, utilizando variables descriptoras que correspondan a los tiempos que se quieran analizar (Hijmans et al., 2005). Este proceso de transferencia temporal del modelo de distribución requiere de enfoques diferentes de calibración y evaluación. En la actualidad el enfoque más común de los trabajos de modelos de distribución involucra la proyección actual de la entidad natural analizada y su posterior proyección bajo un escenario de cambio climático (Wiens y Graham, 2005; Pearman et al., 2008).

5. METODOLOGÍA

5.1. Área de estudio

El área de estudio para el desarrollo de esta investigación es la Región Sur del Ecuador, está ubicada al extremo meridional del territorio ecuatoriano, comprende la región insular del archipiélago de Jambelí, la zona litoral o baja de la provincia de El Oro, toda la provincia de Loja y la zona oriental o amazónica perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe (Reyes y Reyes, 2016). Geográficamente se localiza entre los paralelos 3° y 5° de latitud sur y los meridianos 78° y 81° de longitud oeste. Así mismo la Región Sur limita al norte con la provincia del Guayas, Azuay y Morona Santiago; al sur y este con la República del Perú; y al oeste con el Océano Pacífico. La superficie continental de la Región Sur es de aproximadamente 40.000 km², lo que equivale a más del 14% de la superficie de País. De esa área enmarcada, 2.750 km² corresponden a la superficie agrícola, lo que constituye el 14% de la superficie agrícola total del País (Revelo, 2003).

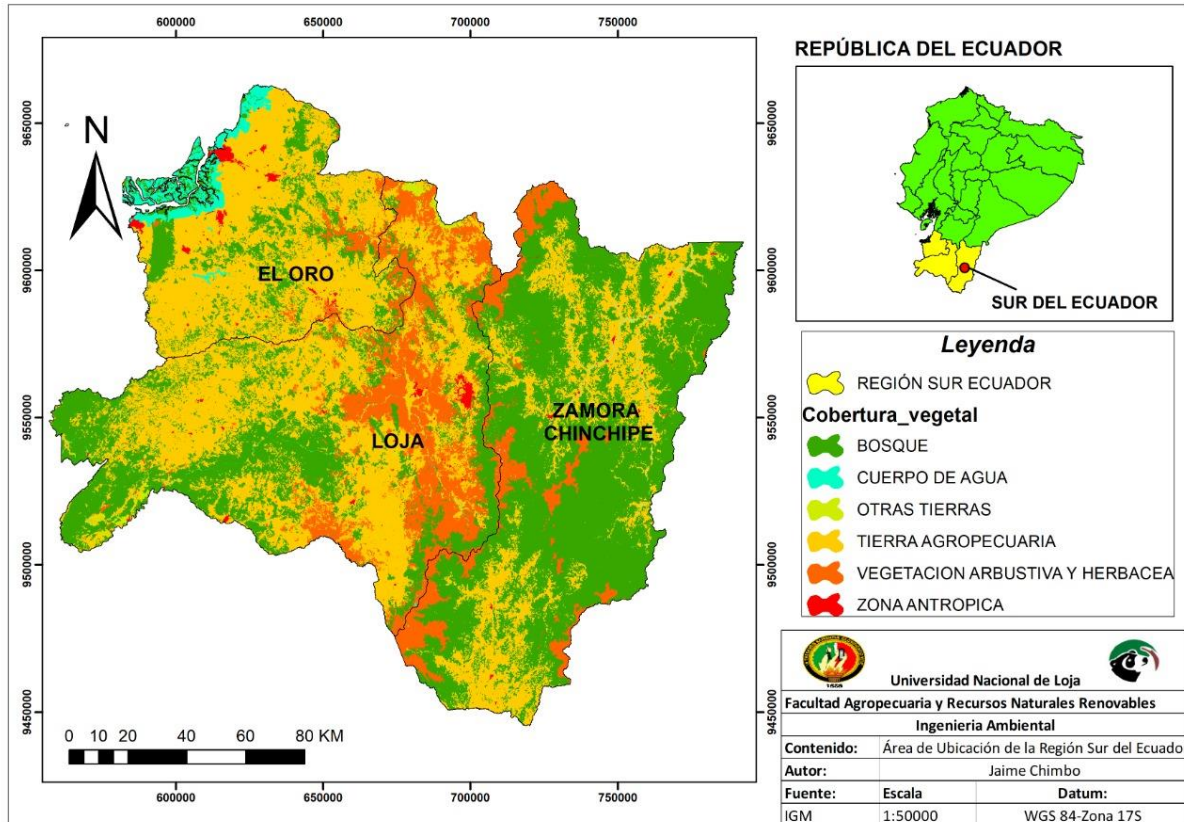


Figura 1. Ubicación del área de estudio de la región sur del Ecuador, provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.
Fuente: Autoría propia.

5.2. Diseño de investigación

El modelado de la distribución de la especie *Annona cherimola* Mill desarrollado para dar respuesta a los objetivos planteados anteriormente se ha basado en la metodología que se plantea a continuación, la cual está conformada por 3 fases:

Fase 1: Selección de los predictores y filtrado de los datos biológicos (puntos de presencias). Este apartado recoge la obtención y procesado de la información ambiental y biológica.

Fase 2: Construcción del modelo de distribución y proyecciones de cambio climático y cambios de usos de suelo. La distribución de *Annona cherimola* Mill se ha modelado utilizando el paquete Biomod2 implementada en el software RStudio. Este paquete nos permite generar modelos que posteriormente pueden ser ensamblados para mostrar los resultados de diferentes modelos generados a partir de la configuración optimizada en la fase anterior. Finalmente, el modelo resultante se proyectará bajo escenarios de cambio climático.

Fase 3: Estos modelos serán analizados y evaluados basándose tanto en aspectos estadísticos (diferentes métricas) como en aspectos ecológicos (rangos de tolerancia y distribución).

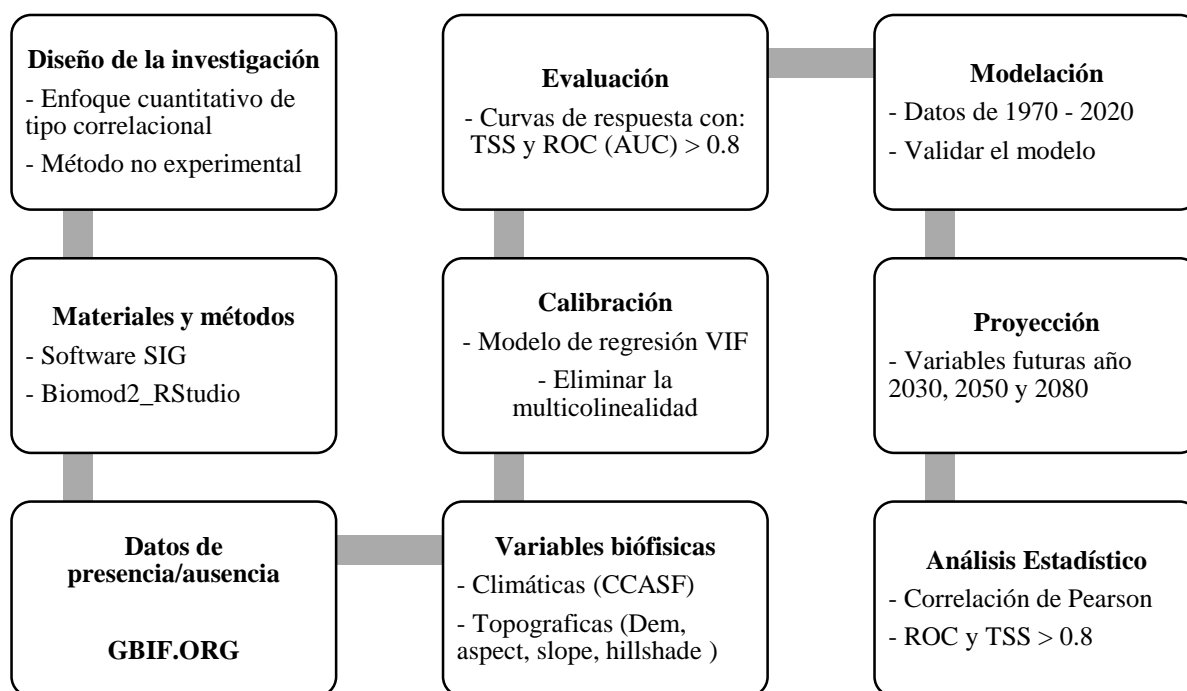


Figura 2. Fases para el diseño de la investigación

5.2.1. Primera fase: Variables bioclimáticas y topográficas

La construcción del modelo de distribución de la especie *Annona cherimola* Mill requiere de datos de presencias de la misma. Para la construcción de los modelos predictivos se utilizó Biomod2, para ello se evaluaron 19 variables bioclimáticas y 4 variables topográficas, que corresponden a capas ambientales en formato ráster (Hijmans et al., 2005), derivadas de la interpolación de datos medios mensuales de precipitación y temperatura registrados en estaciones meteorológicas para el período 1970-2080. La información climática se obtuvo de CCAFS (<http://ccafs-climate.org/>). A continuación, las variables a utilizarse se muestran en la siguiente tabla 2 (Bunn et al., 2018).

Tabla 2. Variables climáticas (Cuervo-Robayo et al. 2013) y topográficas (proyecto Hydro 1k) empleadas para la modelación de la distribución potencial de *Annona cherimola* Mill en la Región Sur del Ecuador.

Variable climáticas	Descripción	Unidad
BIO 1	Temperatura promedio anual	°C

BIO 2	Rango diario de temperatura	°C
BIO 3	Isotermalidad	°C
BIO 4	Estacionalidad de temperatura (porcentaje)	%
BIO 5	Temperatura máxima del período más caliente	°C
BIO 6	Temperatura mínima del período más frío	°C
BIO 7	Rango anual de temperatura	°C
BIO 8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso	°C
BIO 9	Temperatura promedio en el trimestre más seco	°C
BIO 10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso	°C
BIO 11	Temperatura promedio en el trimestre más frío	°C
BIO 12	Precipitación anual	mm
BIO 13	Precipitación en el período más lluvioso	mm
BIO 14	Precipitación en el período más seco	mm
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación (%)	-
BIO 16	Precipitación en el trimestre más lluvioso	mm
BIO 17	Precipitación en el trimestre más seco	mm
BIO 18	Precipitación en el trimestre más caluroso	mm
BIO 19	Precipitación en el trimestre más frío	mm
Variables topográficas		
DEM	Elevación	m.s.n.m
HILLSHADE	Mapa de sombras	-
SLOPE	Pendiente	%
ASPECT	Aspecto	-

Las variables bioclimáticas que se utilizaron para la implementación, calibración, simulación, validación y proyección de los modelos fueron tomadas desde el portal web de CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), (<http://ccafsclimate.org/>), quienes aplican el método delta de escalado de un ensamble de GCM (Ashraf et al., 2017; Bouroncle et al., 2017; Costa-Saura et al., 2017; Feldman et al., 2017; Jennings y Harris, 2017; Riordan y Rundel, 2014; Thapa et al., 2016). Así mismo se consideraron variables topográficas como elevación, superficie, pendiente y aspecto, a una

resolución espacial de 1km, las cuales podrían permitir explicar la distribución potencial de la especie (Brun et al., 2020).

Para conocer la distribución actual y futura de la especie en el Ecuador, el modelo se proyectó a un escenario climático actual para el país (2020) y a escenarios climáticos futuros (RCP 4.5 y RCP 6.0), uno cercano con su centro (2030-2050) y otro lejano centrado en (2080), bajo dos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno de mitigación (RCP 4.5) y otro extremo (RCP 6.0). Cada Representative Concentration Pathways (RCP), por sus siglas en inglés contiene una serie de suposiciones socioeconómicas, tecnológicas y biofísicas diferentes.

Para la obtención de datos geo-referenciados de la especie se consultó el portal de la Global Biodiversity Information System (GBIF) en la cual se obtuvo una base de datos de 158 registros históricos de presencia de la especie (desde 1970 a la fecha). A partir de esta base de datos se llevó a cabo la validación espacial de los mismos (geo-referencia, DATUM, localidad, tipo de vegetación) para corroborar la veracidad de las observaciones, y favorecer la calidad de la información ingresada al modelo. Después de la validación de los registros de la especie, se obtuvo una base de datos depurada y validada solo para la Región Sur del Ecuador, que contuvo aproximadamente 60 datos de presencia.

Por ello el paquete de Biomod2 permite proyectar una evaluación de cada una de las variables y analizar solo aquellas que se ajustan al modelo para las respectivas proyecciones actuales y futuras de la especie, estos resultados se los obtendrá en mapas, tablas, graficas, solo con las variables válidas.

5.2.2. Segunda fase: Modelo de distribución potencial de especies

Para predecir y analizar la distribución potencial de la especie *Annona cherimola* Mill, se usará el paquete Biomod2 que alberga 10 modelos GLM, GAM, MAXENT, CTA, ANN, GBM, MARS, SRE, FDA y RF. Para esto el modelo corresponde a la zona de estudio donde habita la especie (Figura 2), determinada mediante la relación entre los puntos de presencia conocidos y las variables medio ambientales del sitio. Este método se utiliza como entrada con un conjunto de localidades donde se conoce que la especie está presente y un grupo de coberturas geográficas que representan los parámetros ambientales pueden reducir la capacidad de supervivencia de la especie (Elith et al., 2006; Mateo et al., 2011; Valera et al., 2014).

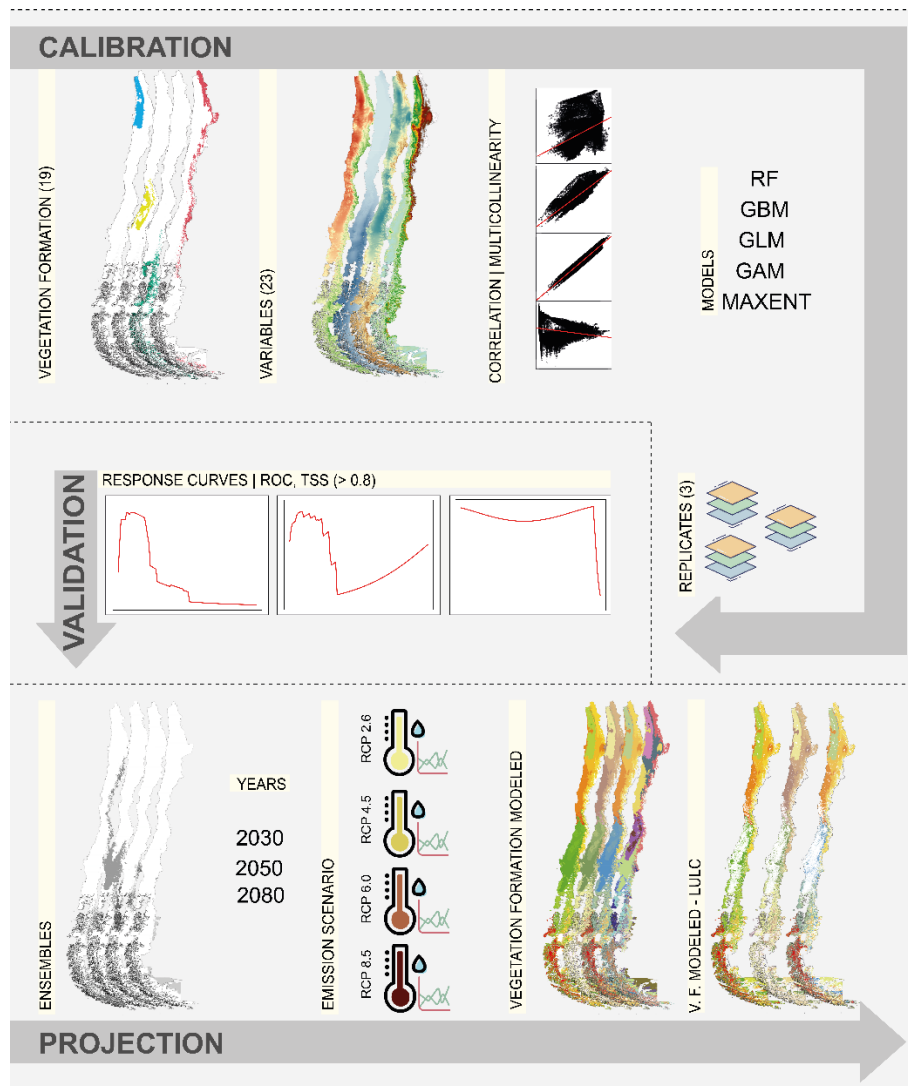


Figura 3. Diagrama de flujo metodológico para el modelamiento de distribución de especies con Biomod2.

Fuente: Benavidez et al., 2021.

Se eligió Biomod2 por dos razones: en primer lugar, porque se trata de un paquete estadístico de RStudio que ofrece máxima flexibilidad de calibración y capacidad de interactuar con funciones de otros paquetes estadísticos. En segundo lugar, permite proyectar lo que se conoce como “ensamble de modelos”, lo que consiste en calibrar un alto número de réplicas de un modelo con ligeras variaciones y calcular el promedio de todas las réplicas, lo que nos permite tener en cuenta la incertidumbre estadística inherente a los modelos (Araújo y New, 2007).

Para esta etapa será necesario identificar las principales especies de mayor importancia biológica para la Región Sur del Ecuador. Será necesario contar con información georeferenciada de presencia de la especie, esta información será obtenida desde bases de datos de sitio web Global Biodiversity Information System (GBIF), así como de investigaciones

previas. Así mismo para evaluar la contribución de las variables ambientales a la predicción de los modelos de la especie se analizaron los resultados de dos vías: la estimación de los porcentajes de contribución relativa al modelo y los resultados de la prueba Jackknife. Se utilizaron los valores de resumen de los resultados de los modelos, que contienen los valores de la media para todos los parámetros analizados.

Así mismo se intenta determinar la distribución potencial actual y futura de la especie con Biomod2, para ajustar la probabilidad de la distribución de ocurrencia de la especie para el conjunto de píxeles de la Región Sur del Ecuador. Para esta modelación se provee tomar puntos georreferenciados y las capas ambientales escogidas previamente (Henriquez, 2012). Además de usar los modelos climáticos para la proyección futura 2030, 2050 y 2080, realizando modelos que generen un ensamble de los modelos realizados.

El modelamiento se realizó con el paquete de Biomod 2 (Guisan et al., 2007) implementado en RStudio versión 4.2.0 (2018), esta librería permitió generar modelos individuales y ensambles que pueden ser usados para explicar la distribución actual y futura de las especies evaluadas en forma de proyecciones, que pueden ser realizadas para distintas escalas temporales y zonas geográficas (Ren et al., 2016; Thuiller et al., 2009).

5.2.3. Tercera fase: Comparación de modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de especies

Para la modelación de cambio de uso de suelo se utilizó el modelo Land Change Modeler (LCM) implementado en Terrset 18.31, el mismo que permitió modelar y evaluar cambios de uso de suelo (Hansen et al., 2013; Liu et al., 2017). El sistema de referencia de coordenadas (CRS) utilizado para la base de datos de cobertura terrestre son un sistema de coordenadas geográficas (GCS) basado en el World Geodetic System 84 (WGS84).

Una vez obtenidos los modelos de cambio de uso de suelo y de distribución de especies para los años 2030, 2050 y 2080 para los escenarios climáticos IPCC AR5 – RCP 4.5 y 6.0, se implementó métodos geomáticos que permitió cuantificar la cantidad de píxeles donde se espera que la especie estén distribuidas en el futuro y que podrían ser amenazadas por las distintas trayectorias de cambio de uso de suelo.

Para evaluar y validar la capacidad de predicción de los modelos generados en Terrset, se utilizó el área bajo la curva o AUC (Area Under the Curve) y el índice de Kappa (Torres y Jayat, 2010; Quintana et al., 2013). El área bajo la curva es la representación gráfica de la

capacidad discriminativa de un modelo para todos los posibles puntos de corte y puede interpretarse como la mayor probabilidad de que un punto de presencia seleccionado aleatoriamente, esté ubicado en una celda del ráster con un alto valor de probabilidad para la presencia de la especie.

5.3. Análisis estadístico

En base a la información obtenida del portal web de CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), se elaborada una base de datos usando el software Excel y el software de RStudio donde se realizó un análisis estadístico que ayudará a determinar las variables bioclimáticas en los diferentes escenarios climáticos y los mapas de distribución potencial de la especie *Annona cherimola* Mill de la Región Sur del Ecuador.

6. RESULTADOS

6.1. Primera fase: Variables bioclimáticas y topográficas

Las variables bioclimáticas y topográficas que se descargaron de la base de datos del CCAFS, fueron seleccionadas teniendo en cuenta las características biológicas y ecológicas de la especie *Annona cherimola* Mill. En total se obtuvieron 19 variables bioclimáticas y 4 topográficas, de las cuales únicamente se eligieron 8 variables bajo los diferentes escenarios de cambio climático y topográfico, para contribuir al modelo de distribución geográfica potencial de la especie *Annona cherimola* Mill en la Región Sur del Ecuador (Figura2).

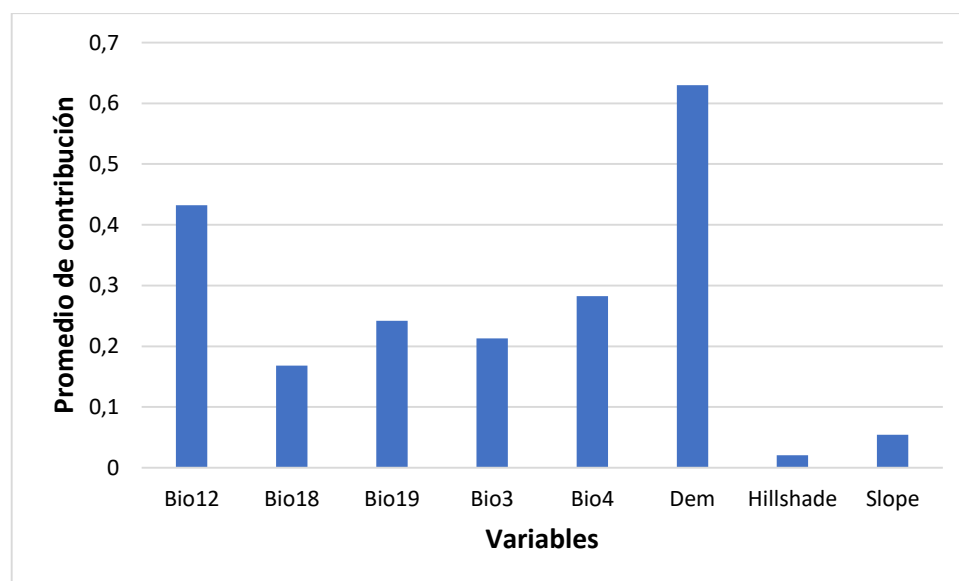


Figura 4. Promedio de contribución relativa de las variables bioclimáticas (5) y topográficas (3), para los modelos de distribución geográfica potencial de *Annona cherimola* Mill en la Región Sur del Ecuador. **Bio12:** Precipitación anual; **Bio18:** Precipitación en el trimestre más caluroso; **Bio19:**

Precipitación en el trimestre más frío; **Bio3**: Isotermalidad; **Bio4**: Estacionalidad de temperatura; **Dem**: Elevación; **Hillshade**: Superficie; **Slope**: Pendiente.

Antes de profundizar la dinámica del área de distribución de la especie, es importante resaltar que existe una serie de factores que influyen en la caracterización del área. Inicialmente esta caracterización resulta complicada por el hecho de querer trasladar algún fenómeno que esté presente en la naturaleza, lo cual elimina el efecto de la elevación en algunos puntos del área, modificando las distancias y en consecuencia su interpretación. De acuerdo al análisis de la especie *Annona cherimola* Mill con relación a la densidad máxima y elevación de la misma (Figura 3), tenemos que, para el escenario actual, la especie tiene una elevación que está en los rangos de 1500 a 2250 metros obteniendo una densidad máxima de 0,0010. Para el escenario a futuro 2030–RCP 4.5 se obtiene que la especie tendría una elevación que está en los rangos de 1500 a 2000 metros con una densidad aproximada de 0,0016. Mientras que para el escenario futuro 2030–RCP 6.0 la elevación está comprendida en los rangos de 1500 a 2250 metros y una densidad máxima de 0,0017. Sin embargo, para el escenario futuro 2050–RCP 4.5 tenemos una elevación que está en los rangos de 1500 a 1850 metros con una densidad máxima de 0,0015. Y para el escenario futuro 2050–RCP 6.0 se obtendría una elevación que está en los rangos de 1500 a 2000 metros con una densidad de 0,0015. Así mismo, para el escenario futuro 2080–RCP 4.5 se tiene una elevación que está en los rangos de 1500 a 2000 metros con una densidad máxima de 0,0015. Y para el último escenario a futuro 2080–RCP 6.0 tenemos que la especie tiene un rango de elevación que está entre 1500 a 2000 metros con una densidad máxima de 0,0017.

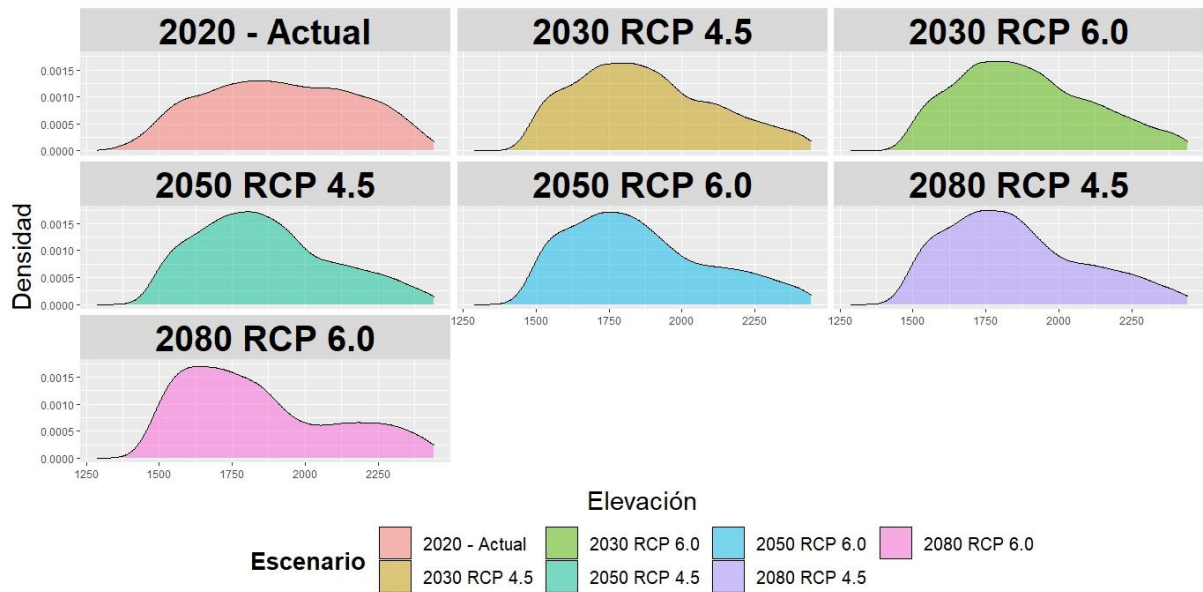


Figura 5. Variación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelo de distribución de la *Annona cherimola* Mill entre el presente y el futuro según la elevación para los diferentes escenarios de cambio climático de RCP 4.5 y 6.0.

Para el análisis de la precipitación en relación con la densidad de la especie *Annona cherimola* Mill para los escenarios que se muestra en la Figura 4, se puede observar que, para el escenario actual, la precipitación está en el rango de 700 a 1400 milímetros donde se evidencia claramente que la especie tienen una densidad de 0,003 lo que se confirma que la precipitación es adecuada para la especie. Sin embargo, para el escenario futuro 2030–RCP 4.5 se observa que la precipitación aumenta 800 a 1400 milímetros lo cual favorece a la especie, ya que no habrá pérdida de la especie llegando a tener una densidad de 0,0035. Así mismo para el escenario 2030–RCP 6.0 se evidencia que la precipitación está en los rangos de 800 a 1400 milímetros dando a conocer que la densidad aumentaría a un nivel máximo de 0,0032. Para el escenario futuro 2050–RCP 4.5 se observa que la precipitación aumentaría, pasando del rango de 900 a 1400 milímetros y la densidad igual aumentaría llegando a un valor máximo de 0,0037. Mientras que para el escenario 2050–RCP 6.0 tenemos que la precipitación está en el rango de 900 a 1400 milímetros la densidad disminuye llegando a un valor mínimo de 0,0015 y máximo de 0,004. En el escenario futuro 2080–RCP 4.5 según el análisis de la densidad en función con la precipitación, tenemos que la mayor densidad está en la precipitación máxima que sobrepasa el rango del valor actual 920 a 1400 milímetros, llegando a un límite de 0,0043 considerando que la precipitación es propicia para la distribución de la especie. Para el último escenario futuro 2080–RCP 6.0 se puede observar que la densidad de la especie va a aumentar conforme

vaya aumentando la precipitación, en este análisis la precipitación llega a un rango que sobrepasa el valor actual 1000 a 1400 milímetros, obteniendo una densidad mínima de 0,002 y una máxima de 0,0046.

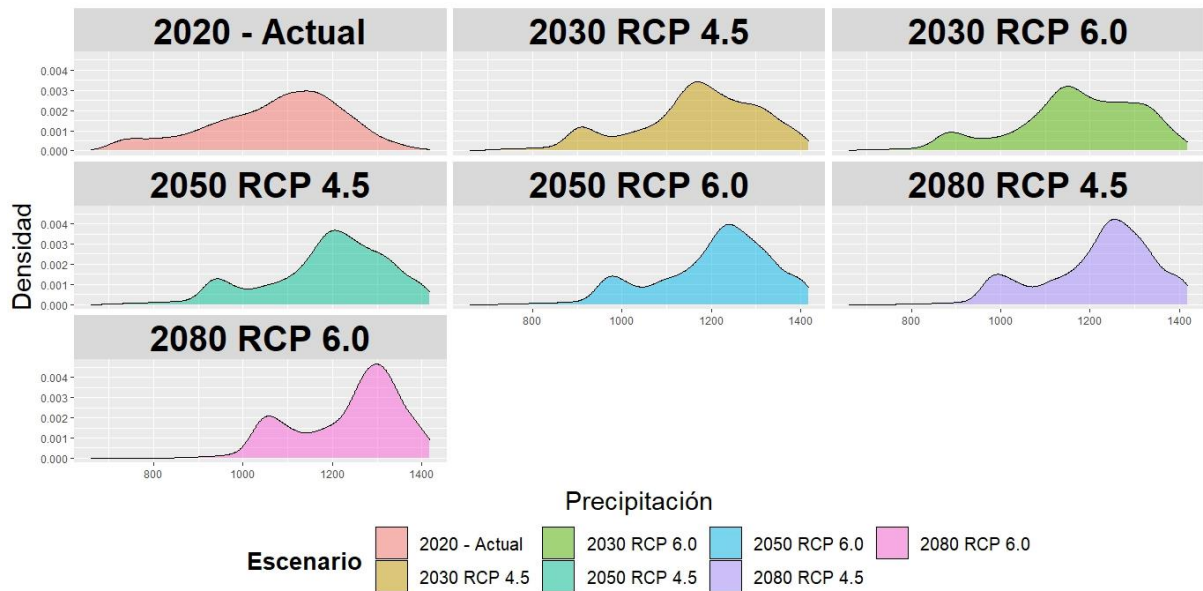


Figura 6. Variación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelo de distribución de la *Annona cherimola* Mill entre el presente y el futuro según la precipitación para los diferentes escenarios de cambio climático de RCP 4.5 y 6.0.

Según el análisis de la temperatura en relación con la densidad de la especie *Annona cherimola* Mill para los escenarios se muestra en la Figura 5, donde se puede evidenciar qué, para el escenario actual, la temperatura está en el rango de 15 a 20 °C, notándose claramente que la especie tienen una densidad de 0,02 lo que se confirma que la temperatura es óptima para la especie. Sin embargo, para el escenario futuro 2030–RCP 4.5 se observa que la temperatura aumentará 20 a 25 °C lo cual favorece la especie ya que no habrá pérdida de su distribución, la densidad obtenida para este escenario es de 0,015. Así mismo para el escenario 2030–RCP 6.0 se evidencia que la temperatura está en los rangos de 15 a 20 °C dando a conocer que la densidad aumentaría a un nivel máximo de 0,02. Para el escenario futuro 2050–RCP 4.5 se observa que la temperatura aumentaría, pasando del rango de 20 °C y la densidad igual aumenta llegando a un valor máximo de 0,025. Mientras que para el escenario 2050–RCP 6.0 tenemos que la temperatura en el rango de 17.5 °C la densidad disminuye llegando a un valor mínimo de 0,01 y la temperatura en el rango de 20 °C la densidad aumenta a un valor máximo de 0,025. En el escenario futuro 2080–RCP 4.5 según el análisis de la densidad en función con la temperatura, tenemos que la mayor densidad está en la temperatura máxima que sobrepasa el

rango de 20 °C, llegando a un límite de (0,0225) considerando que la temperatura es propicia para la distribución de la especie. Para el último escenario futuro 2080–RCP 6.0 se puede observar que la densidad de la especie va a aumentar conforme vaya aumentando la temperatura, en este análisis la temperatura llega a un rango que sobrepasa el valor de 20 °C, obteniendo una densidad máxima de (0,0257).

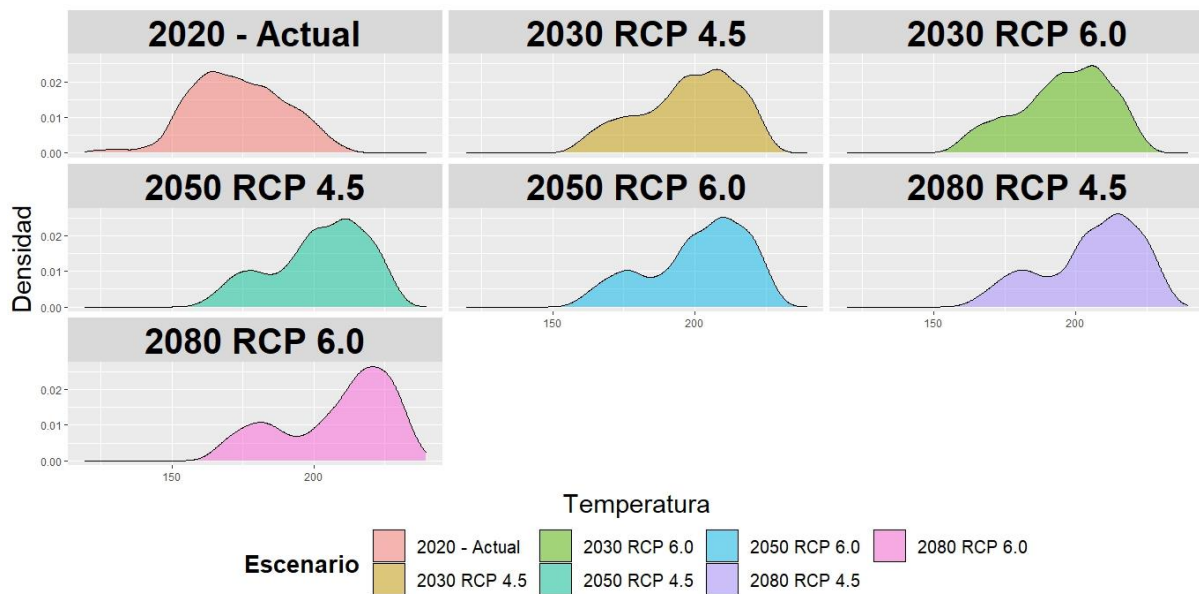


Figura 7. Variación de las variables bioclimáticas seleccionadas para el modelo de distribución de la *Annona* entre el presente y el futuro según la temperatura para los diferentes escenarios de cambio climático de RCP 4.5 y 6.0.

6.2. Segunda fase: Modelo de distribución potencial de especies

Los mapas de los modelos de distribución potencial de la especie *Annona cherimola* Mill de la Región Sur del Ecuador presentan ganancias, pérdidas y persistencia de la especie de interés, utilizando registros del territorio nacional. Esta especie presenta un modelo de distribución actual en todos los escenarios modelados donde las condiciones son propicias para ella, y seis modelos correspondientes a los escenarios de cambio climático predichos para los años 2030, 2050 y 2080.

La distribución potencial de la especie que está dada por las probabilidades de que en un área determinada existan las condiciones climáticas necesarias para que la especie en cuestión pueda habitarla. Así mismo se logró obtener modelos con valores a AUC (Area Under the Curve) mayores a 8 para la respectiva modelación de la especie en la Región Sur del Ecuador. Además, los cambios en las áreas se calcularon en hectáreas (ha) de pérdidas, ganancias y persistencia, utilizando los valores de las mismas. Tomando en cuenta las áreas donde la probabilidad de

que se presenten las condiciones ambientales propicias para la especie sea adecuada para su distribución potencial. Estos datos se modelan en mapas que son una representación gráfica de la probabilidad de que existan las condiciones climáticas adecuadas para la especie.

El resultado de los análisis de las ganancias, pérdidas y persistencias para los años 2030, 2050 y 2080 se muestran en la Figura 6. Donde el color verde representa las probabilidades de ganancia, el rojo representa las probabilidades de pérdida y el azul representa las probabilidades de persistencia. Todo ello corresponde a cada variable bioclimática y topográfica evaluada para contribuir al modelo de distribución geográfica potencial de la especie *Annona cherimola* Mill en la Región Sur del Ecuador. Estos colores de ganancia (verde), pérdida (rojo) y persistencia (azul), se usan también en los mapas como estándar para su interpretación.

En la figura 6 se indican las superficies obtenidas que se podrían dar para los escenarios modelados a futuro de la especie *Annona cherimola* Mill. Para el escenario futuro 2030–RCP 4.5, se obtendría una ganancia de 75.000 ha (verde), una pérdida de 90.000 ha (rojo) y una persistencia de 120.000 ha (azul). Sin embargo, para el escenario futuro 2030–RCP 6.0, se podría tener una ganancia de 90.000 ha, una pérdida de 77.000 ha, y una persistencia de 130.000 ha. Así mismo, tenemos que para el escenario futuro 2050–RCP 4.5, se podría obtener una ganancia de 60.000 ha, una pérdida mayoritaria de 110.000 ha y una persistencia de 100.000 ha. Mientras que para el escenario futuro 2050–RCP 6.0, tenemos que se obtendría una ganancia de 55.000 ha, con una pérdida de 103.000 ha y una persistencia de 105.000 ha. Para el escenario a futuro 2080–RCP 4.5 tenemos que se podría obtener una ganancia de 50.000 ha, una pérdida de 120.000 ha y una persistencia de 98.000 ha. Ya para el último escenario a futuro 2080–RCP 6.0 se observa que se podría tener una pérdida de 125.000 ha, una ganancia de 45.000 ha y una persistencia considerable de 90.000 ha.

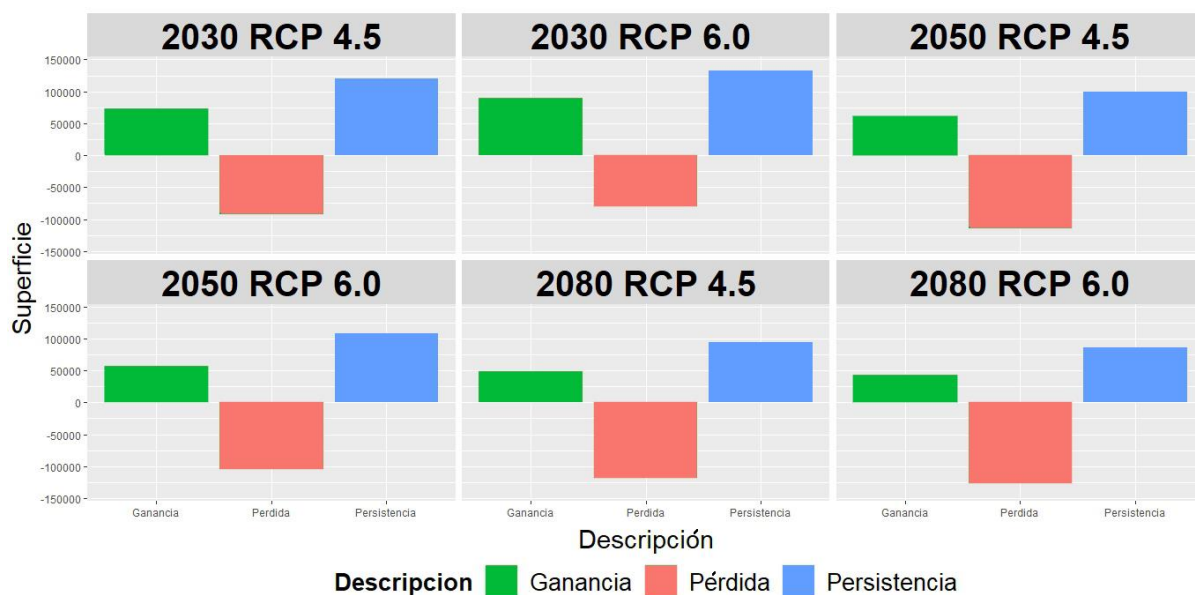


Figura 8. Resultado del análisis de ganancias, pérdidas y persistencia en áreas de distribución potencial en los distintos escenarios de cambios climáticos expresados en hectáreas.

6.2.1. Escenario 2030-RCP 4.5

Los resultados obtenidos en el modelado de los registros de presencia actual confirmada de la especie indicaron que para el escenario futuro 2030–RCP 4.5 podría existir una pérdida (rojo) en comparación a la distribución actual (azul y rojo), esta pérdida se observaría en gran parte en la provincia de Loja (Figura7). Así mismo, se pudo observar que las ganancias (verde) están ubicadas en la parte norte de la provincia de Loja y en la parte sur de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe y al este de la provincia de El Oro, dando a conocer que las condiciones ambientales podrían ser óptimas para la distribución de la especie para este escenario. Sin embargo, existe una persistencia mayoritaria (azul) en la provincia de Loja, donde se evidencia que posiblemente no habrá ni pérdidas ni ganancias de la distribución de la especie, sino que se mantendrá conservada sin amenazas para este escenario.

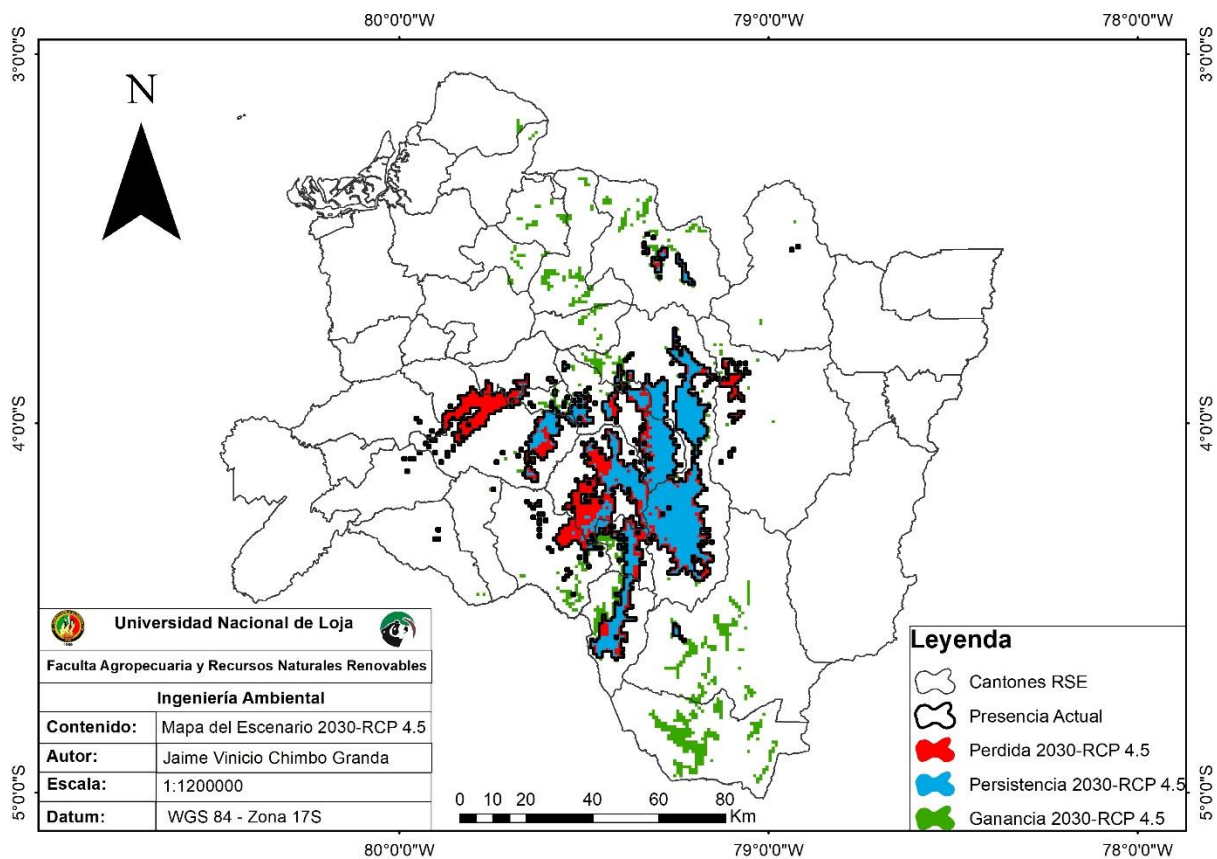


Figura 9. Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de *Annona cherimola* Mill para el escenario 2030–RCP 4.5.

6.2.2. Escenario 2030-RCP 6.0

Para el escenario futuro 2030–RCP 6.0 los resultados obtenidos en el modelado de los registros de presencia actual confirmada de la especie indicaron que podría existir una pérdida (rojo) en comparación a la distribución actual (azul y rojo), esta pérdida se observa gran parte en la provincia de Loja y una mínima en la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 8). Así mismo se puede observar que podría existir ganancias (verde), las cuales se puede evidenciar que están ubicadas en la parte norte de la provincia de Loja y en la parte sur de las provincias Loja y Zamora Chinchipe y al este de la provincia de El Oro, dando a conocer que las condiciones ambientales podrían ser las adecuadas para la distribución de la especie en este escenario. Sin embargo, existe una persistencia mayoritaria (azul) en la provincia de Loja, donde se evidencia que posiblemente no habrá ni pérdidas ni ganancias de la distribución de la especie, sino que se mantendrá conservada sin amenazas para este modelo.

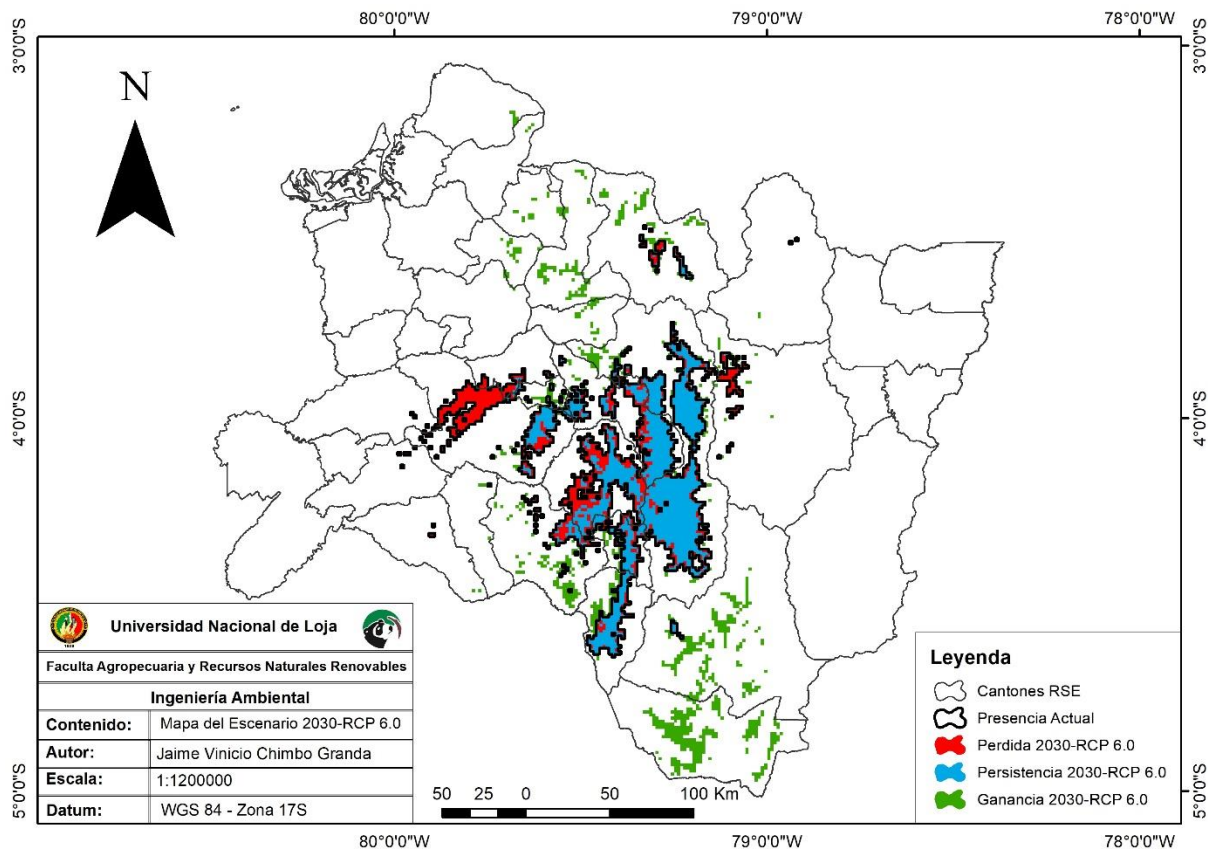


Figura 10. Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de *Annona cherimola* Mill para el escenario 2030–RCP 6.0.

6.2.3. Escenario 2050-RCP 4.5

Para el escenario 2050–RCP 4.5 modelado, se determinó que la distribución de la especie *Annona cherimola* Mill para este escenario se obtendría una pérdida (rojo) en comparación a la actual (azul y rojo), reduciéndose gran parte en la provincia de Loja y una mínima parte en la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 9). Así mismo, en este escenario podría ser el más drástico en cuanto a las condiciones de cambio climático, por lo que puede existir un aumento de temperatura y cambio de precipitación, lo que se reflejaría una pérdida considerada ante los demás escenarios evaluados. Así mismo la ganancia (verde) para este escenario se puede observar que están ubicadas en la parte norte de la provincia de Loja y en la parte sur de las provincias Loja y Zamora Chinchipe y al este de la provincia de El Oro, considerando que los rangos de temperatura pueden aumentar y ayudar a la distribución de la especie. La persistencia de la especie se mantiene solo en la provincia de Loja, con lo que se puede evidenciar de igual manera que la temperatura y precipitación son adecuadas para la especie.

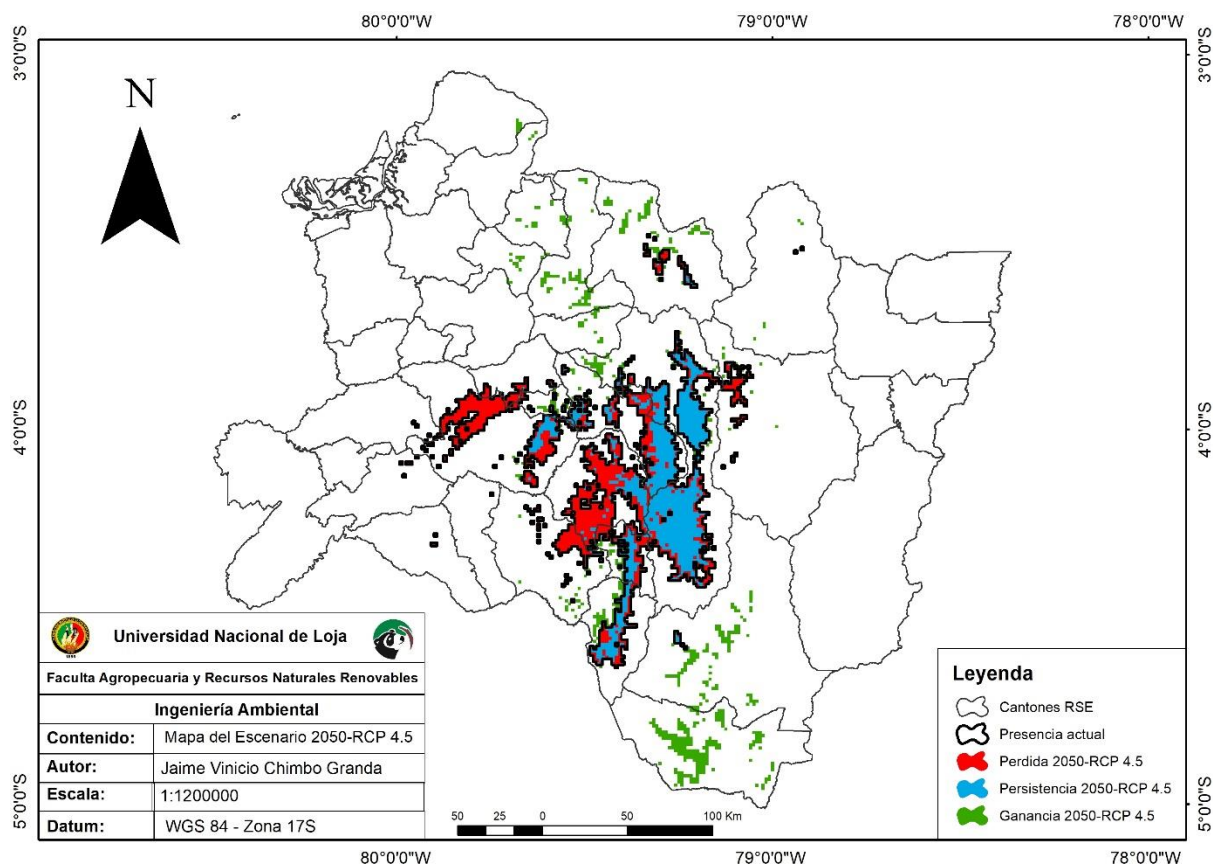


Figura 11. Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de *Annona cherimola* Mill para el escenario 2050–RCP 4.5.

6.2.4. Escenario 2050-RCP 6.0

En el modelo según el escenario futuro 2050–RCP 6.0 se obtiene los resultados de los registros de presencia actual confirmada de la especie, indicando que podría existir una pérdida (rojo) en comparación a la distribución actual (azul y rojo), esta pérdida se observa mayor parte en la provincia de Loja y una mínima en la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 10). Así mismo, existe una persistencia mayoritaria (azul) en la provincia de Loja, donde posiblemente no habrá ni pérdidas ni ganancias de la especie, sino que se mantendrá conservada para este escenario. De igual manera se puede observar que podría existir una ganancia (verde), las cuales están ubicadas en la parte norte de la provincia de Loja y en la parte sur de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe y al este de la provincia de El Oro, dando a conocer que las condiciones ambientales podrían ser las adecuadas para la distribución de la especie en este escenario.

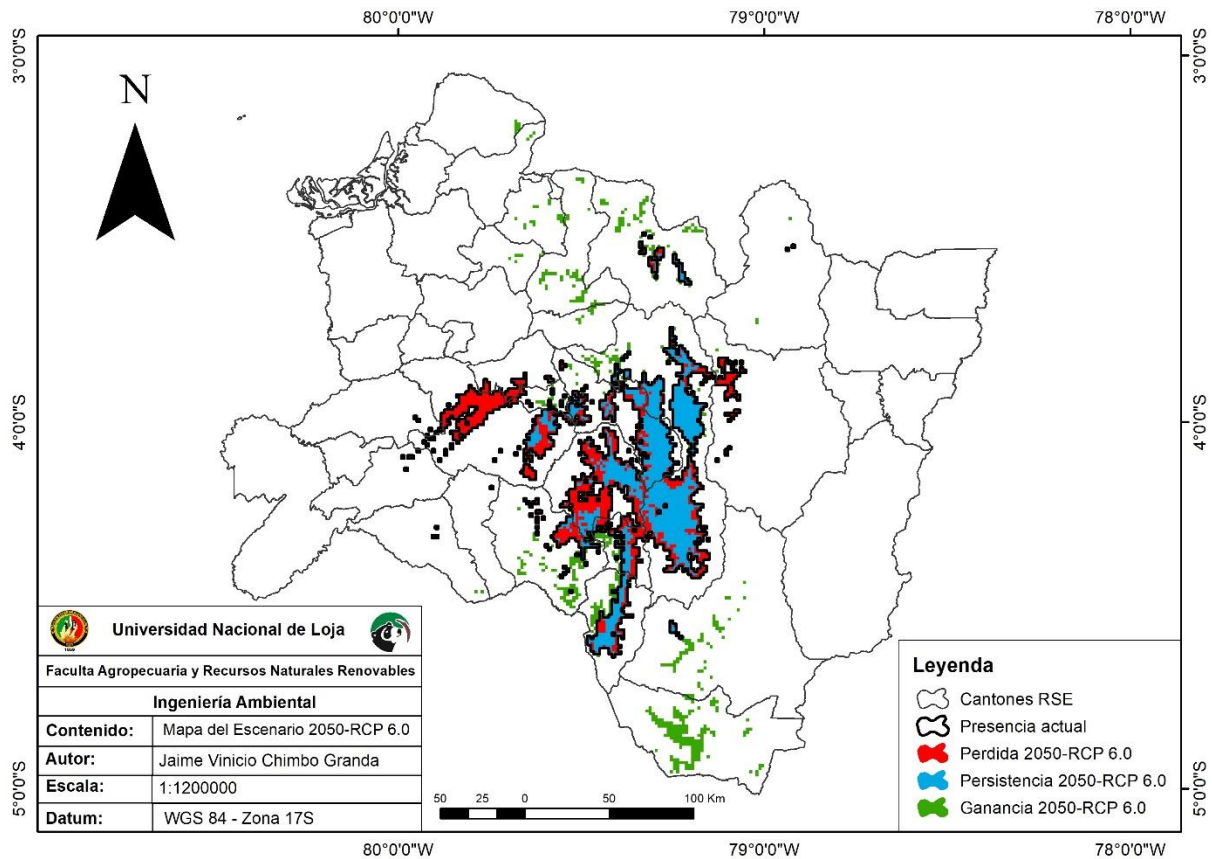


Figura 12. Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de *Annona cherimola* Mill para el escenario 2050–RCP 6.0.

6.2.5. Escenario 2080-RCP 4.5

Luego del análisis de modelación basado en el escenario 2080–RCP 4.5 se determinó que la distribución de la *Annona cherimola* Mill para este escenario se obtendría una pérdida (rojo) en comparación a la actual (azul y rojo), se reduce gran parte en la de provincia de Loja y una mínima parte en la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 11). Este escenario podría ser el más drástico en cuanto a las condiciones de cambio climático, por lo que provocarían el aumento de temperatura y cambio de la precipitación, lo que se reflejaría una pérdida demasiada considerada ante los demás escenarios evaluados. Así mismo las ganancias (verde) podrían ser mínimas en las tres provincias, considerando que los rangos de precipitación pueden disminuir y afectar la distribución de la especie. La persistencia (azul) de la especie se mantiene solo en la provincia de Loja, con lo que se puede evidenciar que la temperatura y precipitación son óptimas para la especie.

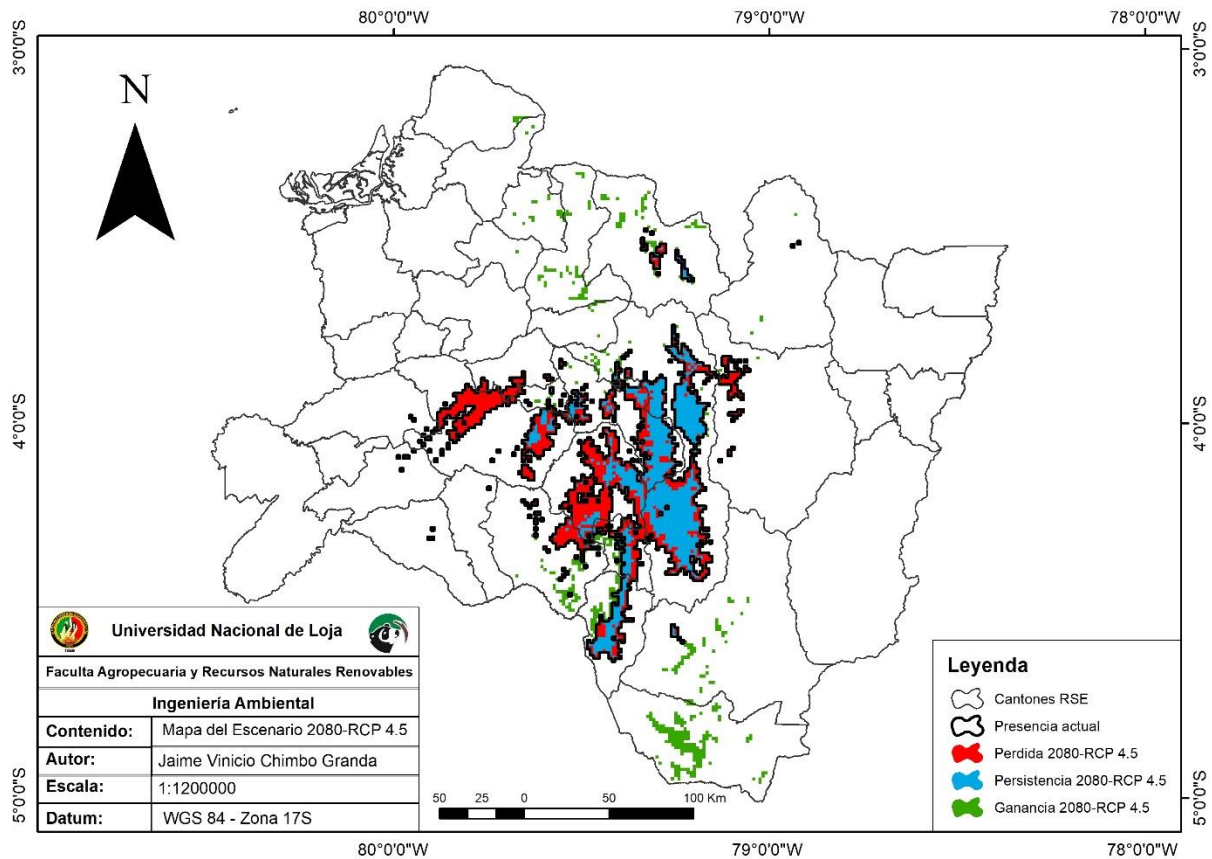


Figura 13. Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de *Annona cherimola* Mill para el escenario 2080–RCP 4.5.

6.2.6. Escenario 2080-RCP 6.0

Según el análisis obtenido en el modelado de los registros de presencia actual confirmada de la especie, indicaron que para el escenario futuro 2080–RCP 6.0 podría existir una pérdida (rojo) en comparación a la distribución actual (azul y rojo), esta pérdida se observaría gran parte en la provincia de Loja (Figura12). Así mismo se puede observar que las ganancias (verde) están ubicadas en la parte norte de la provincia de Loja y en la parte sur de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe y al este de la provincia de El Oro, dando a conocer que las condiciones ambientales podrían ser adecuadas para la distribución de la especie para este escenario. Sin embargo, existe una persistencia (azul) en la provincia de Loja, donde se muestra que posiblemente no habría pérdidas ni ganancias de la especie, sino que se mantendrá conservada sin amenazas para este escenario.

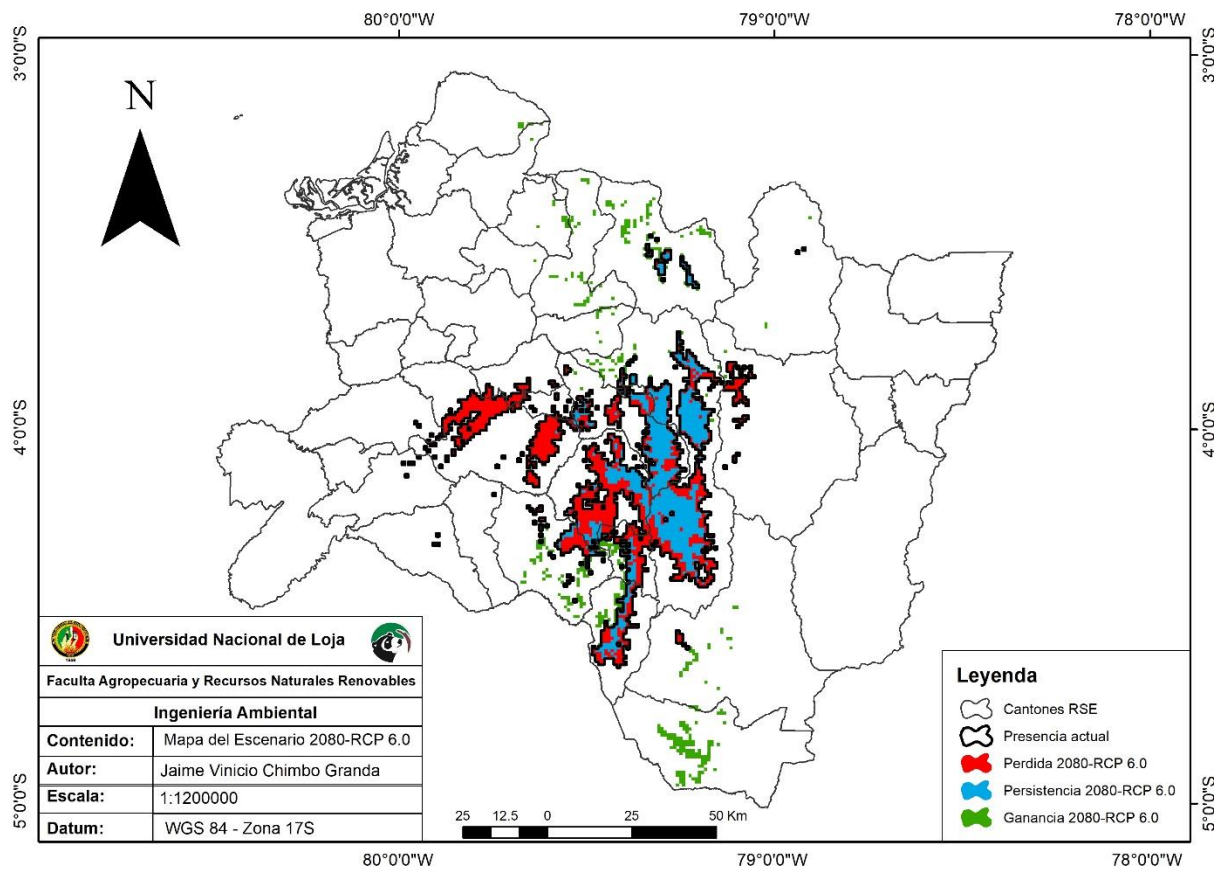


Figura 14. Mapa de distribución potencial de pérdida, ganancia y persistencia de *Annona cherimola* Mill para el escenario 2080–RCP 6.0.

6.3. Tercera fase: Comparación de modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de especies

Con base a los mapas modelados para cada escenario se hizo la comparación de cambio de uso de suelo y modelos de distribución de especies (Tabla 3). En el escenario actual se alcanza una superficie de 205093.70 hectáreas, mientras que para el escenario 2080 RCP 6.0 se alcanzó una superficie de 124000.72 hectáreas, donde se predice que las actividades antrópicas como el desarrollo urbano, desarrollo de infraestructura (carreteras, puentes) y plantaciones forestales afectarían también la distribución de la especie *Annona cherimola* Mill.

Tabla 3. Comparación de modelos de cambio de uso de suelo y modelos de distribución potencial geográfica de la especie *Annona cherimola* Mill en la Región Sur del Ecuador.

Escenario	Superficie modelada (ha)	Superficie modelada bajo la influencia del uso de suelo (ha)	Diferencia de superficie (ha)
Actual 2020	212645.57	205093.70	7551.87
2030 RCP 4.5	193713.24	191122.62	2590.62
2030 RCP 6.0	222011.02	219157.89	2853.13
2050 RCP 4.5	159439.98	156099.14	3340.84
2050 RCP 6.0	165234.72	161431.05	3803.67
2080 RCP 4.5	142725.89	139019.72	3706.17
2080 RCP 6.0	129176.48	124400.72	4775.76

7. DISCUSIÓN

La *Annona cherimola* Mill es una planta de fruto comestible de importancia para la seguridad alimentaria (Larranaga et al. 2018), con ello, se destaca la importancia de hacer un pronóstico a futuro de la respuesta de esta planta al cambio climático y cambio de uso de suelo bajo 6 escenarios. Estos análisis muestran que podrían existir variaciones en pérdidas y ganancias de la distribución de esta especie, y fluctuaciones en las elevaciones que logran alcanzar. Por ejemplo, en el escenario 2030-RCP 4.5 las tendencias son similares a las del escenario 2030-RCP 6.0. Sin embargo, aunque se observa que la distribución de la especie podría aumentar en el año 2050, para el escenario del año 2080 podría disminuir nuevamente hasta tener un área menor que la del presente. Esto sugiere que, aunque la especie podría estar favorecida por la

temperatura y precipitación, el aumento de estas variables excesivo podría limitar la capacidad de la especie de ocupar áreas que antes eran propicias.

Para comprobar que las ocurrencias de la especie *Annona cherimola* Mill utilizadas en el modelamiento de distribución actual y futuro de estudio fueron las necesarias, se evaluó la información y a su vez se corroboró la fortaleza del modelo. Se pronosticaron pérdidas, ganancias y persistencia dentro de su rango potencial para la especie en todos los escenarios modelados. La distribución de especies basada en temperatura y precipitación (Yates et al., 2000), propone que para futuras investigaciones se utilicen modelos más robustos como los utilizados por Yates et al. (2000), Yanling & Deti (2008) y Chakraborty et al. (2013) para la evaluación de la distribución espacial de especies y sus posibles impactos frente al cambio climático.

Se recomienda que, al tener una mayor cantidad de registros, los resultados pueden hacer predicciones más fuertes y mostrar más consistencia en las tendencias de los resultados. De igual forma, la especie es menos frecuente, si bien puede ser más vulnerable a los cambios climáticos adaptándose a determinados climas. Los estudios macro ecológicos y de cambios mundiales tienden a ser de escala continental o mundial, mientras que los estudios dirigidos a la comprensión ecológica o planificación de la conservación tienden a extensiones locales o regionales (Vega, 2013).

Por lo tanto, resulta fundamental comprender que la escala espacial en la que se ha modelado, la dispersión de los datos, los requerimientos de la especie, las interacciones biológicas y las características auto ecológicas provocarán una variación en la relación de importancia de los factores ambientales y en consecuencia en la correcta interpretación de los modelos de distribución potencial. Los modelos de distribución de especies son una herramienta sencilla, especialmente útil en aquellos casos donde el conocimiento relativo a la distribución de una especie es escaso. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la predicción de los modelos varía en función de la metodología empleada, como puntos mínimos necesarios (Hernandez et al., 2006; Pearson et al., 2007) y calidad de los mismos (Lobo, 2008), variables ambientales seleccionadas (Luoto et al., 2007; Peters et al., 2014), escala espacial (resolución y extensión) (Guisan y Thuiller, 2005; Song et al., 2013), etc.

Para un mejor desempeño e interpretación de los modelos las variables ambientales implicadas en la modelización, deberían idealmente representar factores limitantes para la especie, como así también muestreos de las variables biológicas en áreas que permitan abarcar valores

diferentes de las variables ambientales implicadas para poder captar el mayor rango de tolerancia. Además, es importante resaltar que para llegar al modelamiento de la especie *Annona cherimola* Mill, en tiempo presente y futuro, ha sido necesario un proceso de ajustes del modelamiento, como la selección de las variables bioclimáticas más óptimas a usar, tipo y grado de conservación para las respectivas combinaciones de análisis de ausencias y presencias de la especie (Vásquez et al., 2007).

Las variables utilizadas para el modelo de distribución potencial fueron las que mejor comportamiento estadístico mostraron, estas fueron precipitación anual (Bio12), precipitación en el trimestre más caluroso (Bio18), precipitación en el trimestre más frío (Bio19), isothermalidad (Bio3) y estacionalidad de temperatura (Bio4), mientras que las variables topográficas fueron elevación (Dem), superficie (Hillshade) y slope (Pendiente). Con base a la evaluación de las variables climáticas y topográficas la importancia de la selección de las variables radica reducir la colinealidad y con esto evitar el riesgo de sobreajuste de los modelos. Las variables del clima seleccionadas se encuentran en el grupo de temperatura y precipitación de acuerdo, con las cuales se generan modelos consistentes en espacio y tiempo, principalmente con las variables del grupo de temperatura.

Según López y Hernández (2016), se debe considerar que los modelos solo toman en cuenta variables climáticas y no toman en cuenta otras condiciones. Por ejemplo, el tipo y grado de conservación de la cubierta vegetal pueden ser importantes para la distribución de especies. Finalmente, debe recordarse que la expansión de las distribuciones potenciales no se interpreta necesariamente como un resultado ecológicamente positivo, sino que los cambios en las condiciones climáticas pueden generar comportamientos invasivos, competencia, propagación de enfermedades y otras consecuencias negativas para las áreas locales vulnerables.

La utilidad de los modelos de distribución con la construcción de un modelo ensamble capaz de resumir la información relevante para describir la distribución potencial de la especie *Annona cherimola* Mill y aproximarse a un análisis de los procesos implicados en dicha distribución, queda presentada en este estudio. Sin embargo, más allá de una interpretación puntual de la importancia de las variables ambientales en la determinación de distribución de la especie, resulta fundamental considerar los problemas de transferibilidad en la modelización. Se denomina transferibilidad a la capacidad de un algoritmo, calibrado en un contexto, de predecir la distribución de una especie en un contexto diferente donde no se han muestreado (Townsend et al. 2007; Phillips 2008).

Un modelo con datos de entrada que cubren el mismo o un rango más amplio en la región calibrada, es más probable que dé predicciones más precisas en la región de evaluación que a la inversa (Randin et al. 2006). Tal es la evaluación del modelo de la especie *Annona cherimola* Mill que toma sus variables de mayor contribución relativa, las cuales fueron las siguientes; Bio12: Precipitación anual; Bio18: Precipitación en el trimestre más caluroso; Bio19: Precipitación en el trimestre más frío; Bio3: Isotermalidad; Bio4: Estacionalidad de temperatura; Dem: Elevación; Hillshade: Superficie; Slope: Pendiente. En este caso si bien el área de calibración es la misma que la de evaluación; la determinación del rango de tolerancia ambiental para la especie es capaz de definir las áreas de distribución potencial, se asigna en función de las presencias de la región de muestreo empleada y de su relación con los valores de las variables ambientales que existan en dichos sitios (Randin et al. 2006).

De esta manera al no tener una dispersión de las muestras que colmen todo el rango de valores que toman las variables ambientales, se pierde parte de la tolerancia total permitida. Lo que sería equivalente a no capturar el rango ambiental completo de un grupo de especies por una restricción de datos reduciendo la aplicabilidad predictiva del modelo, principalmente en proyecciones en una región a futuro con la utilización de dichas variables, pero con valores que describen aquellas nuevas regiones o tiempo (Thuiller et al. 2004; Phillips 2008).

Entre otras interpretaciones en la transferibilidad se puede mencionar a las interacciones biológicas a la presencia de la especie en distintas regiones con idoneidades ambientales diferentes (Randin et al. 2006). Ambas explicadas con anterioridad en la presente modelización para interpretar la distribución potencial de la especie. Una de las aplicaciones de los modelos es la predicción de cambios de patrones de distribución en respuesta al cambio climático. A partir de lo observado en otras investigaciones (Abele et al. 2012; Schloss et al. 2012; Sahade et al. 2015) y de las variables importantes en la distribución potencial modelada en el presente trabajo se podría inferir que, frente a un aumento de la temperatura atmosférica las áreas de distribución potencial de la especie se podrían ver modificadas.

De acuerdo a los resultados de la especie *Annona cherimola* Mill con relación a la densidad máxima y elevación de la misma, se obtuvo que, para el escenario actual, la especie tiene una elevación que está en los rangos de 1500 a 2250 metros obteniendo una densidad máxima de 0,0010. Mientras que la precipitación en relación con la densidad de la especie para el escenario actual, la precipitación está en el rango de 700 a 1400 milímetros observando que tiene una densidad de 0,003. Para la temperatura en relación con la densidad de la especie se puede

evidenciar qué, para el escenario actual, la temperatura está en el rango de 15 a 20 °C, notándose claramente que la especie tienen una densidad de 0,02 lo que se confirma que la precipitación y temperatura es adecuada para la especie.

Sin embargo, la interpretación de la escala espacial y temporal en la que se aplican los modelos de distribución es de suma importancia cuando se desea extrapolar el modelo desarrollado a otra región, como así también tener en cuenta los errores de transferibilidad mencionados anteriormente. El área de observación y muestreo, describe la exactitud y predicción de la especie y permite un análisis determinado de las variables, de esta manera también presenta un límite de extrapolación (Townsend, 2007; Elith J. y Leathwick JR., 2009).

Los valores del área bajo la curva de los modelos de distribución de especies, en general todos fueron mayores a 0.80. Así mismo Balwin, (2009) menciona que los valores del área bajo la curva menores a 0.7 se consideran modelos predictivos malos, valores de 0.7 a 0.9 son modelos buenos, y valores mayores de 0.9 son modelos muy buenos. Por lo tanto, los modelos de distribución potencial de la especie *Annona cherimola* Mill se consideran buenos. En los modelos realizados para las condiciones actuales y futuras, la variable Bio1, que corresponde al (rango de temperatura promedio anual) y Bio12, que corresponde al (rango de precipitación anual) fue frecuentemente las más significativas. Esto indica que la temperatura promedio y precipitación anual puede ser un factor determinante para la distribución de la especie *Annona cherimola* Mill. Así mismo, las variables que más contribuyen a los modelos son las mismas en todos los escenarios RCP.

Para alcanzar valores del área bajo la curva superiores a 8.0, también ha sido necesario implementar diferentes combinaciones de análisis de datos de ausencias y presencias, donde si se usaban las ausencias únicamente de la región sur se obtenían resultados bajo el 7.0, lo que significa que no son válidos. Para ello, como una modificación a este protocolo se propuso un análisis innovador en donde se tomaron en cuenta las ausencias de la *Annona cherimola* Mill a nivel nacional en contraste con las presencias en la región sur. Este estudio marca una posibilidad de análisis donde se puedan usar este tipo de datos que no han sido analizados de esta manera en estudios previos.

Los impactos de las competencias por el uso de la tierra, especialmente aquellas entre el clima, mitigar el cambio y asegurar el suministro de alimentos (tierras de cultivo), ha sido identificado como uno de los temas clave en los estudios de mitigación del cambio climático. Estos estudios han sido necesarios no solo para conocer la distribución a futuro de la especie *Annona*

cherimola Mill y su posibilidad de ser una planta que se mantenga en el paisaje ecológico de la Región Sur, con sus servicios ecosistémicos, sino que también se podría proponer protocolos de análisis reajustados para este tipo de especie de árbol frutal con importancia económica que pueden ser usados en el análisis de otras especies de interés.

8. CONCLUSIONES

La multicolinealidad permite cuantificar el potencial de impacto negativo que ésta tiene sobre la precisión de cada uno de los parámetros estimados, por ello es necesario eliminarla estadísticamente. La base de datos depurada es de 11.018 registros validos revisados de colectas entre presencias y ausencias de la especie *Annona cherimola* Mill en la Región Sur del Ecuador, donde las variables climáticas y topográficas a utilizarse fueron (Bio12: Precipitación anual; Bio18: Precipitación en el trimestre más caluroso; Bio19: Precipitación en el trimestre más frío; Bio3: Isotermalidad; Bio4: Estacionalidad de temperatura; Dem: Elevación; Hillshade: Superficie; Slope: Pendiente). Estas variables generaron modelos claros en tiempo y espacio, considerando que son buenos de acuerdo con los valores de área bajo la curva y el índice de Kappa.

Los modelos de distribución potencial proveen una importante información para estimar los efectos de la distribución de la especie *Annona cherimola* Mill y el cambio climático. Sin embargo, se debe reconocer que los modelos son una predicción, donde se debe tener una base de registros reales para su calibración, evaluación, y así poder reflejar las diferencias de distribución de la especie para poder tomar decisiones efectivas para su conservación.

Para el escenario 2080–RCP 4.5 y 6.0 se obtiene la mayor disminución de la especie, afectada por el cambio climático, por ende, es necesario implementar medidas que ayuden a la adaptación de la especie con el cambio climático a través de un manejo asistido, variabilidad genética y resistencia a plagas. La reducción de la especie *Annona cherimola* Mill podría afectar a la población y a la economía de los productores que dependen de esta especie.

También se demuestra que los modelos de distribución pueden mejorar el entendimiento de la distribución y las características ecológicas de la especie, aun cuando se disponga de datos no ampliamente distribuidos. Comprendiendo que cada modelo depende de las variables analizadas, las repeticiones, las permutaciones y los métodos evaluativos; ofrece representaciones fiables de modelos de distribución de especie que unifique la información de aquellos más relevantes que permitan predecir la distribución potencial de la especie y una

aproximación a la comprensión de los procesos implicados, es útil para la ciencia y el manejo de futuras investigaciones.

Los resultados obtenidos ofrecen información sobre la distribución potencial de la riqueza y diversidad de la especie *Annona cherimola* Mill con respecto a usos de suelo en la Región Sur del Ecuador, ayudando a responder interrogantes que se plantean en investigaciones que resaltan estos vacíos de información.

9. RECOMENDACIONES

Utilizar modelos con mayor cantidad de variables explicativas y manejo de sistemas de información geográfica en todo ámbito de trabajo, debido que es una herramienta muy valiosa que permite asumir la toma de decisiones y se puede visualizar de mejor manera los modelos de distribución potencial.

Realizar inventarios de la especie en las áreas donde se encuentre ubicada para realizar una mejor investigación con datos ya actualizados y validados.

Implementar planes para la incentivación del consumo de la especie, para aumentar su producción que ayude a contribuir a que esta especie no desaparezca en un futuro.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. y Agredo, G. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana San Luis (Manizales). *Luna Azul*, 37, 30–48. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S190924742013000200004
- Araujo, M. & Peterson A, (2012). Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling, *Ecology*, Vol:93, ISSN:0012-9658, Pages:1527-1539. <https://doi.org/10.1890/11-1930.1>
- Aguayo, M., Azócar, G., Wiegand, T., Wiegand, K. & Vega, C. (2006). Revealing driving forces of mid-cities urban growth patterns using spatial modeling: a case study of Los Angeles (Chile). *Ecology and Society*, (en prensa).
- Aguirre, Z. (2012). Biodiversidad Ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Loja, Ecuador.
- Alexander, P., Prestele, R., Verburg, P. H., Arneth, A., Baranzelli, C., Batista e Silva, F., Brown, C., Butler, A., Calvin, K., Dendoncker, N., Doelman, J. C., Dunford, R., Engström, K., Eitelberg, D., Fujimori, S., Harrison, P. A., Hasegawa, T., Havlik, P., Holzhauser, S. & Rounsevell, M. (2017). Assessing uncertainties in land cover projections. *Global Change Biology*, 23(2), 767–781. <https://doi.org/10.1111/gcb.13447>
- Alpízar, E. (2008). Vulnerabilidad de flora y fauna ante cambio climático. *Ambientico* (Costa Rica) no. 172 p. 13.
- Amores, L. (2012). Evaluación de la estructura vegetal de un bosque muy húmedo Pre-montano en Guasaganda. *Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil-Ecuador*.
- Ashraf, U., Peterson, A. T., Chaudhry, M. N., Ashraf, I., Saqib, Z., Rashid Ahmad, S., & Ali, H. (2017). Ecological niche model comparison under different climate scenarios: a case study of *Olea* spp. in Asia. *Ecosphere*, 8(5), e01825. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1825>
- Balthazar, V., Vanacker, V., Molina, A., & Lambin, E. (2015). Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. *Ecological Indicators*, 48, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.043>

- Barbet-Massin, M., Walther, B., Thuiller, W., Rahbek, C. & Jiguet, F. (2009). Potential impacts of climate change on the winter distribution of Afro-Palearctic migrant passerines. *Biology Letters*, vol. 23, N° 5(2), p. 248-251.
- Benavidez-Silva, 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, 408. <https://doi.org/10.3390/land10040408>
- Bocco, G., Mendoza M. & Masera, O. (2001). La Dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. México, Instituto de Geografía - UNAM, *Investigaciones Geográficas*, 44:18-38
- Bouroncle, C., Imbach, P., Rodríguez-Sánchez, B., Medellín, C., Martínez-Valle, A., & Läderach, P. (2017). Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies. *Climatic Change*, 141(1), 123–137. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1792-0>
- Brun, P., Thuiller, W., Chauvier, Y., Pellissier, L., Wüest, R. O., Wang, Z., & Zimmermann, N. E. (2020). Model complexity affects species distribution projections under climate change. *Journal of Biogeography*, 47(1), 130–142. <https://doi.org/10.1111/jbi.13734>
- Bunn, C., Castro, F., & Lundy, M. (2018). The impact of climate change on coffee production in Central America. CCAFS report. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Calzada, J. (1993). Frutales nativos. Universidad Nacional Agraria. La Molina. Lima, Perú. p. 85-91.
- Cepasa, D. (2020). El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepasa. https://www.cepsa.com/stfls/CepasaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf
- Chakraborty, A., Joshi, P. K., Ghosh, A., & Arendran, G. (2013). Assessing biome boundary shifts under climate change scenarios in India. *Ecological Indicators*, 34, 536-547.

- Chapin F.S.III., Zavaleta E.S., Eviner V.T., Naylor, R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., Hooper D.U., Lavorel S., Sala O.E., Hobbie S.E., Mack M.C. & Díaz S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*. 405: 234-242.
- CMNUCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York. EE.UU. p. 26.
- Chen C., Chang, F., Teng, C. & Wu, Y. (1999). Chertamine a new n-fatty acyltryptamine and other constituents from the stems of *Annona cherimola*. *Journal of the Chinese Chemical Society*. vol. 46, p. 77-86.
- Correa, J.& Bernal, Y. (1989). Especies vegetales promisorias de los países del Convenio Andres Bello. Bogota, Colombia. vol. 1, p. 194-225.
- Costa-Saura, J. M., Trabucco, A., Spano, D., & Mereu, S. (2017). Environmental filtering drives community specific leaf area in Spanish forests and predicts relevant changes under future climatic conditions. *Forest Ecology and Management*, 405(May), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.023>
- Cuesta, H. (2016). Sucesión primaria y ecología de la revegetación de selvas degradadas por minería en el Chocó, Colombia: bases para su restauración ecológica.
- Curatola Fernández, G. F., Obermeier, W. A., Gerique, A., López Sandoval, M. F., Lehnert, L. W., Thies, B., & Bendix, J. (2015). Land cover change in the Andes of southern Ecuador-Patterns and drivers. In *Remote Sensing* (Vol. 7, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/rs70302509>
- Delgado, M., Konold, W., & Schmitt, C. (2017). Community mapping of ecosystem services in tropical rainforest of Ecuador. *Ecological Indicators*, 73, 460–471. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.020>
- Defries, R. S., Foley, J. & Asner, G., (2004). Landuse choices: balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 2, n. 5, pp. 249-257.
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*.
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677–697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.12015>

- Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudik, M. & Ferrier, S. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151
- ESA. (2021). Detección y seguimiento de conectores mediante CNN, para el guiado de operarios en el proceso de ensamblado de satélites de la Agencia Espacial Europea.
- Feldman, R. E., Peers, M. J. L., Pickles, R. S. A., Thornton, D., & Murray, D. (2017). Climate driven range divergence among host species affects range-wide patterns of parasitism. *Global Ecology and Conservation*, 9, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.10.001>
- Forner, C. (2006). An introduction to the impacts of climate change and vulnerability of forests. Background document for the South East Asian Kick-off meeting of the project Tropical Forests and Climate Change Adaptation (“TroFCCA”). Bogor.
- García, H. (1974). Flora medicinal de Colombia: botánica médica (No. R QK99 G3).
- Gaisberger, H., Kindt, R., Loo, J., Schmidt, M., Bognounou, F., Da, S. S., Diallo, O. B., Ganaba, S., Gnoumou, A., Lompo, D., Lykke, A. M., Mbayngone, E., Nacoulma, B. M. I., Ouedraogo, M., Ouédraogo, O., Parkouda, C., Porembski, S., Savadogo, P., Thiombiano, A. & Vinceti, B. (2017). Spatially explicit multithreat assessment of food tree species in Burkina Faso: A fine-scale approach. *PLoS ONE*, 12(9), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184457>
- Gardiazabal, F. y Rosenberg, G. (1993). El cultivo del chirimoyo. Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile. Facultad de Agronomía. 145 p.
- Giddens, A., y del Bustillo, F. M. (2010). *La política del cambio climático* (No. 363.73874 G5). Madrid: Alianza.
- Gómez, A. y Torres, J. (2008). Adaptación al cambio climático: De los fríos y los calores en los Andes: Experiencias de adaptación tecnológica en siete zonas rurales del Perú. Lima, Perú. 154 p.
- González, M. (2013). Chirimoya (*Annona cherimola* Mill), frutal tropical y sub-tropical de valores promisorios. *Cultivos tropicales*, 34(3), 52-63.
- Guirado, E., Hermoso, J., Pérez, M., y Farré, M. (2003). Introducción al cultivo del chirimoyo. *Caja Rural de Granada, Granada*.

- González Vega, M. E. (2013). Chirimoya (*Annona cherimola* Mill), frutal tropical y subtropical de valores promisorios. *Cultivos tropicales*, 34(3), 52-63.
- Guisan A, Ch Graham, J Elith, F Huettmann & Nsdm Group (2007) Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Diversity and Distributions* 13: 332-340.
- Guisan, A., Edwards, J., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distribution: Setting the scene. *Ecological Modelling*, vol. 157, 89-100 p.
- Guisan, A. y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8, 993-1009.
- Hansen, M., Potapov, P., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., & Tyukavina, A. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 134(November), 850–854.
- Henriquez Dole, L. E. (2012). Escenarios futuros de uso de suelo para el análisis del efecto del cambio global en los recursos hídricos aplicado al acuífero de la mancha oriental. Universidad Politécnica de Valencia, 1– 190.
- Hall, J., Van Holt, T., Daniels, A., Balthazar, V., & Lambin, E. (2012). Trade-offs between tree cover, carbon storage and floristic biodiversity in reforesting landscapes. *Landscape Ecology*, 27(8), 1135–1147. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9755-y>
- Henriquez Dole, L. E. (2012). Escenarios futuros de uso de suelo para el análisis del efecto del cambio global en los recursos hídricos aplicado al acuífero de la mancha oriental. Universidad Politécnica de Valencia, 1– 190.
- Hernandez, P. A., Graham, C.H., Master, L.L., Albert, D. L. (2006). The effect of simple size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29, 773-785.
- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., Jarvis, A. (2005). Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965–1978.
- Hurt, G. C., Chini, L. P., Froking, S., Betts, R. A., Feddema, J., Fischer, G., Fisk, J. P., Hibbard, K., Houghton, R. A., Janetos, A., Jones, C. D., Kindermann, G., Kinoshita, T., Klein Goldewijk, K., Riahi, K., Shevliakova, E., Smith, S., Stehfest, E., Thomson,

- A., ... Wang, Y. P. (2011). Harmonization of land-use scenarios for the period 1500-2100: 600 years of global gridded annual land-use transitions, wood harvest, and resulting secondary lands. *Climatic Change*, 109(1), 117–161. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0153-2>
- INIAP, (2012). Informe anual del programa de fruticultura en Estación Experimental del Austro.
- IPCC, (International Panel Climate Change). (2001). Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. 92 p.
- IPCC, (International Panel Climate Change). (2007). Cambio climático 2007. Informe de Síntesis. OMM, PNUMA. 103 p.
- IPCC, (International Panel Climate Change). (2014). Summary for policymakers. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. WG II AR5*. Cambridge University Press, 32 p.
- Jennings, M. D., & Harris, G. M. (2017). Climate change and ecosystem composition across large landscapes. *Landscape Ecology*, 32(1), 195–207. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0435-1>
- Kawamata, S. (1977). Bulletin studies on determining the sugar composition of fruits by gas-liquid chromatography. *Agricultural Experimental Station Tokio*. vol. 10, 53-67 p.
- Lawrence, D. M., Hurtt, G. C., Arneeth, A., Brovkin, V., Calvin, K. V., Jones, A. D., Jones, C. D., Lawrence, P. J., Noblet-Ducoudré, N. De, Pongratz, J., Seneviratne, S. I., & Shevliakova, E. (2016). The Land Use Model Intercomparison Project (LUMIP) contribution to CMIP6: Rationale and experimental design. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 2973–2998. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-2973-2016>
- Larranaga, F., Albertazzi, G., Fontecha, M., Palmieri, H., Rainer, M., Van Zonneveld y Hormaza, A. (2017). "Mesoamerican origin of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). Implications for the conservation of plant genetic resources". *Molecular Ecology*. DOI: 10.1111/mec.14157
- Le Maitre, D., Thuiller, W. & Schonegevel, L. (2008). Developing an approach to defining the potential distributions of invasive plant species: a case study of *Hakea* species in South Africa. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 17, p. 569-584.

- Lizana, L. & Reginato, G. (1990). «Cherimoya». *Fruits of Tropical and Subtropical. Composition, properties and uses.* Florida: Florida Science Source. Lake Alfred. p. 131-148.
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A. y Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17, 145-151.
- López Feldman, A. J., y Hernández Cortés, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496.
- Luoto, M., Virkkala, R. & Heikkinen, R. K. (2007). The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. *Global Ecology and Biogeography* 16, 34-42.
- Manica, I. (1997). Taxionomia, morfologia e anatomia. En: A. Rebouças, S., I. Vilas B., O. Magalhaes M. e T. N. Hojo R. (Eds.) *Anonáceas. Produção e mercado.* (Pinha, graviola, atemóia e cherimólia). UESB. Bahia, Brasil. p. 20-35.
- Mateo, R., Felicísimo, A. y Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*. 84:217-240
- Marini, M., Barbet-Massin, M., Martínez, J., Prestes, N., & Jiguet F. (2010). Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (*Amazona pretrei*). *Biological Conservation*, vol. 143, p. 102-112.
- Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Lara, A., & González, M. (2017). Native forest loss in the Chilean biodiversity hotspot: revealing the evidence. *Regional Environmental Change*, 17(1), 285–297. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1010-7>
- Morton, J. F. (1987) *Fruits of warm climates.* Creative Resource Systems, Winterville, USA. 505 p.
- National Research Council. (1989). *Lost crops of the Incas, little-known plants of the Andes with promise of worldwide cultivation.* Report of an advisory horticultural panel of the committee on technology innovation board of science and technology for international development. Washington D.C.: National Academy Press. p. 229-385.
- NAS. (1975). *Underexploited Tropical Plant with Promising Economic Value.* National Academy of Sciences. Washington DC, USA.

- National Research Council (NRC). (1989). Lost crops of the Incas, little-known plants of the Andes with promise of worldwide cultivation. Report of an advisory horticultural panel of the committee on technology innovation board of science and technology for international development. Washington D.C.: National Academy Press. p. 229-385.
- Parmesan, C. & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421: 37-42.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden P., & Hanson C. (Eds.). (2007). Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Parviainen, M., Luoto, M. & Heikkinen, R. (2009). The role of local and landscape level measures of greenness in modelling boreal plant species richness. *Ecological Modeling*, vol. 220, p. 2690- 2701.
- Pearson, R., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. & Peterson, A. (2007). Predicting species distribution from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of biogeography* 34, 102-117.
- Pearman, P., Guisan, A., Broennimann, O. & Randin, C. (2008). Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 23, N° 3, p. 149-158.
- Peters, J., Waegeman, W., Van doninck, J., Ducheyne, E., Calvete, C., Lucientes, J., Verhoest, N. & De Baets, B. (2014). Predicting spatio-temporal *Culicoides imicola* distributions in Spain based on environmental habitat characteristics and species dispersal. *Ecological Informatics* 22, 69-80.
- Phillips, S., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31 (2), 161-175.
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61-79.
- Popenoe, J. (1975). Status of Annona culture in South Florida. Annual Meeting. Florida State Horticultural Society, vol. 87, p. 342-344.

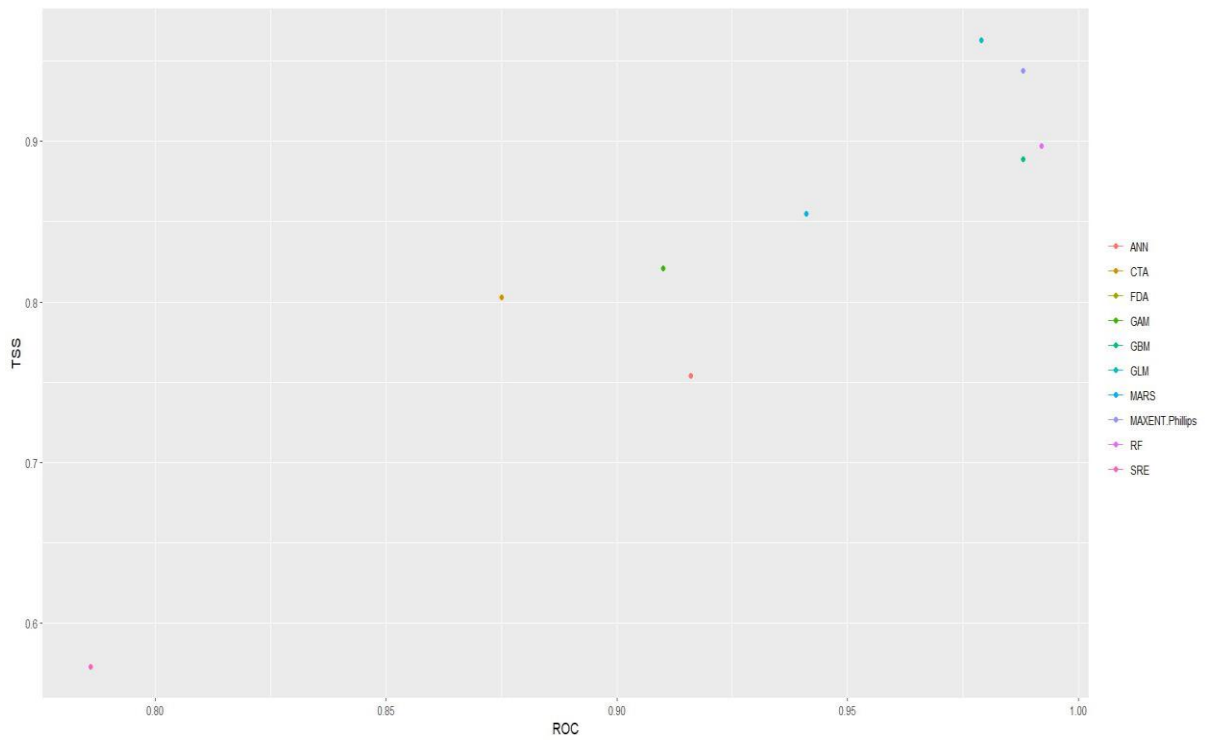
- Quintana, M., Salomón, O., Guerra, R., Lizarralde, M. & Fuenzalida, A. (2013). Phlebotominae of epidemiological importance in cutaneous Leishmaniasis in north western Argentina: risk maps and ecological niche models. *Medical and Veterinary Entomology* 27:39–48.
- R Core Team, (2018). R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Ren, Z., Peng, H., & Liu, Z. W. (2016). The rapid climate change-caused dichotomy on subtropical evergreen broad-leaved forest in Yunnan: Reduction in habitat diversity and increase in species diversity. *Plant Diversity*, 38(3), 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2016.04.003>
- Revelo, L. A. (2003). Fronteras vivas en el Ecuador Meridional: las políticas y acciones desde el estado 1979-1998. Maestría en Ciencias Sociales con Especialidad en Relaciones Internacionales, FLACSO Sede Ecuador. Quito. 157 p.
- Reyes Jaramillo, J., & Reyes Córdova, P. (2016). Evolución y tendencias poblacionales en la Región Sur del Ecuador, Período 1950 - 2010. *CEDAMAZ*, 5(1). Recuperado a partir de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/46>
- Riordan, E. C., & Rundel, P. W. (2014). Land Use Compounds Habitat Losses under Projected Climate Change in a Threatened California Ecosystem. *PLoS ONE*, 9(1), e86487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086487>
- Risto Seppälä, Alexander Buck & Pia Katila (2009). Adaptation of Forests and People to Climate Change. A Global Assessment Report. IUFRO World Series Vol. 22. Helsinki. 224 p.
- Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C. & Pounds J. A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*. 421: 57-60.
- Sanewski, G. (1991). Custard apples, cultivation and crop protection. Queensland Department of Primary Industries, Brisbane, Australia. 103 p.
- Song, W., Kim, E., Lee, D., Lee, M. & Jeon, S-W. (2013). The sensitivity of species distribution modeling to scale differences. *Ecological Modelling* 248, 113-118.
- Sostenible, D. (1986). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Food and Agriculture Organization: Rome, Italy.

- Tapia, M., Homeier, J., & Espinosa, C. (2015). Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s – Losing a Hotspot of Biodiversity. *PLoS ONE*, 10, 1–18. 25. <https://doi.org/10.5061/dryad.32451>
- Thapa, G. J., Wikramanayake, E., Jnawali, S. R., Oglethorpe, J., & Adhikari, R. (2016). Assessing Climate Change Impacts on forest Ecosystems for Landscape-Scale Spatial Planning in Nepal. *Current Science*, 110(3), 345. <https://doi.org/10.18520/cs/v110/i3/345-352>
- Thies, B., Meyer, H., Nauss, T., & Bendix, J. (2014). Projecting land-use and land-cover changes in a tropical mountain forest of Southern Ecuador. *Journal of Land Use Science*, 9(1), 1–33. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2012.718378>
- Thuiller, W., Brotons, L., Araújo, M., & Lavorel, S. (2004). Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions. *Ecography*, 27 (2), 165-172.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. (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>
- Torres, R., Jayat, P. (2010). Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (cingulata, artiodactyla y rodentia) típicas del Chaco en Argentina. *Mastozoología Neotropical* 17(2):335-352.
- Townsend Peterson, A., Papeş, M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30 (4), 550-560.
- Valencia, R.; Balsev, H. & Miño, G. G. (1994). High tree alpha diversity in Amazonian Ecuador. *Biodiversity and Conservation*, vol. 3, p. 21-28.
- Varela, S., Mateo, R., García, R. & Fernández, F. (2014). Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas* 23(1):46-53.
- Van Asselen, S., & Verburg, P. (2013). Land cover change or land-use intensification: simulating land system change with a global-scale land change model. *Global Change Biology*, 19(12), 3648–3667. <https://doi.org/10.1111/gcb.12331>

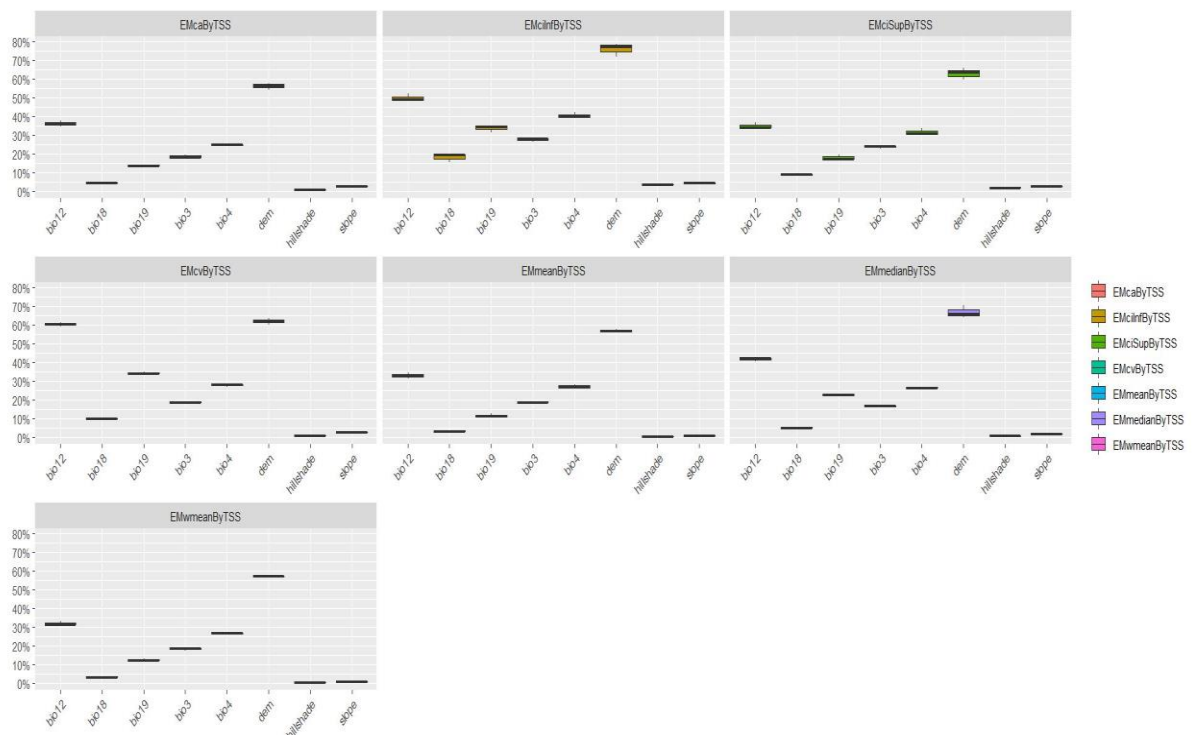
- Van Zonneveld, M., Scheldeman, X., Escribano, P., Viruel, MA, Van Damme, P., García, W. y Hormaza, J. (2012). Cartografía de la diversidad genética de la chirimoya (*Annona cherimola* Mill.): Aplicación del análisis espacial para la conservación y el uso de recursos fitogenéticos. PLoS ONE, 7 (1), e29845. doi: 10.1371 / journal.pone.0029845
- Vásquez C., Viteri D., y León F. (2007). El chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.): Tecnologías para mejorar la productividad y la calidad de la fruta. Quito, Ecuador: INIAP, Granja Experimental Tumbaco, Programa de Fruticultura.
- Veldkamp, A., & Lambin, E. F. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1–3), 1-6. Predicting. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2)
- Yanling, S., & Deti, X. (June 2008). A new method of vegetation-climate classification in China. *International Journal of Climatology*, 1173, 1163-1173.
- Yates, D. N., Kittel, T. G. F., & Cannon, R. (2000). Comparing the correlative Holdridge model to mechanistic biogeographical models for assessing vegetation distribution response to Climatic Change. *Climatic Change*, 59-87.
- Walther G.R., Post E., Convery P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J-C., Hoegh-Guldberg O. & Bairlein F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416: 389-395
- Walter, J. (1971). Contributions for the Gray Herbarium. Pollen, Morphology, phytogeography and Phylogeny of the Annonaceae. Edit. Reed C., Rollins and K. Roby. P. 202.
- Wiens, J., & Graham, C. (2005). Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, vol. 36, p. 519-539.

11. Anexos

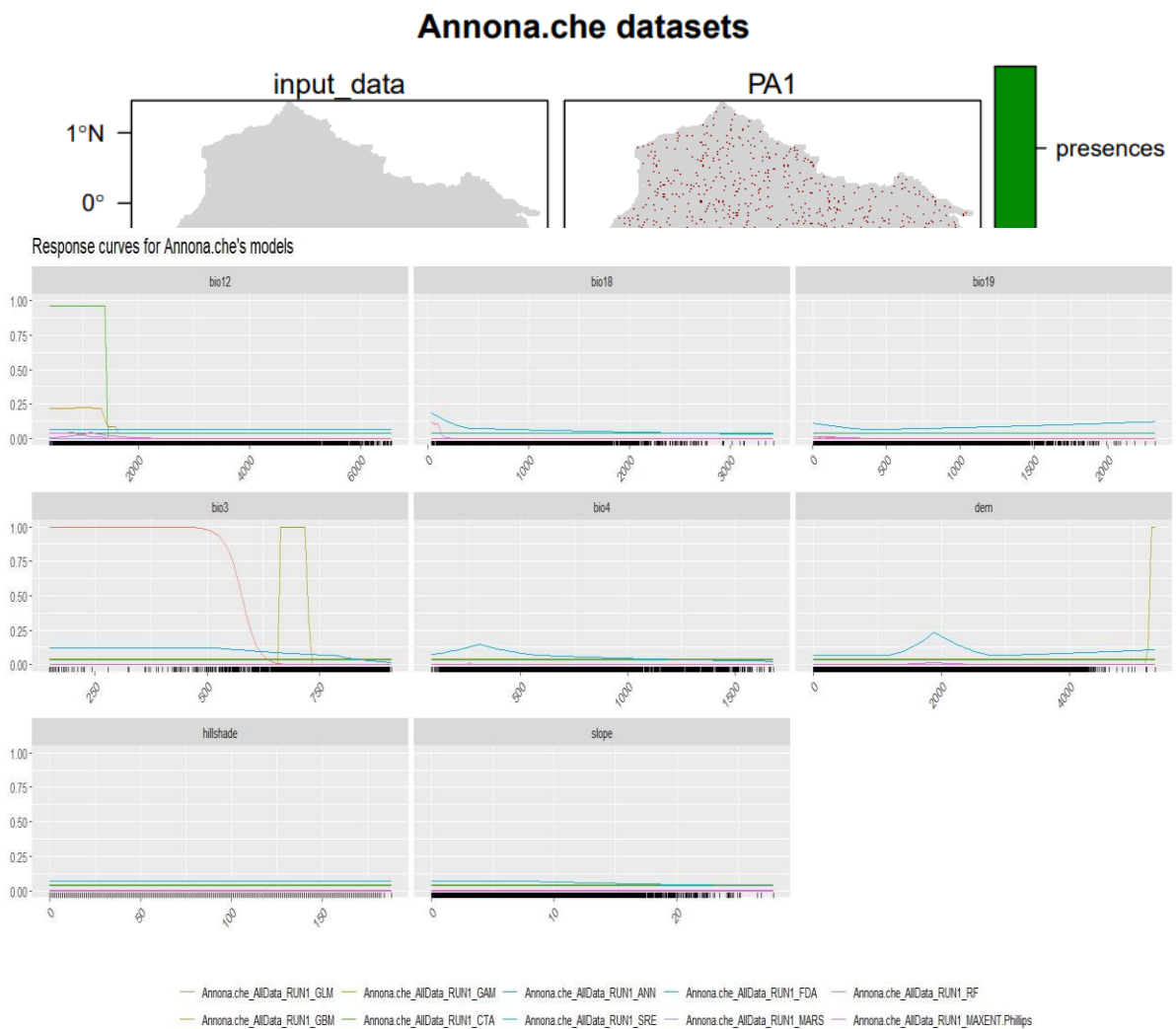
Anexo 1. Evaluación de los modelos para la especie *Annona cherimola* Mill.



Anexo 2. Evaluación de variables para el modelo de la especie *Annona cherimola* Mill.



Anexo 4. Presencias y Ausencias de la especie *Annona cherimola* Mill.



Anexo 5. Certificado de traducción del abstract.



Mg. Yanina Quizhpe Espinoza
Licenciada en Ciencias de Educación mención Inglés
Magister en Traducción y mediación cultural

Celular: 0989805087
Email: yaniges@icloud.com
Loja, Ecuador 110104

Loja, 21 de junio 2023

Yo, Lic. Yanina Quizhpe Espinoza, con cédula de identidad 1104337553, docente del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, y certificada como traductora e interprete en la Senescyt y en el Ministerio de trabajo del Ecuador con registro **MDT-3104-CCL-252640**, certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen del Trabajo de Integración Curricular **Distribución potencial de *Annona cherimola* Mill bajo escenarios de cambio climático y cambios usos del suelo en la Región Sur del Ecuador**, cuya autoría del estudiante Jaime Vinicio Chimbo Granda, con cédula 1150668778, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Atentamente

YANINA
BELEN
QUIZHPE
ESPINOZA
Firmado digitalmente por
YANINA BELEN
QUIZHPE
ESPINOZA
Fecha:
2023.06.21
10:08:30 -05'00'

Yanina Quizhpe Espinoza.

Traductora freelance

Full text translator: servicios de traducción