



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

Unidad de Integración Curricular
previo a la obtención del título de
Licenciada en Gestión Ambiental

Título de la Unidad de Integración Curricular - Proyecto de Investigación:
POTENCIALES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA
DISTRIBUCIÓN DEL HONGO (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) EN EL CULTIVO
DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN ECUADOR

Autora:

Cruz Ruby Vilchez Ponce

Tutora de la Unidad de Integración Curricular:

Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.

Cotutor

Blgo. Alexis Herminio Plasencia Vázquez, PhD.

Quevedo - Los Ríos - Ecuador

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Cruz Ruby Vilchez Ponce** declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada por ningún grado calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Cruz Ruby Vilchez Ponce

DNI: 73357605

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La suscrita, **Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante Cruz Ruby Vilchez Ponce, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**POTENCIALES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DEL HONGO (*MONILIOPHTHORA RORERI* CIF & *PAR*) EN EL CULTIVO DE CACAO (*THEOBROMA CACAO*) EN ECUADOR**”, previo a la obtención del título de Licenciada en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

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



Blgo. Alexis Herminio Plasencia Vázquez, PhD
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS RUBY VILCHEZ.docx (D98345967)
Submitted: 3/15/2021 5:54:00 AM
Submitted By: yferrer@uteq.edu.ec
Significance: 7 %

Sources included in the report:

TESIS.docx (D43319194)
MCTESIS_revision final.docx (D36525284)
<https://worldwidescience.org/topicpages/m/moniliasis%252Bmoniliophthora%252Broreri.html>
<https://1library.co/document/q05o0d9y-climatico-distribucion-geografica-potencial-vectores-enfermedades-continental-ecologico.html>

PHD. YARELYS FERRER SÁNCHEZ



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

Título del Proyecto de Investigación:

**POTENCIALES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA
DISTRIBUCIÓN DEL HONGO (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) EN EL CULTIVO
DE CACAO (*Theobroma cacao*) EN ECUADOR**

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

Aprobado por:

Ing. Jaime Vera Chang
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dra. Lidia Vlassova
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Pedro Harrys Lozano Mendoza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTO

Le agradezco en primer lugar a Dios por haberme dado la fortaleza necesaria en mi vida y brindarme sabiduría y salud para afrontar cada una de los retos personales y universitarios.

Gracias a mi familia, mis padres Catalina e Isidro, mis hermanos Katy, Aníbal, Lisbeth y Ruth por apoyarme en esta etapa de cambios en mi vida y grandes responsabilidades e inculcarme el amor al estudio.

A mi pareja Frank, que ha sido un gran apoyo e incondicional en esta nueva etapa de mi vida y confiar en cada una de las decisiones de cambio que he tomado.

A mis amigos de la universidad a Carmen, Brigithe, Andrea, Nataly, Darwin por su amistad y apoyo en esta etapa universitaria.

A la Dra. Yarelys Ferrer Sánchez, tutora de tesis, por su gran apoyo a lo largo de la carrera y en este proyecto de investigación, por su disposición, tiempo, paciencia y compromiso en esta investigación, gracias por compartir su conocimiento y asesorar esta investigación.

A la coordinadora de carrea de Ing. Ambiental y docentes de la facultad de Ciencias Ambientales por brindarme la oportunidad de crecer y ser una profesional preparada, les agradezco por creer en mí y brindarme su apoyo académico y personal.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por acogerme en sus aulas y brindarme los conocimientos necesarios y ser una profesional preparada y de éxito.

Al Dr. Alexis H. Plasencia Vázquez, cotutor de tesis por el asesoramiento brindado en este proyecto de investigación.

Al proyecto FOCICYT (7ma convocatoria) “Cambio climático y riesgo de expansión de los hongos (*Moniliophthora roreri*) y *Moniliophthora perniciosa* en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*): Evaluación a partir de modelaciones de nicho ecológico” que fue la base para el desarrollo de esta investigación.

Al convenio binacional Perú-Ecuador por brindarme la oportunidad de estudiar en el país, y tener una carrera profesional.

Cruz Ruby Vilchez Ponce

DEDICATORIA

A mí querida abuelita que desde el cielo nos guía y cuida. ¡Te Amamos! A mis padres y hermanos que demostraron su apoyo en esta etapa.

A toda mi familia y pareja por su confianza y apoyo incondicional.

Cruz Ruby Vilchez Ponce

RESUMEN

El cacao es uno de los cultivos agrícolas más importantes en Ecuador. Sin embargo, la producción es afectada por el hongo patógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y a largo plazo las pérdidas podrían ser mayores como consecuencia de las variaciones en el clima. Este trabajo tiene por objetivo: Evaluar el nicho climático del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y del hongo patógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) para identificar los posibles cambios en las distribuciones geográficas potenciales y en las áreas de coexistencia cultivo-patógeno frente a escenarios de cambio climático. Para la modelación del nicho climático se utilizaron registros de presencia de *Moniliophthora roreri* Cif & Par y de *Theobroma cacao* recabados de bases de datos mundiales, nacionales, literatura científica y gris. Se seleccionaron variables bioclimáticas de WorldClim 1.4, (4 variables de temperatura y 3 de precipitación), y el algoritmo de máxima entropía MaxEnt para obtener los modelos. Se obtuvo modelos para el escenario actual, intermedio RCP 4.5 y extremo RCP 8.5 para el año 2050. La distribución geográfica potencial del fitopatógeno y del cacao se da principalmente en la región Costa y Amazonia para el escenario actual. El cacao aumentaría su distribución geográfica potencial en los dos escenarios futuros en comparación con el presente. El fitopatógeno disminuiría ligeramente su distribución geográfica potencial en los escenarios futuros en comparación con el presente. En lo que refiere a las zonas coexistencia hongo-cacao, las zonas más susceptibles son las regiones tropicales del país como la Costa y Amazonia para el presente y escenarios futuros, representando un riesgo al cultivo de cacao, por invasión del fitopatógeno. Por ello se sugiere adoptar medidas de alerta temprana para la detección y control de la enfermedad, enfocadas en estas zonas de riesgo para la conservación de la biodiversidad y seguridad alimentaria en el país.

Palabras claves: modelación de nicho climático, MaxEnt, distribución geográfica potencial.

ABSTRACT

Cocoa is one of the most important agricultural crops in Ecuador. However, production is affected by the pathogenic fungus (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) and in the long term the losses could be greater as a consequence of variations in the climate. This work aims to: Evaluate the climatic niche of the cocoa crop (*Theobroma cacao*) and the pathogenic fungus (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) to identify possible changes in the potential geographic distributions and in the areas of crop-pathogen coexistence against climate change scenarios. For the modeling of the climatic niche, records of the presence of *Moniliophthora roreri* Cif & Par and *Theobroma cacao* were used, obtained from world and national databases, scientific and gray literature. Select the bioclimatic variables of WorldClim 1.4, (4 variables of temperature and 3 of precipitation), and the algorithm of maximum entropy MaxEnt to obtain the models. Models were obtained for the current scenario, intermediate RCP 4.5 and extreme RCP 8.5 for the year 2050. The potential geographical distribution of the phytopathogen and cocoa occurs mainly in the Coastal and Amazon region for the current scenario. Cocoa would increase its potential geographic distribution in the two future scenarios compared to the present. The phytopathogen would slightly decrease its potential geographic distribution in future scenarios compared to the present. Regarding the fungus-cocoa coexistence areas, the most susceptible areas are the tropical regions of the country such as the Coast and Amazonia for the present and future scenarios, representing a risk to cocoa cultivation, due to the invasion of the phytopathogen. For this reason, early warning measures will be adopted for the detection and control of the disease, focused on these risk areas for the conservation of biodiversity and food security in the country.

Keywords: climate niche modeling, MaxEnt, potential geographic distribution.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
CÓDIGO DUBLIN.....	xvii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	3
1.1. Problema de investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.1.2. Formulación del problema	5
1.1.3. Sistematización del problema	5
1.1.4. Hipótesis.....	5
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo general:.....	6
1.2.2. Objetivos específicos	6

1.3. Justificación.....	6
CAPÍTULO II.....	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1. Marco Conceptual	9
2.1.1. Cambio Climático	9
2.1.2. Clima.....	9
2.1.3. Variabilidad climática	9
2.1.4. Panel Intergubernamental del cambio climático	10
2.1.5. Escenarios de cambio climático	10
2.1.5.1. Trayectorias de concentración representativas (RCP).....	10
2.1.6. Bases conceptuales de nicho ecológico.....	11
2.1.6.1. Nicho ecológico.....	11
2.1.6.2. Nicho Fundamental	11
2.1.6.3. Nicho Realizado	11
2.1.6.4. Diagrama BAM	11
2.1.6.5. Modelación de nicho ecológico.....	13
2.1.6.6. Dualidad de Hutchinson	13
2.1.7. Modelos matemáticos.....	13
2.1.7.1. Algoritmo de modelamiento MaxEnt.....	13
2.1.7.2. Análisis de la curva ROC (Característica Operativa del Receptor)	14
2.1.8. Sistemas de Información Geográfica	14
2.1.9. Variables climáticas	14
2.1.10. Fuente de datos ambientales.....	15
2.1.10.1. WorldClim.....	15
2.1.11. Perfil de especies en estudio.....	15

2.1.11.1.Cacao (<i>Theobroma cacao</i>).....	15
2.1.11.2.(<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par).....	17
2.1.11.3.Moniliasis	17
2.2. MARCO REFERENCIAL	19
2.2.1.Distribución potencial de especies de flora y fauna.....	19
2.2.2.Métodos para controlar moniliasis	20
2.2.3.Influencia del cambio climático en cultivos agrícolas	20
2.2.4.Antecedentes sobre la aplicación de modelos de nicho ecológicos para patógenos en Ecuador y América Latina	21
CAPÍTULO III	22
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.1. Localización	23
3.2. Tipo de investigación	24
3.2.1.Exploratoria.....	24
3.2.2.Descriptiva	24
3.3. Métodos de investigación.....	24
3.3.1.Método Inductivo	24
3.3.2.Método Analítico	24
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	24
3.5. Diseño de la investigación.....	25
3.5.1.Compilación de puntos de presencia.....	25
3.5.2.Datos climáticos	25
3.5.3.Análisis de los datos.....	27
3.6. Instrumentos de Investigación.....	27
3.7. Tratamiento de los datos.....	28

3.8. Recursos humanos y materiales.....	28
3.8.1. Recursos humanos.....	28
3.8.2. Materiales.....	28
3.8.3. Softwares especializados.....	29
CAPÍTULO IV	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Modelar el nicho climático de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) y del cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en Ecuador continental.	31
4.1.1. Modelar el nicho climático de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) en Ecuador continental	31
4.1.1.1 Rango nativo y de invasión de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par)	31
4.1.1.2 Evaluación del modelo	32
4.1.1.3 Contribución de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) en Ecuador continental.....	32
4.1.1.4 Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par).....	33
4.1.1.5 Modelo de nicho climático de (<i>Moniliophthora roreri roreri</i> Cif & Par) en Ecuador continental en el presente	34
4.1.2. Nicho climático del cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en Ecuador continental.....	36
4.1.2.1 Rango nativo y de cultivo de (<i>Theobroma cacao</i>) en Ecuador continental	36
4.1.2.2 Evaluación del modelo	37
4.1.2.3 Contribución de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de <i>Theobroma cacao</i> en Ecuador continental	37
4.1.2.4 Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de <i>Theobroma cacao</i>	38
4.1.2.5 Modelo de nicho climático de <i>Theobroma cacao</i> en Ecuador continental en escenario presente	40

4.2. Transferir los modelos del patógeno y del cacao a condiciones futuras de cambio climático centradas en el año 2050 y en dos trayectorias representativas de gases (RCPs)	42
4.2.1. Transferencia del modelo de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) a condiciones futuras en el año 2050.....	42
4.2.2. Transferencia del modelo de <i>Theobroma cacao</i> a condiciones futuras en el año 2050.	44
4.3. Identificar las zonas susceptibles a la invasión del fitopatógeno y a la coexistencia con el cacao (<i>Theobroma cacao</i>)	46
4.4. Discusión	49
CAPÍTULO V.....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1. CONCLUSIONES.....	53
5.2. Recomendaciones	54
BIBLIOGRAFÍA	55
6.1. Bibliografía.....	56
ANEXOS	68
7.1. Anexos	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables bioclimáticas de Worldclim.	26
Tabla 2. Porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) en Ecuador continental.	32
Tabla 3. Porcentaje de contribución de variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de <i>Theobroma cacao</i> en Ecuador continental.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama BAM para la interpretación de la teoría de nicho ecológico.	12
Figura 2. Mapa de Ecuador continental.....	23
Figura 3. Registros de presencia de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) según su rango nativo y de invasión.....	31
Figura 5. Distribución geográfica potencial de (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) en Ecuador continental en el presente y bajo los escenarios climáticos intermedio RCP 4.5 y extremo RCP 8.5 para el año 2050.....	35
Figura 6. Registros de presencia de <i>Theobroma cacao</i> en Ecuador continental en un mapa de uso de suelo de Ecuador 2012.	36
Figura 7. Variación de la adecuación climática en función de las variables de mayor importancia para el modelo de nicho climático de <i>Theobroma cacao</i> en Ecuador continental.	39
Figura 8. Distribución geográfica potencial de <i>Theobroma cacao</i> en Ecuador continental en el presente y bajo los escenarios climáticos intermedio RCP 4.5 y extremo RCP 8.5 para el año 2050.	41
Figura 9. Zonas susceptibles a la invasión del fitopatógeno (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) y a la coexistencia con <i>Theobroma cacao</i> en Ecuador continental en el presente y bajo los escenarios climáticos intermedio RCP 4.5 y extremo RCP 8.5 para el año 2050.	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Prueba emitida por el URKUND.....	69
Anexo 2. Registros de presencia de <i>Moniliophthora roreri</i> en Ecuador continental.....	69
Anexo 3. Registros de presencia de <i>Moniliophthora roreri</i> en América.	73
Anexo 4. Registros de presencia de <i>Theobroma cacao</i> en Ecuador continental.....	76

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Potenciales efectos del cambio climático sobre la distribución del hongo (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) en el cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en Ecuador			
Autor:	Vilchez Ponce Cruz Ruby			
Palabras clave:	modelación de nicho ecológico	MaxEnt	distribución potencial	invasión
Fecha de publicación:				
Editorial:	Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2021.			
Resumen: (hasta 300 palabras)	<p>Resumen.- El cacao es uno de los cultivos agrícolas más importantes en Ecuador. Sin embargo, la producción es afectada por el hongo patógeno (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) y a largo plazo las pérdidas podrían ser mayores como consecuencia de las variaciones en el clima. Este trabajo tiene por objetivo: Evaluar el nicho climático del cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) y del hongo patógeno (<i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par) para identificar los posibles cambios en las distribuciones geográficas potenciales y en las áreas de coexistencia cultivo-patógeno frente a escenarios de cambio climático. Para la modelación del nicho climático se utilizaron registros de presencia de <i>Moniliophthora roreri</i> Cif & Par y de <i>Theobroma cacao</i> recabados de bases de datos mundiales, nacionales, literatura científica y gris. Se seleccionaron variables bioclimáticas de WorldClim 1.4, (4 variables de temperatura y 3 de precipitación), y el algoritmo de máxima entropía MaxEnt para obtener los modelos. Se obtuvo modelos para el escenario actual, intermedio RCP 4.5 y extremo RCP 8.5 para el año 2050. La distribución geográfica potencial del fitopatógeno y del cacao se da principalmente en la región Costa y Amazonia para el escenario actual. El cacao aumentaría su distribución geográfica potencial en los dos escenarios futuros en comparación con el presente. El fitopatógeno disminuiría ligeramente su distribución geográfica potencial en los escenarios futuros en comparación con el presente. En lo que refiere a las zonas coexistencia hongo-cacao, las zonas más susceptibles son las regiones tropicales del país como la Costa y Amazonia para el presente y escenarios futuros, representando un riesgo al cultivo de cacao, por invasión del fitopatógeno. Por ello se sugiere adoptar medidas de alerta temprana para la detección y control de la enfermedad, enfocadas en estas zonas de riesgo para la conservación de la biodiversidad y seguridad alimentaria en el país.</p>			
Descripción:	80 hojas			
URI:	(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)			

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos agrícolas de mayor importancia a nivel mundial, debido a que constituye la materia prima para la elaboración de chocolates y grasas para las industrias alimentarias y cosmetológicas en más de 50 países ubicados en África, América, Asia y Oceanía (1). Veintitrés de estos países están en América Latina y el Caribe, y Ecuador está representado entre ellos. (2). Ecuador, por sus condiciones geográficas y su riqueza en recursos biológicos, es el productor por excelencia de cacao, siendo este uno de los principales productos tradicionales de exportación en el país (3, 4). Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el sector cacaotero contribuye con el 5% de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15% de la PEA rural, constituyendo una base fundamental de la economía familiar del país en la Costa, las estribaciones de las montañas de los Andes y la Amazonía ecuatoriana (3).

Sin embargo, la producción y calidad de las cosechas de este cultivo se ve afectada por enfermedades. Entre las más frecuentes está la moniliasis, cuyo agente causal es el hongo fitopatógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) (4). Este organismo fitopatógeno ataca al fruto en cualquier edad de desarrollo y puede ocasionar pérdidas económicas de hasta el 60 % de la producción (5). (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) se detectó originalmente en la parte nororiental de Colombia, posteriormente se expandió hacia Ecuador y al resto de países productores sudamericanos (6). La moniliasis del cacao es considerada la principal enfermedad de este cultivo en el Ecuador por las pérdidas que origina. Su ataque es muy severo y constituye uno de los factores limitantes de mayor importancia en la producción de cacao (7). La dispersión de la enfermedad depende, entre otros factores, de las condiciones ambientales, por lo que se dificulta su control (8). En un futuro, la capacidad adaptativa del fitopatógeno y el cambio climático podrían favorecer su distribución geográfica.

En cultivos perennes como el cacao, adaptar los sistemas agrícolas al cambio climático es particularmente difícil porque tardan mucho antes de que los agricultores se beneficien plenamente de sus decisiones de manejo. La amenaza global del cambio climático ha causado preocupación entre los científicos, ya que el crecimiento de los cultivos podría verse gravemente afectado por cambios en las variables climáticas clave (lluvia, temperatura), comprometiendo así la producción agrícola y la seguridad alimentaria tanto a nivel mundial (9).

Una estrategia efectiva en el manejo de enfermedades en plantas es identificar áreas apropiadas para el desarrollo de la especie, donde las condiciones ambientales no sean favorables para el agente patógeno. La modelación de nicho climático (MNC) representa una herramienta poderosa para caracterizar la distribución ambiental y geográfica actual y potencial de las especies, basada en asociaciones entre presencias geográficas conocidas de las especies y la variación ambiental a través de paisajes (10). Por ello, los MNC pueden ser muy útiles en la implementación de estrategias para reducir el impacto de diferentes enfermedades sobre las plantaciones agrícolas.

Dada la importancia del cultivo de cacao en Ecuador como impulsor económico y la falta de estrategias para la identificación de áreas apropiadas para su siembra bajo condiciones ambientales no favorables, se hace necesario minimizar el impacto de patógenos como (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) ante los inminentes escenarios de cambio climático. Por estas razones, el objetivo de la presente investigación es: Evaluar el nicho climático del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y del hongo patógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) para identificar los posibles cambios en las distribuciones geográficas potenciales y en las áreas de coexistencia cultivo-patógeno ante escenarios de cambio climático. La información obtenida resultará de gran utilidad para desarrollar planes de manejo acordes a las necesidades actuales y futuras en la producción de cacao y para fomentar una disminución en las pérdidas de sus cultivos en diferentes regiones del Ecuador.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

El cultivo de cacao es atacado por el hongo fitopatógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) que causa la moniliasis del cacao. La moniliasis ocasiona pérdidas en rendimiento de acuerdo con las condiciones ambientales, el manejo del cultivo, las medidas de control que se apliquen y las variedades cultivadas. En plantaciones ubicadas en zonas húmedas superiores al 80%, variedad Nacional, con poca tecnificación y sin control, es frecuente observar pérdidas superiores al 90%. Sin embargo, en condiciones culturales óptimas de manejo, control y germoplasma mejorado, los daños disminuyen considerablemente; lo cual constituye una alternativa para el desarrollo del cultivo del cacao en áreas infestadas por la enfermedad, conociéndose también que el 45% requiere mano de obra calificada para actividades de mantenimiento del cultivo, y del fluctuantes precios en el mercado internacional (11).

Diagnóstico

A nivel nacional la producción cacaotera en Ecuador ha disminuido, siendo la producción promedio de 250 kg ha⁻¹, lo cual es el reflejo del impacto negativo que tiene sobre este cultivo el hongo patógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) (12). La aparición de la moniliasis en el cacao puede estar relacionada con los cambios climáticos. Según Freddy Cabello, gerente de la Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras del Ecuador (UNOCACE), con las bajas temperaturas llegan las enfermedades como: monilla, fitophtora, mal de machete y escoba de bruja, que impiden que el fruto se desarrolle, hay indicios que la mazorca esta susceptible en las primeros 3 meses de desarrollo (13). Las provincias de la Costa son las más afectadas, principalmente Guayas, Los Ríos, El Oro y Manabí; también una parte de Santo Domingo de los Tsáchilas. La enfermedad ha causado una baja producción del cacao ecuatoriano en varias regiones sumándose a eso el castigo de parte de los intermediarios (13).

Pronóstico

El impacto ecológico y económico que origina la moniliasis al cultivo de cacao es alto. Si no se toman las medidas adecuadas para reducir el riesgo de expansión de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), se perdería el hábitat de muchas especies de flora y fauna que viven en las plantaciones

de cacao; lo cual implicaría pérdida de la biodiversidad. Además, se favorecería la erosión del suelo y sustitución por otros cultivos.

1.1.2. Formulación del problema.

¿En qué medida evaluar el nicho climático del cacao (*Theobroma cacao*) y del hongo patógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), ayuda a identificar posibles cambios en las distribuciones geográficas potenciales ante el cambio climático?

1.1.3. Sistematización del problema.

¿Cuál es la distribución geográfica potencial actual y en escenarios futuros de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), en Ecuador continental?

¿Cuál es la distribución geográfica potencial actual y en escenarios futuros de *Theobroma cacao* en Ecuador continental?

¿Cuáles serían las regiones con mayor riesgo de invasión de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), en cultivos de cacao en la actualidad y en escenarios futuros en Ecuador continental?

1.1.4. Hipótesis.

Las variaciones en las condiciones del clima producto del cambio climático incrementarán a futuro la presencia de patógenos como (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), en áreas potenciales de cultivo de cacao (*Theobroma cacao*).

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general:

- Evaluar el nicho climático del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y del hongo patógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), para identificar los posibles cambios en las distribuciones geográficas potenciales y en las áreas de coexistencia cultivo-patógeno ante escenarios de cambio climático.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Modelar el nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y del cacao *Theobroma cacao* en Ecuador continental.
- Transferir los modelos del patógeno y del cacao a condiciones futuras de cambio climático centradas en el año 2050 y en dos trayectorias representativas de gases (RCPs).
- Identificar las zonas susceptibles a la invasión del fitopatógeno y a la coexistencia con el cacao (*Theobroma cacao*).

1.3. Justificación.

Ecuador uno de los principales productores de cacao a nivel mundial y su cultivo es uno de los principales impulsores de la economía a nivel nacional. Sin embargo, la producción de cacao se ve afectada de manera negativa por enfermedades como la moniliasis, causada por el hongo (*Moniliophthora roreri* Cif & Par). En la actualidad, los mecanismos para identificar los sitios adecuados para este cultivo y las zonas de riesgo de expansión del hongo son insuficientes, principalmente ante la amenaza de escenarios de cambio climático que provoquen variaciones en las distribuciones geográficas potenciales y en las áreas de coexistencia cultivo-patógeno.

En este sentido, la investigación que se realizó es novedosa para el país, dado que existen pocos estudios acerca de la modelación de nichos climáticos para el cultivo de cacao, y de este hongo patógeno que lo afecta. Este estudio pondrá a disposición de las partes interesadas una base de datos actualizada de la presencia de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), en escenarios futuros de cambio climático (2050), identificando zonas de riesgo de expansión del patógeno, así como las variables climáticas que determinan la presencia del hongo y las regiones favorables para su desarrollo. Además, se identificaron los sitios recomendados para el cultivo del cacao en el

Ecuador, con lo cual se apoyará significativamente la planificación de uso de suelo en el país, considerando los efectos del cambio climático y evaluando las regiones con potencial para plantaciones y producciones óptimas de cacao. De esta manera, se contribuye al desarrollo de nuevas estrategias preventivas de agentes entomopatógenos y poder conservar la biodiversidad y garantizar la seguridad alimentaria.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco Conceptual.

2.1.1. Cambio Climático.

El cambio climático es una variación del estado del clima, identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos (14). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (15). Sin embargo, para la meteorología, el cambio climático es una alteración de las condiciones predominantes. Algunos procesos externos, como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la tierra, los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica son factores que tienen gran importancia en el cambio climático (16).

2.1.2. Clima.

El clima se puede definir de manera general como el estado promedio del tiempo o el estado del sistema climático, en términos tanto clásicos como estadísticos (17). De una forma más rigurosa, se define como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años (17). El período de promedio habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial; las magnitudes que se miden son casi siempre variables de superficie (temperatura, precipitación o viento) (17).

2.1.3. Variabilidad climática.

Son las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima, en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos (17). Estas variaciones pueden deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (17).

2.1.4. Panel Intergubernamental del cambio climático.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), es el órgano de las Naciones Unidas encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. El IPCC fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, a fin de que facilitase a los responsables de las políticas evaluaciones periódicas de la base científica del cambio climático, sus impactos, sus futuros riesgos y las opciones de adaptación y mitigación (18). El IPCC no lleva a cabo una labor de investigación propia, sino que señala los casos en los que existe un acuerdo en la comunidad científica, los casos en los que hay diferencias de opinión y aquellos en los que se necesita más investigación. Al tratarse de una alianza de científicos y responsables de políticas, su labor pone al servicio de estos últimos una fuente de información fidedigna, que les permita sustentar con una base científica su trabajo (18).

2.1.5. Escenarios de cambio climático.

El Quinto Informe de Evaluación del IPCC presenta cuatro escenarios, conocidos como Trayectorias Representativas de Concentración (RCP) (14). Los escenarios muestran el resultado de los diferentes niveles de emisiones de gases de efecto invernadero, desde la actualidad hasta 2100, relacionados con el calentamiento global. El IPCC no indica las opciones de políticas y conducta que podría adoptar la sociedad para dar lugar a estos escenarios (14).

2.1.5.1. Trayectorias de concentración representativas (RCP).

Son escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre (19).

- **RCP 2,6:** Es el escenario de mitigación estricto. Es la trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W/m^2 antes de 2100 y posteriormente disminuye (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100) (17). Es probable que el calentamiento global a fines del siglo XXI sea al menos de $1,5^\circ\text{C}$ (14).

- **RCP 4,5:** Es el escenario intermedio en el cual el forzamiento radiativo se estabiliza aproximadamente a $4,5 \text{ W/m}^2$ después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las concentraciones después de 2150) (17).
- **RCP 6,0:** Escenario de estabilización intermedia, en la cual el forzamiento radiativo se estabiliza aproximadamente a 6 W/m^2 después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las concentraciones después de 2150) (17). Lo más probable es que el calentamiento global sea de 2°C (14).
- **RCP 8,5:** Escenario pesimista, para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores superiores a $8,5 \text{ W/m}^2$ en 2100 y sigue aumentando durante un lapso de tiempo (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100 y sean constantes las concentraciones después de 2250) (17). Es probable que el calentamiento global sea de 2°C (14).

2.1.6. Bases conceptuales de nicho ecológico.

2.1.6.1. Nicho ecológico.

Hutchinson define el nicho de una especie como un espacio n dimensional donde cada dimensión representa la respuesta de una especie a la variación de una determinada variable. Las variables son independientes unas de otras y estarían representadas por aquellas condiciones ambientales y recursos que afectan al rendimiento de la especie en un determinado instante de tiempo t (20).

2.1.6.2. Nicho Fundamental.

Es la suma de las condiciones ambientales bióticas, abióticas y culturales bajo las cuales un individuo, población o especie tiene la capacidad (genéticamente determinada) de persistir (21).

2.1.6.3. Nicho Realizado.

El nicho realizado está constituido por las variables ambientales en el área ocupada por la especie (G_0) (22).

2.1.6.4. Diagrama BAM.

El diagrama BAM es una representación idealizada del espacio geográfico G, donde se ilustran diferentes regiones (Fig. 1) (23). Los puntos rellenos representan observaciones de poblaciones

«fuente», denotadas por $G+$ y que por ser observaciones dependen de la calidad del muestreo. Los círculos abiertos son poblaciones «sumidero», cualquier algoritmo correlativo trabaja sobre estos puntos, abiertos y llenos (23). El concepto de área accesible para una especie hace referencia al diagrama BAM propuesto por (24), este esquematiza que el área de distribución de esta especie en determinado tiempo es el resultado de una combinación de variables ambientales o scenopoéticas (A), de variables bióticas (B) y del área que la especie puede explorar (M).

El diagrama BAM muestra que una especie tiene altas probabilidades de ser observada en aquellas regiones del planeta donde: (i) existan las condiciones abióticas necesarias, simbolizadas por “A”; (ii) existan las condiciones bióticas favorables (“B”), (25); y (iii) hayan estado accesibles a la dispersión de la especie desde la región de su origen histórico, o bien desde alguna región definida en un momento temporal relevante (“M”), (26), (27). La zona denotada por G_0 , o “área ocupada” es la intersección de favorabilidad biótica y abiótica, y de accesibilidad histórica. La especie puede ser observada/colectada en esa región.

Por definición, las variables ambientales en G_0 constituyen el nicho realizado (NR). La zona G_i es una región con condiciones favorables pero que se ha mantenido fuera de las capacidades de dispersión de la especie. La región A es favorable a la especie si se hace abstracción de las interacciones y por lo tanto su medio ambiente corresponde a la idea de «nicho fundamental» de Hutchinson (22), aunque más específicamente, a la parte del nicho fundamental que existe en una región dada, en un período dado (28), y que simbolizamos con N^*F , o el nicho existente.

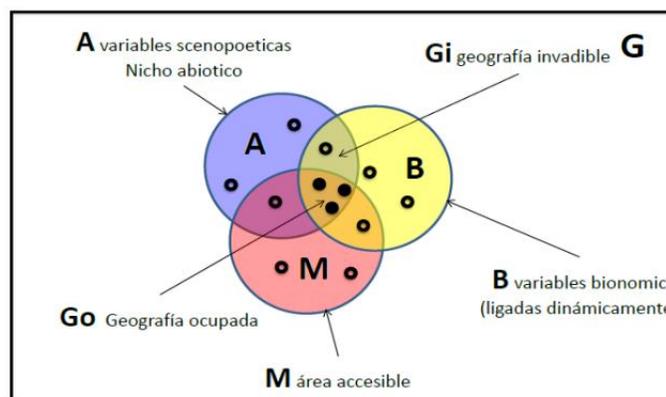


Figura 1. Diagrama BAM para la interpretación de la teoría de nicho ecológico.

Fuente: (23).

2.1.6.5. Modelación de nicho ecológico.

La modelación de nicho ecológico (MNE) es probablemente el método más utilizado en la actualidad para estimar la distribución geográfica potencial de las especies (29). Los MNE nos permiten analizar los diferentes factores ecológicos asociados a la distribución de las poblaciones de determinada especie y cómo influyen sobre estas en distinto grado y modo. Esta información, al ser analizada por distintos tipos de algoritmos nos posibilita proyectar a nivel geográfico el área potencial que ocupa la especie. Su propósito es identificar los sitios adecuados para la supervivencia de las poblaciones de una especie por medio de la identificación de sus requerimientos ambientales (29, 30).

2.1.6.6. Dualidad de Hutchinson.

La “Dualidad de Hutchinson” es una hipótesis propuesta por Hutchinson sobre la correspondencia entre el espacio geográfico y el espacio de nicho, abstracto y multidimensional (31). Se basa en que cada punto del espacio geográfico presenta unas condiciones ambientales determinadas (variables abióticas), por lo que una especie, además de estar presente en un espacio geográfico determinado también lo está en un espacio abstracto, compuesto por las n variables abióticas utilizadas para representar las condiciones ambientales que una especie tolera (32).

2.1.7. Modelos matemáticos.

Los modelamientos estadísticos y estocásticos son en la actualidad una herramienta importante para la comprensión de fenómenos ecológicos. Las técnicas estadísticas y los sistemas de información geográfica (SIG) se conjugan para conseguir interpretaciones que permitan tomar decisiones en la gestión de la biodiversidad, convirtiéndose en una herramienta para el diagnóstico y predicción de determinados incidentes (33). En la actualidad existen numerosas herramientas para el modelado de nicho ecológico de especies. Sin embargo, en el presente trabajo se utilizaron las siguientes herramientas.

2.1.7.1. Algoritmo de modelamiento MaxEnt.

Los algoritmos utilizados para la inferencia de las distribuciones potenciales de las especies son herramientas precisas, rápidas y útiles en el campo de la biogeografía (34). MaxEnt es un método cuyo propósito general es caracterizar distribuciones de probabilidad cuya información

está incompleta. Se basa en el principio de que la distribución estimada de una especie debe coincidir con la distribución conocida o deducida a partir de las condiciones ambientales donde ha sido observada, evitando hacer cualquier suposición que no sea soportada por los datos (35).

2.1.7.2. Análisis de la curva ROC.

La curva ROC (en inglés Receiver Operating Characteristic) indica la probabilidad de que, seleccionando al azar una presencia y una ausencia, el modelo clasifique con un valor de idoneidad mayor a la presencia que a la ausencia (36). Es la metodología usada habitualmente para la evaluación de modelos predictivos y también para realizar comparaciones entre diferentes metodologías (37).

En una curva ROC, la tasa verdadera positiva (Sensibilidad) se grafica en función de la tasa falsa positiva (100-Especificidad) para diferentes puntos de corte de un parámetro. Cada punto en la curva ROC representa un par de sensibilidad / especificidad correspondiente a un umbral de decisión particular. El área bajo la curva ROC (AUC) es una medida de qué tan bien un parámetro puede distinguir entre dos grupos de diagnóstico (e.g. enfermo / normal) (38).

2.1.8. Sistemas de Información Geográfica.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, cuyo objetivo es capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar en todas sus formas la información geográficamente referenciada para resolver problemas complejos de planificación y gestión (39).

2.1.9. Variables climáticas.

Las variables climáticas y topográficas se han utilizado para generar modelos de distribución potencial (40), se ha demostrado que la temperatura, la precipitación y la topografía afectan tanto la selección del hábitat como las tasas demográficas de especies (41). El uso de variables climáticas, los algoritmos que estiman la distribución potencial de las especies con registros de solo presencia, identifican las áreas con características climáticas similares a los sitios en donde previamente han sido observadas la especies (42).

2.1.10. Fuente de datos ambientales.

Según CONABIO (43), existen diferentes fuentes digitales para la obtención de variables ambientales digitales, una de las más conocidas es WorldClim. Esta base de datos contiene data de capas climáticas, con resoluciones desde 1 km, obtenidas de la interpolación de registros de estaciones climáticas entre 1950 – 2000, procedentes de diversas fuentes a nivel global, regional, nacional y local. Las 19 variables bioclimáticas son derivadas de la temperatura media anual, precipitación multianual, temperatura mínima anual y temperatura máxima anual (44). Para productos de datos topográficos y derivados se encuentra Earth Resources Observation and Science (EROS) del servicio geológico americano (43). Si se desea trabajar con datos derivados de percepción remota como índices de vegetación, la plataforma de Global Land Cover Facility es una buena opción (43).

2.1.10.1. WorldClim.

WorldClim un repositorio con variables climáticas, abierto y libre, que ha permitido un desarrollo exponencial de los trabajos sobre biogeografía, macroecología y cambio climático en los últimos 10 años. WorldClim permite la descarga de 19 variables climáticas (Tabla 2), a diferentes resoluciones espaciales y en diferentes formatos raster (que son formatos SIG, es decir, una matriz de datos georreferenciada) (45).

2.1.11. Perfil de especies en estudio.

2.1.11.1. Cacao (*Theobroma cacao*).

El cacao (*Theobroma cacao* L. 1753) es un árbol perennifolio nativo de la región neotropical (46), que ha sido usado ancestralmente, constituyendo un recurso importante dentro de las actividades culturales y económicas a nivel mundial. Es una planta de origen amazónico, cultivada en la franja geográfica tropical húmeda (47).

Es un árbol de tamaño mediano (5-8 m) aunque puede alcanzar hasta 20 m cuando crece libremente bajo sombra intensa (48). Su corona es densa, redondeada y con un diámetro de 7 a 9 m. El tronco es recto y se puede desarrollar en formas muy variadas, según las condiciones ambientales (48). El sistema radicular se compone de una raíz principal pivotante y muchas secundarias, la cuales se encuentran en los primeros 30 cm de suelo (48). Las hojas son simples,

enteras y de color verde bastante variable (color café claro, morado o rojizo, verde pálido) y de pecíolo corto (48). Las flores son pequeñas y se producen, al igual que los frutos, en racimos pequeños sobre el tejido maduro mayor de un año del tronco y de las ramas, alrededor de los espacios donde antes hubo hojas (48). Las flores son pequeñas, se abren durante las tardes y pueden ser fecundadas durante todo el siguiente día (48). El cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos; la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa y los pétalos son largos. (48). La temperatura óptima son los 25 °C porque permite la floración y fructificación (49). Esta especie crece en regiones con precipitación óptima de 1500 a 2500 mm (46).

Ecología

Los factores climáticos críticos para el desarrollo del cacao son la temperatura y la lluvia. A estos se le unen el viento y la luz o radiación solar. El cacao es una planta que se desarrolla bajo sombra. La humedad relativa también es importante, ya que puede contribuir a la propagación de algunas enfermedades del fruto. Estas exigencias climáticas han hecho que el cultivo de cacao se concentre en las tierras bajas tropicales (48).

- **Temperatura:** El cacao no soporta temperaturas bajas, siendo su límite medio anual los 21 °C. Es un cultivo que debe estar bajo sombra, para que los rayos solares no incidan directamente y se incremente la temperatura. La temperatura determina la formación de las flores y a 25 °C la floración es normal y abundante (48).
- **Agua:** El cacao es una planta sensible a la escasez de agua, pero también al encharcamiento, por lo que se precisa de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo. Las necesidades de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o los valles altos (48).
- **Sombra:** El cacao es un cultivo típicamente umbrófilo (48). El objetivo de la sombra al inicio de la plantación es reducir la cantidad de radiación que llega al cultivo y proteger al cultivo de los vientos que la puedan perjudicar. Cuando el cultivo se establece, se puede reducir el porcentaje de sombra hasta un 25 o 30 % (48). La luminosidad deberá estar comprendida más o menos al 50 % durante los primeros 4 años de vida de las plantas, para que estas alcancen un buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas (48). Se emplean especies para sombra, que generalmente son otros árboles frutales intercalados en el cultivo con

marcos de plantación regulares (48). Las especies más empleadas son las musáceas (plátano, banano) para sombras temporales y de Ingas para sombras permanentes. En nuevas plantaciones de cacao se están empezando a emplear otras especies de sombra que otorgan un mayor beneficio económico como son especies maderables (cedro, palo blanco) y/o frutales (cítricos, aguacate, zapote) (48).

- **Suelos:** El cacao es una planta que se desarrolla en una amplia diversidad de tipos de suelo (48). Sin embargo, requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcillosos, con buen drenaje y topografía regular. Las plantaciones están localizadas en suelos que varían desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limos, con pH que oscila entre 4,0 y 7,0 (48).

2.1.11.2. (*Moniliophthora roreri* Cif & Par).

(*Moniliophthora roreri* Cif & Par) es una especie de hongo del filo Basidiomycota, el cual causa la moniliasis, una enfermedad de la mazorca en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) (50). Este organismo fitopatógeno ataca al fruto en cualquier edad de desarrollo y puede ocasionar pérdidas económicas de hasta el 60 % de la producción (5). El control biológico utilizando microorganismos endófitos surge como una alternativa para el manejo de esta enfermedad (50).

2.1.11.3. Moniliasis.

En Ecuador esta enfermedad apareció en el año 1914, en Quevedo, provincia de Los Ríos (51). Las primeras investigaciones describieron al agente causal de la moniliasis como un hongo del género *Monilia* (52). En 1978, después de haber observado bajo el microscopio electrónico la presencia de una septa doliporo en el micelio vegetativo, se indica la afinidad con la clase Basidiomycetes. Además, describieron el desarrollo de las conidias en forma basipétala, por lo que propusieron ubicar al agente causal de la moniliasis en el género *Moniliophthora*. A partir de ese trabajo, el hongo se denomina *M. roreri* (52).

El patógeno permanece en el estado de conidias, que son de forma globosas, subglobosas y elípticas (8- 20 x 5-14 μm) (53) en los frutos infectados que se encuentran adheridos a las plantas. Las esporas germinan sobre la mazorca y penetran vía intercelular directamente a través de la epidermis, a cualquier edad de la mazorca; posteriormente el patógeno se torna intracelular, momento en el cual comienzan los síntomas de la enfermedad (54).

Síntomas y signos de la enfermedad

- Síntomas externos: Las mazorcas con edad menor a un mes presentan maduración prematura, marchitez y secamiento (55). Los frutos de uno a tres meses presentan deformaciones o abultamientos, mientras que de dos a tres meses presentan puntos verde oscuro o deformaciones. Luego de los primeros síntomas aparece la mancha color marrón o chocolate, a los pocos días sobre la mancha café aparece el micelio y luego las esporas de color crema (55).
- Síntomas internos: El daño interno es aún más grave que el daño externo, porque se pierden casi todas las almendras, sin importar la edad del fruto, debido a la descomposición de los tejidos (55).

Manejo de la enfermedad

Dentro del manejo integrado para el control de la moniliasis del cacao se considera:

- **Prácticas culturales:** Podas suaves y frecuentes, que ayuden a mantener los troncos y ramas principales libres de brotes, chupones o hijos y de ramillas perjudiciales. Regulación del sombrero permanente. Adecuado sistema de drenaje. Deshierbes frecuentes y oportunos, para facilitar la libre circulación del aire. Eliminar dos veces por semana, en los meses de lluvia, los frutos afectados por la moniliasis que se encuentren en la plantación (56).
- **Prácticas fitosanitarias.** Estas prácticas buscan disminuir la fuente de inóculo de las enfermedades y reducir el número de plagas, la cual considera la remoción de tejidos enfermos que deberán ser eliminados con las ramas indeseables al momento de poda (56).
- **Control químico** El uso de fungicidas ha sido sugerido para controlar la moniliasis del cacao en diversos lugares, sin embargo, son poco efectivos y costosos, lo cual determina que este método sea poco apropiado (56).
- **Control biológico:** Entre los hongos antagonistas se encuentran miembros de los géneros *Gliocladium* y *Trichoderma* (56).

Importancia de la enfermedad

La Moniliasis ha provocado, en casi todos los países donde ha llegado, el abandono de muchas plantaciones, ya que se puede perder hasta el 80% de la producción (57). En Ecuador, se han estimado pérdidas que van desde un 15% hasta un 80% (58).

2.2. MARCO REFERENCIAL.

2.2.1. Distribución potencial de especies de flora y fauna.

En las últimas décadas, los estudios sobre modelos de distribución potencial de especies se han realizado para diferentes organismos, dado el interés por conocer las respuestas que tendrán estos a fenómenos como el cambio climático. Entre las especies modeladas aparecen vectores transmisores de enfermedades humanas (33, 59) especies exóticas invasoras (59), flora (60), anfibios (61), agentes patógenos que afectan la agricultura (62,63) entre otros. Fundamentalmente, estos trabajos se han enfocado en el uso de herramientas de modelación de nicho ecológico empleando programas como: DOMAIN (33), Bioclim (33) y MaxEnt (33), (59, 60, 62, 63). Aunque se han empleado distintas herramientas para la modelación de nicho ecológico y así obtener la distribución potencial de las especies, también se ha extrapolado hacia el futuro ante escenarios de cambio climático, para estimar como podrían comportarse ante tales condiciones (e.g.) (59, 60, 62).

Un ejemplo interesante dentro del contexto latinoamericano es el estudio que se realizó sobre la estimación de la distribución potencial de especies vegetales en Costa Rica, donde se comprobó que la distribución potencial de estas podría sufrir cambios bajo el escenario pesimista RCP 8.5, ya que se darían pérdidas importantes de su hábitat (60). En el caso de trabajos con especies que actúan como patógenos en la agricultura, como *M. royeri*, los modelos indican un riesgo de expansión de su área de distribución potencial en el extremo occidental de la Amazonía, desde el sur de Ecuador hasta Venezuela, en el suroeste de la Amazonía peruana, la región fronteriza con Bolivia y en las áreas adyacentes de Brasil, y con riesgo de invasión en Brasil (62, 63).

En Ecuador se ha comprobado que, los sitios con mayor peligro potencial de invasión de especies exóticas invasoras son las zonas tropicales y templadas, lo cual representa un alto riesgo en el mantenimiento del equilibrio en múltiples ecosistemas y para la biodiversidad (59). En el caso de vectores transmisores de enfermedades en Ecuador, para la especie *Triatoma dimidiata* se han identificado áreas de idoneidad dentro de la región amazónica con el apoyo de cuatro modelos de nicho ecológico (33). Estos resultados constituyen una alerta para el país, ya que el riesgo de propagación de esta especie es alto, lo que significa que se deben tomar medidas de

manera urgente ante los riesgos de propagación de esta enfermedad que afectaría la salud pública.

2.2.2. Métodos para controlar moniliasis.

Dada la importancia del cultivo de cacao en el país, y considerando las grandes pérdidas que ocasiona la moniliasis a este cultivo, se han desarrollado una serie de métodos para combatir esta enfermedad. Estos métodos incluyen uso de fungicidas con labores culturales, control biológico y químico, manejo fitosanitario, alternativas orgánicas y sostenibles (62, 63, 64, 65, 66). El grado de efectividad de estos métodos es muy variable. Según Ayala (62) y Anzules (63), con productos químicos se consigue reprimir la moniliasis mediante el uso de fungicidas. Sin embargo, Anzules (63) indica que la aplicación de prácticas culturales no disminuye la aparición de esta enfermedad, lo que contrasta con lo determinado por Paredes (64), que afirma que la práctica más efectiva para disminuir la incidencia de la moniliasis es la práctica cultural, a través de la recogida de frutos. Todos estos estudios coinciden que la moniliasis es la enfermedad que más pérdidas produce en el cacao (62, 64, 65). Por ello, es pertinente realizar investigaciones de distribución potencial de especies mediante modelos de nicho ecológico, para así poder predecir futuras afectaciones al cultivo de cacao en escenarios de cambio climático y aportar al sector agrícola los elementos necesarios que le permitan establecer las estrategias adecuadas para adaptarse a cambios de clima en el futuro.

2.2.3. Influencia del cambio climático en cultivos agrícolas.

Los impactos del cambio climático se han documentado a lo largo de la historia y en los últimos años se han realizado estudios sobre los posibles efectos del clima en el sector agrícola (65, 66). En la región sudamericana, se han evaluado los impactos del cambio climático para cultivos andinos importantes mediante el uso de modelos de nicho ecológico usando EcoCrop. Según las proyecciones para el año 2050, las áreas de los Andes tropicales serán impactadas negativamente, lo cual constituye una preocupación enorme por la afectación al sector agrícola (67). Se espera que, para el 2050, el 14.7% de la cosecha actual de papa y 1.5 millones de hectáreas de café se verían más afectadas por el cambio climático, sin embargo, de tomarse las medidas necesarias, los niveles de vulnerabilidad podrían ser menores (67). En Ecuador, para hacer frente a estas amenazas y poder determinar el nivel de resiliencia de los cultivos ante el

cambio climático, se han desarrollado diversas estrategias y se ha comprobado que las plantaciones de cacao son más resistentes dentro de sistemas agroforestales que en monocultivos (68). Estos cultivos agroforestales mantienen la biodiversidad del área y elevan su nivel de resiliencia (son más idóneos para adaptarse a los efectos del cambio climático), de esta manera no se afecta el rendimiento en la producción ni la economía de los agricultores.

2.2.4. Antecedentes sobre la aplicación de modelos de nicho ecológicos para patógenos en Ecuador y América Latina.

En América Latina, diferentes estudios se han enfocado en analizar cómo podría afectar el cambio climático a especies animales, vegetales o patógenos de cultivos agrícolas (60, 67, 68). En Ecuador, por ser un país megadiverso de interés para muchos investigadores, existe información sobre distribución potencial de vectores transmisores de enfermedades (33, 67) y de especies endémicas e invasoras (59), para las cuales se han utilizado herramientas de modelación. Sin embargo, estudios que se enfoquen en evaluar el nicho climático del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y del hongo patógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) para identificar los posibles cambios en las distribuciones geográficas potenciales y en las áreas de coexistencia cultivo-patógeno ante escenarios de cambio climático, no se han realizado hasta el momento en el país.

La presente investigación es novedosa, permite identificar los posibles cambios en la distribución geográfica potencial y áreas de coexistencia cultivo-patógeno ante escenarios de cambio climático. Además, se pone a disposición de todas las partes interesadas una base de registros actualizados de la presencia en Ecuador continental de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), un mapa de distribución geográfica potencial actual y futura, y un análisis de riesgo de expansión potencial futura de esta enfermedad. Con todos estos datos, se pueden identificar zonas más susceptibles de propagación de este patógeno para el cultivo de cacao y de esta manera contribuir al desarrollo de estrategias preventivas para la conservación de la biodiversidad y la seguridad alimentaria en el país.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

La presente investigación se desarrolló en Ecuador continental. Ecuador está situado al Noroeste de América del Sur, entre los 01° 28' de Latitud Norte y 05° 01' de Latitud Sur y desde los 75° 11' en la planicie Amazónica hasta los 81° 01' de longitud Oeste. Limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el océano Pacífico (Figura 2). Su capital es Quito (69). El territorio del Ecuador continental está dividido en tres regiones naturales claramente diferenciadas entre sí, ya sea por su topografía, clima, vegetación y población. Las tres regiones son: Costa o Litoral, Sierra o Región Andina, y el Oriente o Amazonía (69). A 1 120 km de la costa ecuatoriana en dirección Oeste se encuentra el Archipiélago de Colón o Islas Galápagos, que como su nombre lo indica, está integrado por varias islas. Se considera la cuarta región natural del Ecuador (70). Es un país pequeño en extensión, pero rico en biodiversidad. Existen diferentes zonas climáticas que tienen una gran variedad de flora y fauna (69).

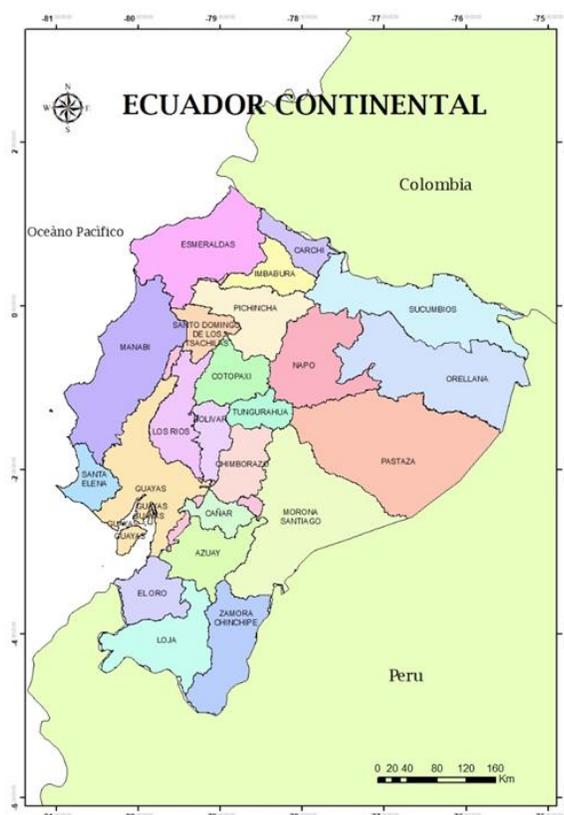


Figura 2. Mapa de Ecuador continental.

3.2. Tipo de investigación.

3.2.1. Exploratoria.

La investigación tuvo un componente de tipo exploratoria y se realizó para evaluar los posibles efectos del cambio climático sobre la distribución potencial del hongo (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), patógeno que afecta el cultivo de cacao en Ecuador Continental. Al ser un tema novedoso y poco estudiado en el país, los resultados obtenidos ofrecen un panorama amplio del tema, lo cual permitirá a futuro tomar decisiones acerca de esta problemática y establecer un antecedente para estudios posteriores.

3.2.2. Descriptiva.

La investigación también incluye una parte descriptiva, la cual se aprecia en la descripción que se hace del mapa distributivo de las zonas con riesgo de expansión de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y las áreas idóneas para el cultivo de *Theobroma cacao*. Esta información permite determinar los cambios geográficos para Ecuador continental de las especies en estudio.

3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. Método Inductivo.

El método inductivo se utilizó para la modelación en MaxEnt para (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y *Theobroma cacao* en Ecuador continental.

3.3.2. Método Analítico.

El método analítico se utilizó en la investigación para analizar y evaluar las afectaciones de la distribución geográfica de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y *Theobroma cacao*.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

La información documentada se obtuvo de fuentes secundarias.

- Base de datos del Global Biodiversity Information Facility: Para descargar los puntos de presencia de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y *Theobroma cacao* (71).

- NicheToolBox: Es un paquete R con interfaz gráfica de usuario para modelar y evaluar nichos ecológicos multidimensionales, del cual se descargaron puntos de presencia de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y se utilizó para la depuración de los datos (72).
- Bases de datos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias: se utilizó para recopilar puntos de presencia de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y *Theobroma cacao*.
- Base de datos de revistas científicas: Para indagar sobre puntos de presencia de las especies en estudio.
- Tesis de grado: Para indagar sobre puntos de presencia de las especies en estudio

3.5. Diseño de la investigación.

3.5.1. Compilación de puntos de presencia.

Se recopilaron registros de presencia del hongo patógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y *Theobroma cacao* de la base de datos Global Biodiversity Information Facility (GBIF), de las bases del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, de la literatura científica y gris. No se hizo distinción entre ubicaciones de bosques naturales o cultivos, porque esta información no siempre está disponible en las fuentes originales. Los registros sin información geográfica o con errores obvios como coordenadas incompletas, ubicaciones en el océano y desajustes entre datos administrativos y coordenadas se excluyeron del análisis. Se realizó la limpieza de registros en el NicheToolBox a una resolución espacial de 30 segundos de arco ~ 1km, del cual se obtuvo los registros finales.

3.5.2. Datos climáticos.

Para modelar el nicho climático de las dos especies seleccionadas se utilizaron variables bioclimáticas (Tabla 1) (período de referencia de 1960–1990) del WorldClim 1.4 a una resolución espacial de 30 segundos de arco ~ 1km. Se excluyeron cuatro variables: Temperatura promedio del trimestre más húmedo (bio8), temperatura promedio del trimestre más seco (bio9), precipitación en el trimestre más seco (bio17) y precipitación en el trimestre más caliente (bio18), por considerarse artificios matemáticos que no se relacionan con las especies en estudio (74).

Para la selección de las variables, se utilizaron cuatro métodos: Análisis de correlación de Spearman (se seleccionaron las variables menos correlacionadas), Análisis de Componentes Principales CPA (se seleccionaron las variables con mayor relevancia en los componentes, peso mayor a 0.8), variables que tuvieron mayor influencia en la modelación de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y *Theobroma cacao* según estudios realizados anteriormente, y variables de mayor importancia ecológica para las especies en estudio según la literatura (75, 76).

Las proyecciones de distribución futura se basaron en el 2050, en dos escenarios de Rutas de Concentración Representativas (RCP) del cambio climático del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) (77). Se eligió el escenario intermedio RCP 4.5, que predice un aumento de la temperatura promedio de 1.4 °C (0.9–2.0 °C), y un escenario con emisiones muy altas RCP 8.5, que predice un aumento de temperatura promedio de 2.0 °C (1.4–2.6 °C) para 2050 (período 2046-2065). Se eligieron estas proyecciones climáticas para 2050 para alinearlas con el marco de las Naciones Unidas de los desafíos mundiales en la agricultura (78).

Tabla 1. Variables bioclimáticas de Worldclim.

VARIABLE	SIGNIFICADO
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)
BIO2	Rango diurno promedio (°C) (promedio mensual (temperatura máxima – temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidad (°C)
BIO4	Temperatura estacional (°C)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente (°C)
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
BIO7	Rango de temperatura anual (°C)
BIO10	Temperatura promedio del trimestre más caliente (°C)
BIO11	Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)
BIO12	Precipitación anual (mm)
BIO13	Precipitación del mes más húmedo (mm)
BIO14	Precipitación del mes más seco (mm)
BIO15	Precipitación estacional (mm) (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación en el trimestre más húmedo (mm)

3.5.3. Análisis de los datos.

Para definir el área de accesibilidad de las especies en estudio “M”, conocida como la zona de movilidad o zona accesible. En el programa ArcGIS se ubicaron los puntos de presencia del hongo y del cacao en el mapa del mundo, luego se seleccionaron los países con registros de presencia y se hizo un recorte del cual se obtuvo la “M”. Se recortó las variables bioclimáticas del presente y futuro de acuerdo al tamaño del área accesibilidad definida por la “M” para proyectar el modelo. Para el cacao se proyectó el modelo a Ecuador continental.

Para la calibración del modelo, se realizó una validación cruzada mediante la asignación aleatoria (sin reemplazo) de datos de ubicación. En MaxEnt 3.4 se utilizó el 80% de los datos para calibrar el modelo y el 20% para validarlo, ya que MaxEnt hace predicciones utilizando únicamente datos de presencia. Se evaluó el rendimiento de diferentes algoritmos del modelo de distribución de especies (MDE) por separado, después de que los algoritmos se calibraron con datos de las otras corridas. El rendimiento del modelo se evaluó mediante el criterio del (receiver operating characteristic, ROC parcial) considerando como parámetros una tasa de emisión de 5%, un porcentaje de puntos aleatorios de 50% y 500 iteraciones de bootstrap para obtener el valor del área bajo la curva (area under the curve, AUC) que indique el rendimiento del modelo para predecir las áreas con condiciones adecuadas para la especie en estudio. Se utilizaron algoritmos MDE seleccionados para obtener el modelo de idoneidad para el cacao y el fitopatógeno para predecir la distribución de idoneidad para el año 2050. Para cada especie, los mapas de idoneidad del conjunto para la línea de base y los climas futuros se convirtieron en mapas binarios de presencia/ausencia con el método de umbral (línea de corte) recomendado: máxima sensibilidad (verdadero positivo) + especificidad (verdadero negativo) (79). Los mapas binarios obtenidos permitieron la identificación de regiones geográficas de adecuación para el hongo y el cacao.

3.6. Instrumentos de Investigación.

Los instrumentos de investigación utilizados son:

- Observación indirecta: Una vez obtenido los mapas de distribución potencial fue necesario observar las zonas con distribución potencial de las especies en estudio e identificar las zonas de riesgo de invasión del patógeno al cultivo de cacao.
- Análisis de documentos: Se analizaron los mapas obtenidos del modelo de nicho climático de las especies en estudio y analizar su posible expansión o contracción en los escenarios climáticos.

3.7. Tratamiento de los datos.

Para el tratamiento de los datos se utilizaron software y herramientas como:

- SDMToolBox (SDM Tools- Maxent Tools- Distribution Changes Between Binary) en ArcGis 10.5.1. de uso libre: para los análisis espaciales de los mapas de distribución.
- Ntbox: un paquete R con interfaz gráfica de usuario para modelar y evaluar nichos ecológicos multidimensionales (72).
- Arcgis 10.5: Para diseñar y analizar mapas.
- XLSTAT 2014: Se utilizó para hacer el análisis de correlación y de Componentes Principales.
- MaxEnt: Se utilizó el logaritmo de Máxima entropía para modelar el nicho ecológico de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y *Theobroma cacao*.
- Normalización de Kaiser: Para valorar el grado de predicción de cada una de las variables bioclimáticas a partir de las demás y comprobar el grado de relación conjunta entre variables.
- SDM Toolboxv2.4, para procesar los datos y evaluar el modelo.

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Recursos humanos.

- Directores de proyecto de investigación.
- Autora de proyecto de investigación.

3.8.2. Materiales.

- Computadora personal
- 1 disco duro externo de 1 TB
- Libretas de apuntes

- Hojas A4
- Impresora
- Lapiceros

3.8.3. Softwares especializados.

- MaxEnt
- Xlstat 2014
- Arcgis 10.5 (uso libre)
- Ntbox
- WorldClim
- SDM Toolboxv2.4

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Modelar el nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y del cacao (*Theobroma cacao*) en Ecuador continental.

4.1.1. Modelar el nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en Ecuador continental.

4.1.1.1 Rango nativo y de invasión de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par).

Se obtuvieron un total de 160 registros de presencia de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) (Anexo 2). Estos registros se ubicaron en países de Sudamérica y Centroamérica como Ecuador, Perú, Bolivia, Colombia, Venezuela, Panamá, México, Nicaragua, Costa Rica, en los cuales se ha confirmado la presencia del hongo según su rango nativo y de invasión (Fig. 3).

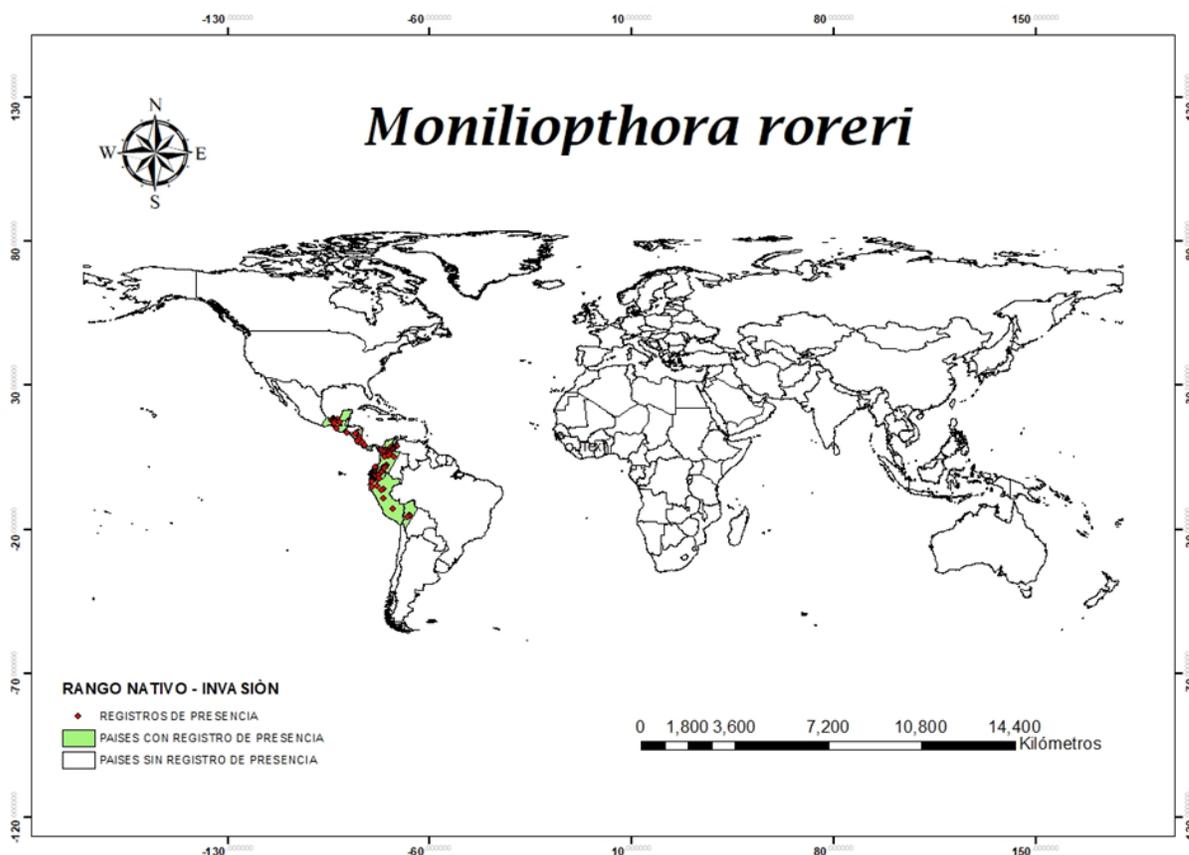


Figura 3. Registros de presencia de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) según su rango nativo y de invasión.

4.1.1.2 Evaluación del modelo.

La evaluación del rendimiento del modelo del nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en Ecuador Continental se realizó con diferentes algoritmos. Con Maxent 3.4, el modelo reveló un buen desempeño con un valor de AUC= 0.820 para los datos de entrenamiento, siendo este valor superior al umbral 0.5. Para el área bajo la curva AUC_{ratio}, se obtuvo un valor promedio de 1.37, el cual es superior al umbral >0. Dichos valores obtenidos indican que el modelo tuvo un buen rendimiento según las variables utilizadas, lo que valida que el modelo obtenido predice adecuadamente y mejor que un modelo al azar.

4.1.1.3 Contribución de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en Ecuador continental.

Para realizar el modelo de nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) se utilizaron cinco variables climáticas previamente seleccionadas, teniendo en cuenta diferentes criterios de selección mencionadas anteriormente en la metodología. La precipitación del mes más húmedo (mm) y la temperatura mínima del mes más frío (°C) fueron las variables que tuvieron un mayor porcentaje de contribución al modelo. La precipitación en el trimestre más húmedo tuvo el mayor porcentaje de permutación, lo que significa que los valores de esta variable en presencia de los datos de entrenamiento y datos de fondo fueron los que más se permutaron aleatoriamente (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en Ecuador continental.

Variable	Porcentaje de Contribución (%)	Importancia de Permutación (%)
Precipitación del mes más húmedo	65.7	6.7
Temperatura mínima del mes más frío	16.5	30.2
Precipitación anual	7.6	12.1
Temperatura promedio anual	6.2	5.3
Precipitación en el trimestre más húmedo	4	45.6
TOTAL	100	100

4.1.1.4 Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par).

La precipitación del mes más húmedo (mm), fue la variable que más aportó al modelo (Tabla 2). Los valores entre 400 y 500 mm de precipitación parecen ser los óptimos para la adecuación de este hongo durante el mes más húmedo, mientras que valores inferiores o superiores a este intervalo lo disminuyen (Fig. 4A). Los sitios con una temperatura mínima de aproximadamente 20 °C durante el mes más frío son los más favorables para la presencia de la especie (Fig. 4B). En el caso de la precipitación anual, las mejores condiciones ambientales para (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) se presentan en sitios donde las precipitaciones sean mayores a 2000 mm y menores que 4000 mm. (Fig. 4C).

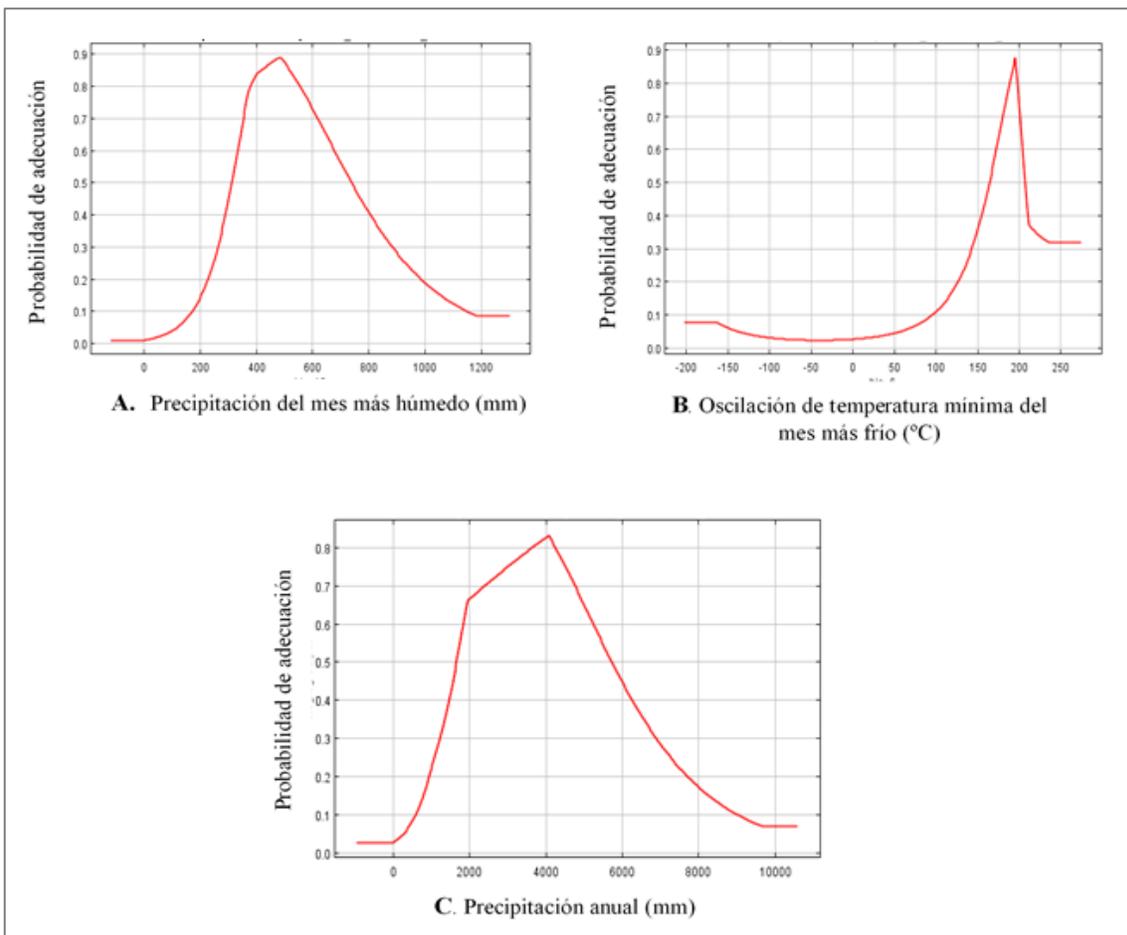


Figura 4. Variación de la adecuación climática para (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en función de las variables de mayor importancia. En el caso de la temperatura los valores del eje horizontal están multiplicados por 10.

4.1.1.5 Modelo de nicho climático de (*Moniliophthora roreri roreri* Cif & Par) en Ecuador continental en el presente.

Según los resultados de la modelación climática en Ecuador continental para el presente, se identificó un área de 195 323 km² con condiciones climáticas favorables para la distribución potencial de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) (Fig. 5A). Estas zonas incluyen las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Guayas, El Oro, Loja, Sucumbíos, Orellana, Pastaza y Morona Santiago. Mientras que el área con bajo índice de adecuación de la especie fue de 95 066 Km² y está representada por las provincias de Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Zamora Chinchipe. (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) se desarrolla y adecúa mejor en climas tropicales de la costa y amazonia ecuatoriana.

La región de la amazonia tiene una mayor extensión de área con condiciones adecuadas para la distribución potencial del patógeno, con 104 253 Km². Le continúa la región costa, con 72 172 Km² (Fig. 5A). La región Costa tiene la mayor probabilidad de presencia de la especie, siendo las provincias de Santo Domingo, Los Ríos, oeste de Pichincha y este de Manabí con mayor probabilidades de presencia de este hongo, mientras que en la amazonia las provincias con más probabilidades son: Sucumbíos, Orellana, Pastaza, este de Napo, y el norte de Morona Santiago (Fig. 5D).

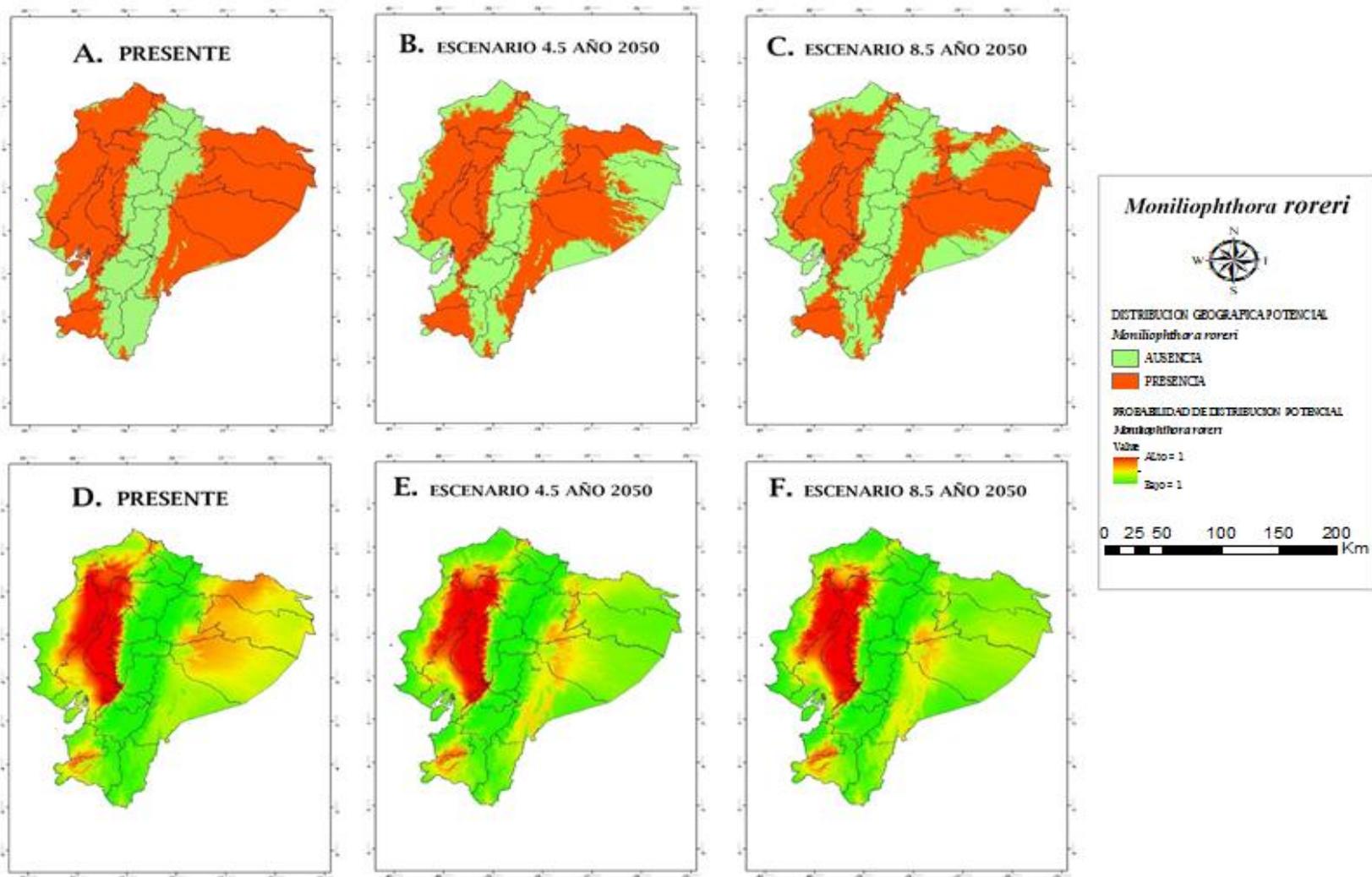


Figura 5. Distribución geográfica potencial de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en Ecuador continental en el presente y bajo los escenarios climáticos intermedio RCP 4.5 y extremo RCP 8.5 para el año 2050.

4.1.2. Nicho climático del cacao (*Theobroma cacao*) en Ecuador continental.

4.1.2.1 Rango nativo y de cultivo de (*Theobroma cacao*) en Ecuador continental.

Se obtuvieron un total de 118 registros de presencia de *T. cacao* (Anexo 3). Los registros se distribuyen en la mayoría de las provincias del país, puesto que el clima ecuatoriano en general presenta condiciones climáticas favorables para este cultivo (Fig. 6). Se registraron cultivos de cacao en las provincias de: Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Santa Elena, Guayas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Azuay - Capital Cuenca, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, El Oro, Loja, Pichincha, Tungurahua, Morona Santiago, Napo, Orellana, Pastaza, Sucumbíos, Zamora y Chinchipe.

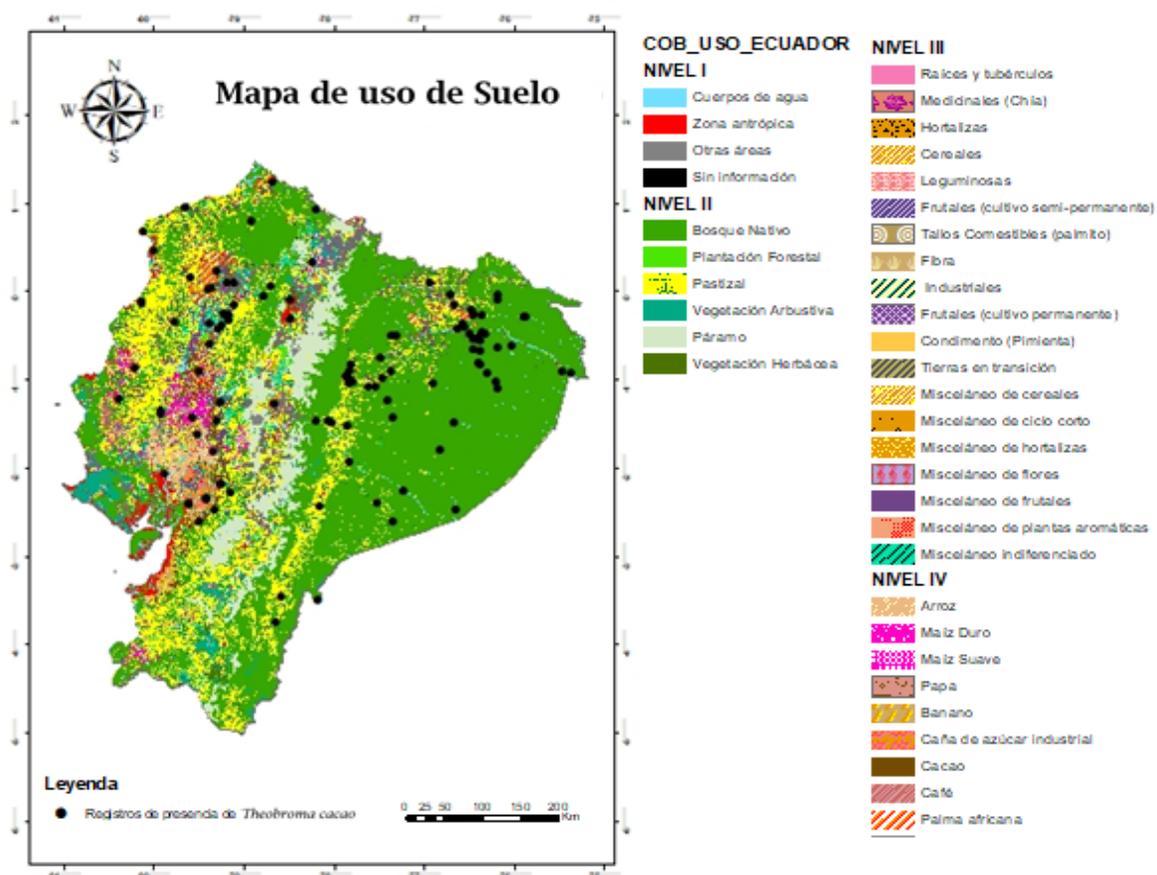


Figura 5. Registros de presencia de *Theobroma cacao* en Ecuador continental en un mapa de uso de suelo de Ecuador 2012.

4.1.2.2 Evaluación del modelo.

El modelo de nicho climático de *T. cacao* en Ecuador continental tuvo un buen desempeño, con un valor de AUC= 0.779 para los datos de entrenamiento, siendo este valor superior al umbral de 0.5. El área bajo la curva AUC ratio tuvo un valor promedio de 1.33, siendo este superior al umbral >0. Los valores obtenidos indican que el modelo tuvo un buen rendimiento según las variables utilizadas, lo que valida que este predice adecuadamente y mejor que un modelo al azar

4.1.2.3 Contribución de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de *Theobroma cacao* en Ecuador continental.

Para el modelo de nicho climático de *Theobroma cacao* se utilizaron 7 variables bioclimáticas, previamente seleccionadas. La precipitación del trimestre más húmedo (mm) fue la que tuvo mayor porcentaje de contribución al modelo, casi 70%, mientras que las restantes tuvieron aportes muy bajos de manera individual (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de contribución de variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de *Theobroma cacao* en Ecuador continental.

Variable	Porcentaje de Contribución (%)	Importancia de Permutación (%)
Precipitación del trimestre más húmedo (mm)	67.2	64.2
Precipitación anual (mm)	7.7	7.4
Temperatura promedio anual (°C)	7.1	1.4
Precipitación del mes más húmedo (mm)	6.5	2.8
Temperatura promedio del trimestre más caliente (°C)	4.8	0.9
Temperatura máxima del mes más caliente (°C)	3.5	3.3
Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)	3.3	20
SUMA	100	100

4.1.2.4 **Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas al modelo de nicho climático de *Theobroma cacao*.**

Según el comportamiento de la probabilidad de condiciones adecuadas para la presencia de *Theobroma cacao* en función de las variables de mayor importancia al modelo. En la precipitación del trimestre más húmedo que fue la variable que más influyó, las mejores condiciones se localizarían en sitios donde las precipitaciones superen valores de 1000 mm, valores mínimos disminuyen el índice de adecuación de la especie (Fig. 7A). Para la precipitación anual, mientras más altos sean los valores de las precipitaciones, se maximiza la adecuación climática de la especie (Fig. 7B). En la temperatura promedio anual, los sitios con oscilaciones mayores de 23 °C son los más favorables para la presencia de la especie, oscilaciones de 26 °C son medianamente favorables y valores inferiores a 26 °C disminuyen el índice de adecuación (Fig. 7C). Para la precipitación del mes más húmedo, mientras más altos son los valores de la variable se maximiza el índice de adecuación de la especie (Fig. 7D).

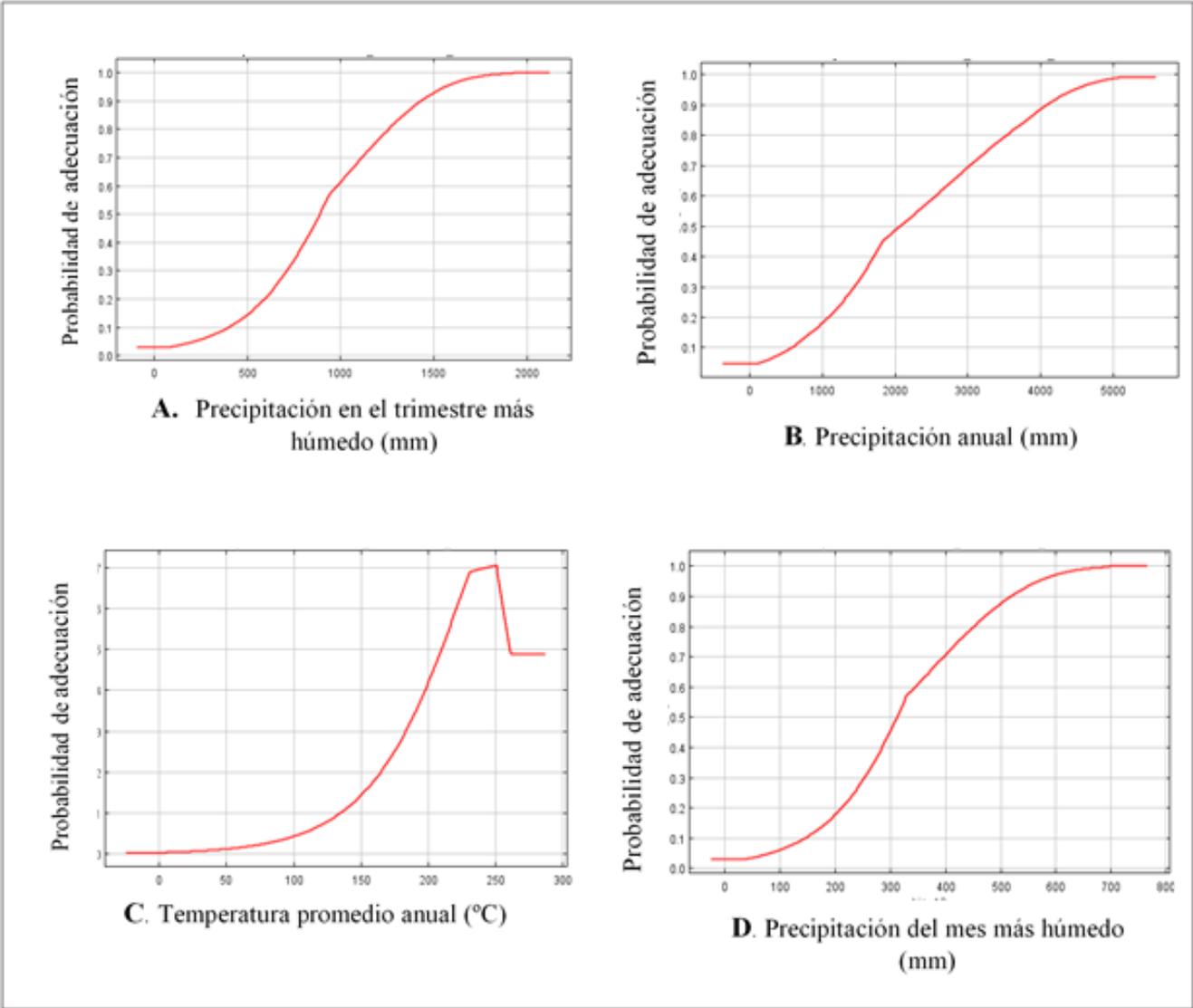


Figura 6. Variación de la adecuación climática en función de las variables de mayor importancia para el modelo de nicho climático de *Theobroma cacao* en Ecuador continental.

4.1.2.5 Modelo de nicho climático de *Theobroma cacao* en Ecuador continental en escenario presente.

Theobroma cacao tiene un área de distribución potencial de 159 202 km² con condiciones climáticas favorables para su desarrollo en Ecuador continental y 131 187 km² que no las presentan (Fig. 8A). Las zonas con condiciones adecuadas incluyen las provincias de Esmeraldas, Manabí, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, oeste de Cotopaxi, Los Ríos, Guayas, sur de El Oro, norte de Loja, Sucumbíos, Orellana, este del Napo, Pastaza y Morona Santiago. Mientras que el área con bajo índice de adecuación de la especie lo constituyen las provincias de Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, Chimborazo, este de Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Azuay y Zamora Chinchipe. *Theobroma cacao* se desarrolla y adecua en climas tropicales según el modelo de nicho climático.

Las regiones con mayor extensión de condiciones adecuadas para la presencia de la especie son la costa y la amazonia ecuatoriana (Fig. 8A). En la región amazónica, el cacao ocupa un área de 103 351 Km² de distribución potencial. Le continúa la región costa, con un área de 46 613 Km² (Fig. 8A). Ambas son zonas con climas tropicales y elevadas precipitaciones. En la costa las probabilidades más altas de presencia se registran en las provincias de Esmeraldas, oeste de Pichincha, Santo Domingo, Los Ríos, este de Manabí y este de Guayas (Fig. 8D). En la amazonia las provincias con más altas probabilidades de presencia son las provincias de Sucumbíos, Orellana, Pastaza, norte de Morona Santiago y este de Napo (Fig. 8D).

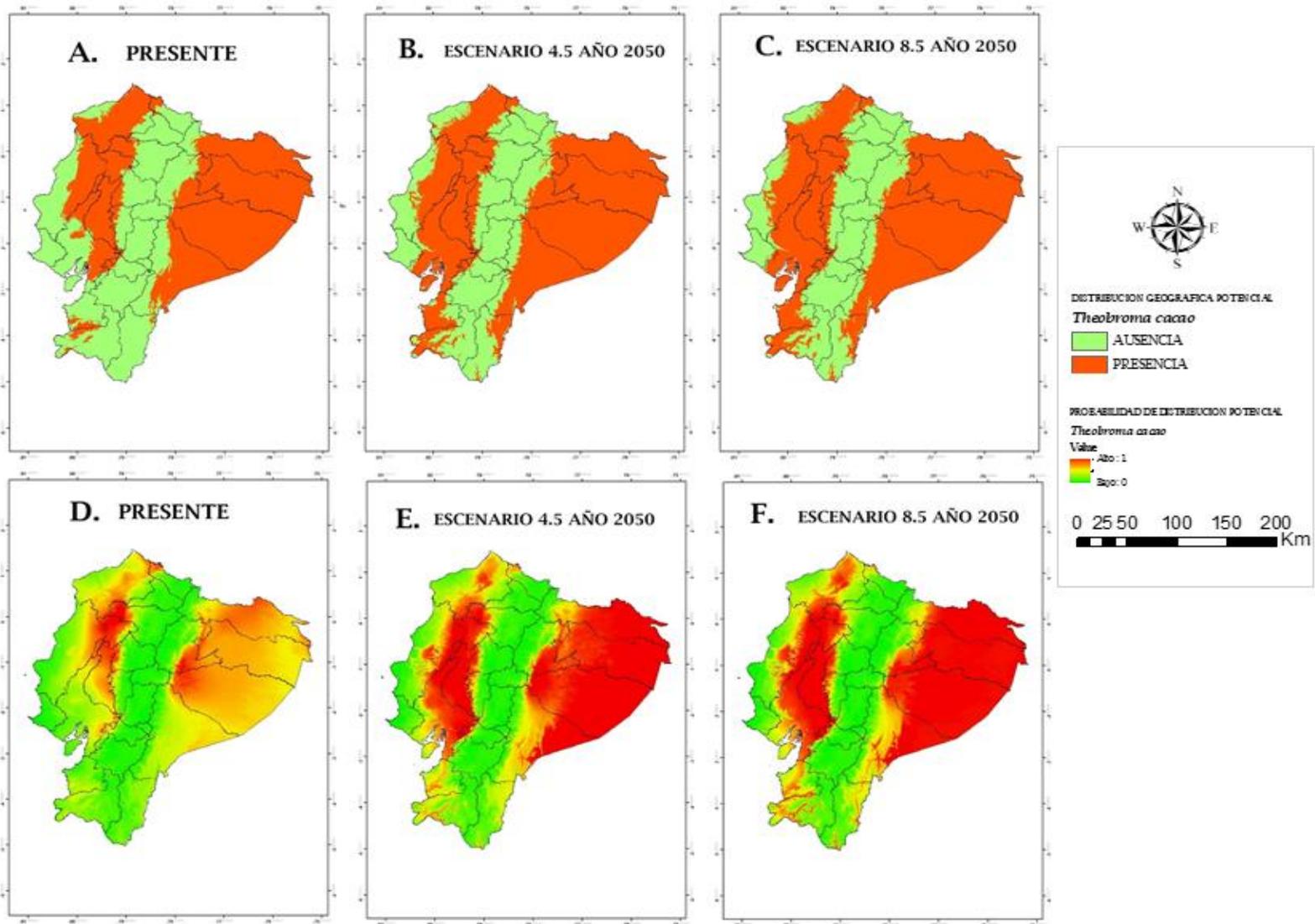


Figura 7. Distribución geográfica potencial de *Theobroma cacao* en Ecuador continental en el presente y bajo los escenarios climáticos intermedio RCP 4.5 y extremo RCP 8.5 para el año 2050.

4.2. Transferir los modelos del patógeno y del cacao a condiciones futuras de cambio climático centradas en el año 2050 y en dos trayectorias representativas de gases (RCPs).

4.2.1. Transferencia del modelo de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) a condiciones futuras en el año 2050.

Según los resultados de la modelación climática en Ecuador continental para el escenario intermedio RCP 4.5 en el año 2050, se identificó un área de 157 880 km² con condiciones climáticas favorables para la distribución potencial de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en el país (Fig. 5B). Esta área incluye las provincias de Esmeraldas, oeste del Carchi, Manabí, Santa Elena, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, oeste de Cotopaxi, Los Ríos, Guayas, El Oro, Loja, Sucumbíos, Orellana, Pastaza y Morona Santiago. El área con bajo índice de adecuación de la especie fue de 132 509 Km² y lo constituyen el este de la provincias del Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Zamora Chinchipe. En este escenario la región amazónica sería la que tendría una mayor extensión de zonas idóneas para la presencia del patógeno, con 77 875 Km². Le continúa la región costa con 58 306 Km² (Fig. 5B). Indicando el modelo que el patógeno se desarrollará y adecuara mejor en climas tropicales de la costa y amazonia ecuatoriana.

Según el modelo, en este escenario se daría una ligera disminución de la distribución potencial de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en comparación con el presente (Fig. 5B), principalmente en la región amazónica, posiblemente por la reducción en las precipitaciones entre un 2 y 10% que se pronostican y otros factores adicionales a los climáticos que podrían influenciar en la dispersión de especies.

Para el escenario climático extremo RCP 8.5, se identificó un área de 167 394 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia potencial de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) (Fig. 5C). Estas zonas incluyen las provincias de Esmeraldas, oeste del Carchi, Manabí, noreste de Santa Elena, oeste de Imbabura, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, oeste de Cotopaxi, Los Ríos, oeste de Bolívar, Guayas, oeste de Cañar, oeste de Chimborazo, El Oro, Loja, Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe. El

área con bajo índice de adecuación de la especie fue de 122 995 Km² y la conforman el este de las provincias de Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, este de Chimborazo, este de Bolívar, este de Cañar, y este de Azuay. La región de la Amazonia sería la región con la mayor extensión de presencia del patógeno con 87 029 Km². Le continúa la región costa con 58 116 Km² en este escenario extremo (Fig. 5C). Indicando el modelo que (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) se desarrollará y adecuara bajo estas condiciones en climas tropicales de la costa y amazonia ecuatoriana en el escenario extremo.

En este escenario extremo según el modelo, se daría una ligera disminución de la distribución potencial del patógeno en comparación con el presente (Fig. 5C), principalmente en la región amazónica, lo cual podría deberse también a los descensos en las precipitaciones que se esperan para ese período y otros factores adicionales a los climáticos que pueden influir en la dispersión de especies.

Según los resultados de los modelos, en los tres escenarios climáticos escogidos (presente y dos escenarios futuros RCP 4.5 Y RCP 8.5) se mantiene constante que la región con más alta probabilidad de presencia relativa de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) es la costa, principalmente las provincias de Santo Domingo, oeste de Pichincha, Los Ríos, norte de Guayas (Fig. 5D), (Fig. 5E) y (Fig. 5F).

4.2.2. Transferencia del modelo de *Theobroma cacao* a condiciones futuras en el año 2050.

Para el año 2050 en el escenario RCP 4.5, se identificó un área de 185 020 km² con condiciones climáticas favorables para la distribución potencial de *T. cacao* y de 105 369 km² de condiciones no adecuadas (Fig. 8B). Las zonas adecuadas incluyen las provincias de Esmeraldas, este del Carchi, Manabí, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, oeste de Cotopaxi, Los Ríos, Guayas, El Oro, oeste de Loja, Sucumbíos, Orellana, este del Napo, Pastaza, oeste de Tungurahua, Morona Santiago y Zamora Chinchipe. Las áreas con bajo índice de adecuación de la especie son las provincias de Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, Chimborazo, este de Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Azuay y Zamora Chinchipe. Bajo este escenario, la especie seguirá adecuándose mejor en climas tropicales. En la región de la amazonia hay mayor cantidad de territorios con condiciones adecuadas para la presencia del cacao, con un área total de 111 319 Km². La región de la costa es la que le continúa con un área de 59 606 Km². Ambas regiones se caracterizan por su clima tropical y las altas precipitaciones.

En este escenario intermedio RCP 4.5 según el modelo, se daría un ligero incremento en la distribución potencial del cacao en comparación con el presente, esto podría deberse a que el cacao es uno de los cultivos más representativos del país, e impulsor económico.

Para el escenario climático 8.5 en el año 2050, se identificó un área de 188 635 km² con condiciones climáticas favorables para la distribución potencial de *T. cacao* y 101 754 km² de condiciones no adecuadas (Fig. 8C). Las zonas adecuadas incluyen el oeste de la provincia del Carchi, Esmeraldas, Manabí, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, oeste de Cotopaxi, Los Ríos, Guayas, El Oro, oeste de Loja, Sucumbíos, Orellana, este del Napo, Pastaza y Morona Santiago. Las áreas con bajo índice de adecuación están representadas por las provincias de Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, Chimborazo, este de Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Azuay y este de Zamora Chinchipe. La región de la amazonia tendrá una mayor cantidad de áreas con probabilidad de distribución del cacao, con un área de 111 037 Km², le continúa la región costa con un área de 62 961 Km². Para este escenario, *T. cacao* seguiría desarrollándose mejor en áreas con clima tropical

Según el modelo, en este escenario extremo RCP 8.5, se daría un ligero incremento en la distribución potencial del cacao en comparación con el presente, esto podría deberse a que el cacao es uno de los cultivos más representativos del país, e impulsor económico.

Las probabilidades más altas de distribución potencial son la región costa y amazónica en los tres escenarios climáticos. En la región costa las provincias Pichincha (oeste), Santo Domingo, oeste de Manabí, Los Ríos, Guayas y en la región amazónica las provincias de: Sucumbíos, Orellana, Pastaza, oeste de Morona Santiago, son las mejor representadas. Puesto que, en estas regiones la precipitación y temperatura son similares, y representan condiciones más adecuadas para el cultivo de cacao (Fig. 8D), (Fig. 8E), (Fig. 8F).

4.3. Identificar las zonas susceptibles a la invasión del fitopatógeno y a la coexistencia con el cacao (*Theobroma cacao*).

Según el resultado obtenido de la superposición de los dos modelos de nicho climático para (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y (*Theobroma cacao*) en Ecuador continental para el presente, se identificó un área de 157 114 km² con condiciones climáticas favorables para la coexistencia de ambas especies (Fig. 9A). Estas áreas representan zonas de riesgo para el cultivo de cacao por la posible invasión del fitopatógeno. Las zonas con condiciones climáticas favorables para la coexistencia hongo-cacao son: oeste de la provincia del Carchi, Esmeraldas, este de Manabí, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, oeste de Cotopaxi, Los Ríos, oeste de la provincia de Bolívar, norte y oeste de Guayas, este de la provincia de El Oro, oeste de Loja, Sucumbíos, Orellana, este del Napo, Pastaza y Morona Santiago (Fig. 9A). Las áreas donde no coexisten estas especies incluyen áreas donde está potencialmente presente solo una de estas dos especies y aquellas donde no está presente ninguna y están representadas en su mayoría por las provincias de Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, Chimborazo, este de Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Azuay y este de Zamora Chinchipe. A nivel de regiones, la que tiene mayor riesgo de invasión del fitopatógeno en sitios con presencia de cacao es la amazonia, con 101 395 Km² de área de coexistencia. Le continúa la región costa con 46 520 Km² y la sierra con 9 145 Km² (Fig. 9A).

Para el escenario climático intermedio RCP 4.5 en el año 2050, se identificó un área de 137 028 km² con condiciones climáticas favorables para la coexistencia de estas dos especies (Fig. 9B). Las zonas con condiciones climáticas favorables para la coexistencia son: oeste de la provincia del Carchi, Esmeraldas, este de Manabí, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, oeste de Cotopaxi, Los Ríos, oeste de la provincia de Bolívar, norte y oeste de Guayas, este de la provincia de El Oro, oeste de Loja, Sucumbíos, Orellana, este del Napo, Pastaza y Morona Santiago. Mientras que las áreas donde no coexistirían están representadas por las provincias de Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, Chimborazo, este de Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Azuay y este de Zamora Chinchipe. Las regiones con mayor cantidad de territorio donde se daría la coexistencia de estas especies serían la amazonia, con 76 224 Km², le continúa la costa con 47 271 Km² y la sierra con 13 486 Km² (Fig. 9B).

Para el escenario climático extremo RCP 8.5 en el año 2050, se identificó un área de 148 379 km² con condiciones climáticas favorables para la coexistencia (Fig. 9C). Las zonas con condiciones climáticas favorables para la coexistencia de estas especies son: oeste de la provincia del Carchi, Esmeraldas, este de Manabí, oeste de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, oeste de Cotopaxi, Los Ríos, oeste de la provincia de Bolívar, norte y oeste de Guayas, este de la provincia de El Oro, oeste de Loja, Sucumbíos, Orellana, este del Napo, Pastaza y Morona Santiago. El área donde no coexistirían estas especies están representada por las provincias de Carchi, Imbabura, el este de Pichincha, zona oeste del Napo, Tungurahua, Chimborazo, este de Cotopaxi, Bolívar, Cañar, Azuay y este de Zamora Chinchipe (Fig. 9C). A nivel de regiones, en la amazonia hay mayor zonas idóneas de coexistencia de estas especies, con 85 593 Km², seguido por la costa con 48 922 Km² y por último la sierra con 13 814 Km² (Fig. 9C).

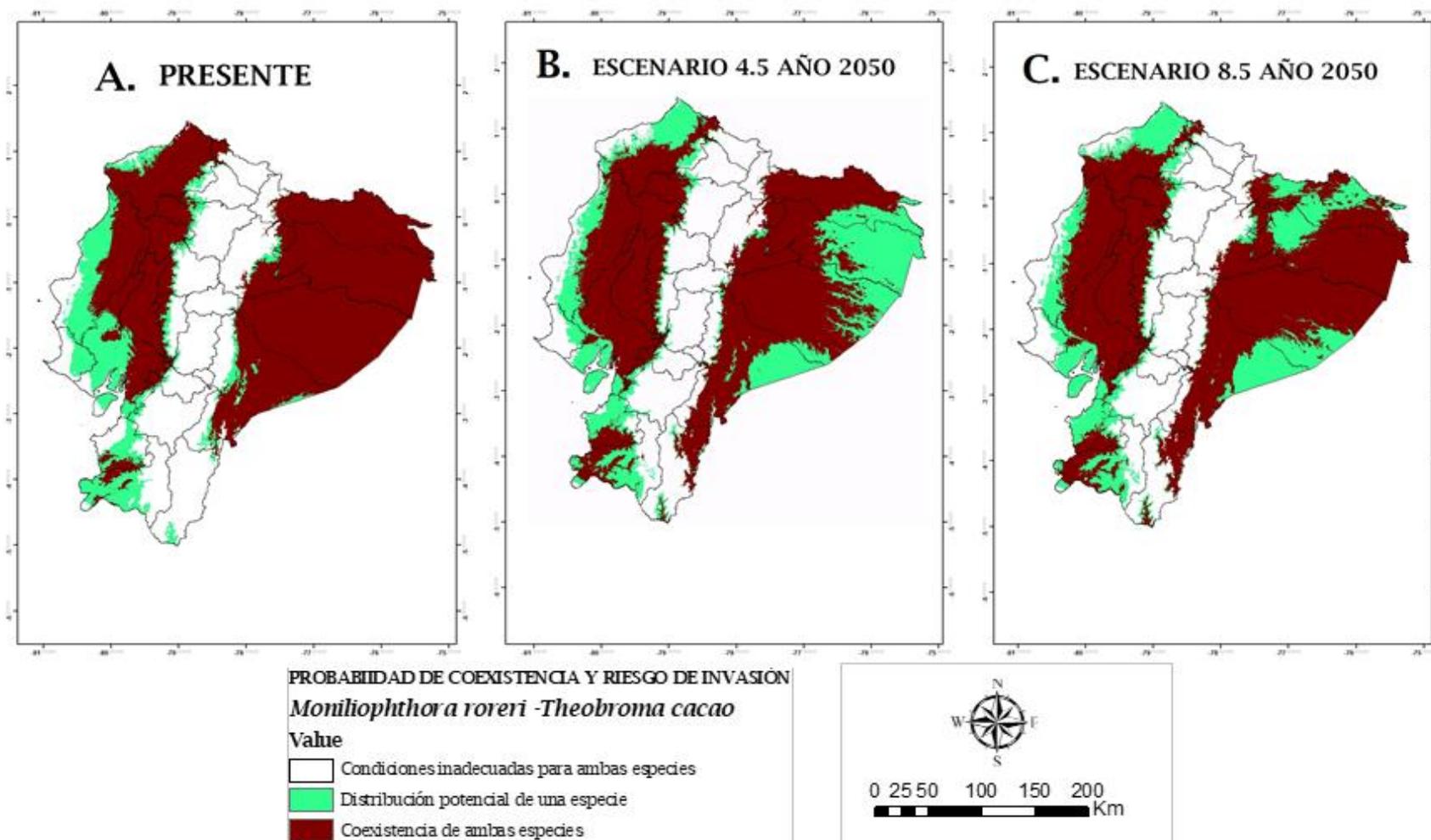


Figura 9. Zonas susceptibles a la invasión del fitopatógeno (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y a la coexistencia con *Theobroma cacao* en Ecuador continental en el presente y bajo los escenarios climáticos intermedio RCP 4.5 y extremo RCP 8.5 para el año 2050.

4.4. Discusión.

Este estudio es el primero en determinar y comparar el nicho climático y la distribución potencial del fitopatógeno y del cultivo de cacao en Ecuador continental. La distribución potencial actual de (*Theobroma cacao*) y (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) abarca en su mayoría la región costa y amazonia de Ecuador. Ambas regiones presentan condiciones climáticas similares en lo que refiere a precipitación y temperatura, variables bioclimáticas de mayor relevancia en la distribución geográfica potencial de estas especies, según el modelo de nicho climático obtenido y otros estudios (75), (76). La costa y amazonia ecuatoriana son regiones cálidas y húmedas, que presentan temperaturas promedios entre 22 °C a 26 °C y precipitaciones entre 3000 mm – 4000 mm anuales (80), idóneas para la presencia del cacao y del fitopatógeno. Este clima es ideal para que el cultivo de cacao se adecue perfectamente, ya que este se desarrolla en regiones calientes muy húmedas, donde las lluvias son regulares y las temperaturas oscilan entre 25 °C y 30 °C (76), (81). Estas condiciones abióticas son típicas de las regiones tropicales húmedas de los bosques del Amazonas, que constituyen el centro de origen del cacao (82).

Las variables que más contribuyeron al modelo de nicho climático del cacao, indican que su probabilidad de ocurrencia es mayor en zonas con altas precipitaciones, con valores superiores a 1500 mm y con temperaturas entre 23 °C y 25 °C, lo cual coincide con los datos ecológicos reportados para la especie (46, 49). La temperatura óptima para el desarrollo del cacao, ya que favorece la floración y fructificación del cultivo, es 25 °C (49). En el caso de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), las variables que más aportaron al modelo también coincidieron con los aspectos descritos sobre su ecología (52, 75, 83). La distribución potencial de este fitopatógeno se vio favorecida en aquellas áreas donde hay mayor incidencia de las precipitaciones, y se ha documentado que en lugares con lluvias frecuentes e intensas su incidencia es mayor (80% infección) que en sitios secos (52, 75, 83).

Las zonas con mayor distribución potencial de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) coinciden con las zonas productoras de cacao en Ecuador, lo cual se debe a la fuerte relación entre el patógeno y este cultivo por sus similitudes en los requerimientos bioclimáticos para su establecimiento. Este hongo se ha especializado en atacar el cultivo de cacao a lo largo de cientos de años (75). En Ecuador, las regiones donde hay mayor probabilidad para su desarrollo

(costa y amazonia) mantienen rangos de precipitación de hasta 4000 mm anuales (80), siendo zonas de lluvias recurrentes y consideradas adecuadas para la presencia del hongo, puesto que estas condiciones de humedad facilitan la germinación de sus esporas (84). El agua es el principal componente y a veces el único sustrato necesario para iniciar la germinación de las esporas de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), favoreciendo el desarrollo de la enfermedad en el cultivo de cacao (85). La temperatura también es un factor importante para el desarrollo de este fitopatógeno, el cual puede crecer y desarrollarse entre los 18 °C y 30 °C y sus esporas pueden germinar entre 10 °C y 40 °C (6). Estos rangos óptimos para la presencia de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) evidencian que las regiones cálidas y con alta humedad favorecen una incidencia superior (86). La frecuencia de las precipitaciones y la humedad relativa del ambiente durante varias épocas del año, son factores importantes en el inicio de infecciones sucesivas (87).

El modelo predice para *T. cacao* un ligero aumento de condiciones idóneas ante escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 en el año 2050, con respecto al presente. Esto puede ser algo muy favorable para los productores de cacao en Ecuador, ya que este cultivo es uno de los más importantes del país (3). De favorecerse las condiciones climáticas en un futuro cercano, es muy probable que se incrementen las áreas de cultivo de cacao por su importancia económica y cultural, y que nuevos sitios brinden las condiciones agroecológicas necesarias para establecer plantaciones.

A la par de esta situación, resulta alentador que para (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) el modelo predice una ligera reducción del área considerada idónea en los dos escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 respecto al presente. Esta reducción se presentaría principalmente en la región amazónica. Y podría deberse al déficit de precipitaciones en algunas zonas producto del calentamiento global (88). Según proyecciones para Ecuador (89), en la amazonia oriental se prevé reducciones en las precipitaciones de aproximadamente 2-10% bajo un escenario RCP 4.5 y RCP 8.5 para el año 2050. Las precipitaciones son fundamentales para el desarrollo de este patógeno y una reducción de las mismas implicaría modificaciones serias en su hábitat idóneo (75, 76). Estos resultados coinciden con la investigación realizada por Ortega et al (75) en relación a la posible expansión de este hongo en América, en la cual se evidenciaron contracciones de zonas idóneas para este fitopatógeno en la amazonia ecuatoriana para el año

2050. Sin embargo, se prevé que en un futuro (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) se desplace a nuevas regiones donde actualmente no se encuentra, como algunas zonas de países como Brasil y Perú (75).

Al tener similitud en las condiciones ambientales necesarias para su desarrollo, era de esperar que las zonas susceptibles a la invasión del hongo y de coexistencia con el cacao coincidirían, y para el presente se localizan en la región costa y amazonia ecuatoriana. La distribución de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) está estrechamente ligada al cacao y se limita en gran medida a las zonas donde este se cultiva (90). Para los escenarios climáticos seleccionados esta situación se mantiene y las zonas de coexistencia siguen siendo en las mismas regiones tropicales donde hay plantaciones de cacao actualmente. Estas zonas en un futuro mantendrán altas temperaturas y humedad, que favorecen el desarrollo de plantaciones cacaoteras y la proliferación del fitopatógeno (91, 92). Otros factores a tener en cuenta, que determinan que la invasión de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) pueda llegar a niveles incontrolables son: su alta adaptación a los cultivos de *T. cacao*, la resistencia a ambientes cambiantes y las actividades humanas (75).

A la hora de tomar medidas de prevención y control de este fitopatógeno en Ecuador, tanto en la actualidad como para escenarios futuros, se deben tener en cuenta todos los factores importantes que favorecen su diseminación, no solo los climáticos. Es evidente que existen las condiciones adecuadas para que el riesgo de infestación del cacao en Ecuador por (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) prolifere y se mantenga en un futuro. Sin embargo, teniendo en cuenta las evidencias de los sitios de coexistencia, se pueden desarrollar planes de control eficientes en las mismas. Además, al conocer las áreas donde potencialmente (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) perdería hábitats con condiciones óptimas para su desarrollo, se podría establecer en estas plantaciones de cacao menos vulnerables a su ataque y llevar a cabo acciones que permitan mantener los cultivos libre del hongo como por ejemplo: evitar el traslado de material de cacao desde lugares donde se ha detectado la monilia. La información ya está disponible, solo resta contribuir con su divulgación y que los tomadores de decisiones dentro del sector agrícola sepan aprovecharla de manera eficiente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Los nichos climáticos modelados para las especies (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) y (*Theobroma cacao*) en Ecuador continental para el escenario presente, escenario intermedio RCP 4.5, y escenario extremo RCP 8.5 tuvieron un buen desempeño. Para el fitopatógeno el modelo obtuvo un valor del AUC=0.820 y para el cacao un AUC= 0.779, lo que significa que los modelos realizados predicen mejor que un modelo al azar. Las variables climáticas son buenos predictores y guardan una estrecha relación con la distribución potencial de estas especies.
- El nicho climático de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) está fuertemente relacionado al nicho climático del cacao, por lo tanto, la distribución geográfica potencial de este patógeno dependerá directamente de este cultivo. La precipitación del mes más húmedo y la temperatura mínima del mes más frío son las variables que más influyen sobre la distribución potencial de patógeno, mientras que para el cacao la más importante es la precipitación del trimestre más húmedo.
- Para el presente y bajo escenarios climáticos RCP 4.5, RCP 8.5 al año 2050, las zonas con condiciones climáticas más idóneas para el desarrollo de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) están en las regiones costa y amazonia. En los dos escenarios futuros, la distribución potencial de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) disminuirá ligeramente en comparación con el escenario actual, lo cual podría deberse a las disminuciones en las precipitaciones que se proyectan para Ecuador, principalmente en la amazonia oriental.
- Para *Theobroma cacao*, la costa y la amazonia son las regiones con condiciones ambientales más adecuadas para su desarrollo, tanto en el escenario actual como en los dos escenarios climáticos futuros RCP 4.5 y RCP 8.5. Bajo estos dos escenarios, el cacao tendría un ligero aumento en las áreas con condiciones adecuadas para su distribución potencial, en comparación con el escenario actual, principalmente en la región costa del país. Las regiones costa y amazonia se caracterizan por tener condiciones ambientales cálidas y húmedas, las cuales se asocian directamente con los requerimientos ecológicos de ambas especies.
- Las zonas con riesgo de invasión del hongo, en donde coexiste con el cacao, son la costa y la amazonia, tanto para el escenario actual como los dos escenarios futuros. Estas áreas son

prioritarias para la prevención, alerta y control de (*Moniliophthora roreri* Cif & Par) en Ecuador, para así poder garantizar la conservación de este cultivo y la seguridad alimentaria del país.

5.2. Recomendaciones.

- Tener claridad sobre los escenarios climáticos RCP, puesto que no son escenarios estáticos, estos escenarios han sido diseñados por el IPCC para ofrecernos una amplia gama de posibles resultados en un futuro cambiante. Por ello se recomienda no tratar a los escenarios climáticos como definitivos.
- Según los resultados obtenidos en el modelo del fitopatógeno, es claro el riesgo de invasión que presentan los cultivos de cacao en el país, por ello se recomienda establecer medidas de control, monitoreo y detección precoz de la monilia, principalmente en la región costa y amazonia, debido a que son las que tienen mayor idoneidad para la coexistencia patógeno/cacao.
- Se recomienda crear una base de datos con registros actualizados del cacao y (*Moniliophthora roreri* Cif & Par), con la finalidad de conocer con más detalle sus áreas de presencia y en el caso del patógeno poder definir las áreas afectadas. De esta manera se facilitarían los estudios futuros enfocados en actualizar las áreas de distribución potencial y de invasión.
- Al ser un estudio novedoso en el Ecuador, se recomienda considerar la información proporcionada en esta investigación para incentivar iniciativas de alerta temprana, prevención, conservación de la biodiversidad y ordenamiento territorial, en relación con cultivos agrícolas.
- Desarrollar estudios de modelamiento de nicho ecológico de especies que afecten la agricultura para predecir su riesgo de invasión y su distribución potencial en escenarios climáticos futuros establecidos por el IPCC.
- Gestionar alianzas de cooperación entre universidades y el Ministerio de Agricultura para establecer planes de erradicación de este patógeno, que amenaza la seguridad alimentaria del país.

BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía.

1. ICCO. Reporte anual de estadística del cacao. [Online].; 2016. Disponible en: <https://www.icco.org/>.
2. Arvelo MA, Delgado T, Maroto S, Rivera J, Higuera I, Navarro A. Estado actual sobre la producción y el comercio de cacao en América. San José;; 2016.
3. ANECACAO. Sector Exportador de Cacao. Ecuador;; 2019.
4. Evans HC. Cacao diseases - The trilogy revisited. *Phytopathology*. 2007;; p. 97: 1640-1643.
5. Phillips-Mora W, Ortiz MC. Fifty years of frosty pod rot in Central America: Chronology of its spread and impact from Panama to Mexico. In Proceedings of the 15th International Cocoa Research Conference, San José, Costa Rica. San José, Costa Rica;; 2007.
6. Phillips-Mora W. Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao fungus *Moniliophthora roreri* as determined using molecular, phytopathological and morpho-physiological evidence [dissertation]. Reino Unido: Universities in the United Kingdom; 2003.
7. ANECACAO. Manual de cultivo de cacao. Ecuador;; 2006.
8. Ampuero C. *Moniliophthora roreri* pod rot of cocoa. *Cocoa Grower's Bull*. 1967;; p. 9:15–17.
9. Altieri MA, Nicholls CI. The adaptation and mitigation potential of traditional. *Climatic Change*. 2013;; p. 13.
10. Peterson T, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer ,E, Nakamura M, et al. *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)* EE.UU.: Princeton University Press; 2011.

11. Ramírez SI. La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en Marcha*. 2007;; p. P. 97-110.
12. Bailey BA, Evans HC, Phillips-Mora W, Ali SS, Meinhard LW. *Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot. *Molecular Plant Pathology*. 2017;; p. 19(7): 1580-1594.
13. ANECACAO. ANECACAO. [Online].; 2020. Disponible en: <http://www.anecacao.com/index.php/es/noticias/la-exportacion-de-cacao-cayo-14-por-plagas.html>.
14. IPCC. Glosario. En: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I*. Reino Unido: Cambridge University ; 2013.
15. IPCC. *CAMBIO CLIMÁTICO 2014 - Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climát.* Ginebra (Suiza): Organización Meteorológica Mundial, PNUMA; 2014.
16. IDEAM. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [Online].; 2014 [cited 2021. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>.
17. IPCC. Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.: Cambridge University Press; 2013.
18. IPCC. *El IPCC y el Sexto Ciclo de Evaluación*. Ginebra - Suiza.; 2017.
19. Moss R, otros y. *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies..* Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático; 2008.

20. Martínez N. Apuntes sobre Modelación de Nicho Ecológico. In: Ecological Niches. [Online]. EE.UU; 2003. Disponible en: http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/Blog/Documentos_blog/apunte.
21. Vargas M. Desarrollo de un prototipo para la generación de mapas de distribución potencial de especies de seres vivos mediante el uso de sistemas de información geográfica y técnicas de minería de datos; 2005.
22. Hutchinson GE. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. ; 1957.
23. Soberón J, Osorio-Olvera L, Peterson T. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 2017;; p. 437 - 441.
24. Soberón J, Peterson A. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2005; 2(1-10).
25. McGill B, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M. Rebuilding community ecology from functional traits. ; 2006.
26. Svenning JC, Skov F. Limited filling of the potential range in European tree species. *Ecology Letters*. 2004;; p. 7: 565–573.
27. Hortal J, Lobo M, Jiménez-Valverde. Basic Questions in Biogeography and the (Lack of) Simplicity of Species Distributions: Putting Species Distribution Models in the Right Place. *Natureza & Conservacao*. 2012;; p. 10(2):108-118.
28. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary.. *Paleobiology*. 2000; 26(Supl.), 194–220.
29. Soberon J, Nakamura M. Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. National Academy of Sciences, Biodiversity Institute, University of Kansas; 2009.

30. OSINFOR. MODELAMIENTO espacial de NICHOS ECOLÓGICOS para la evaluación de presencia de ESPECIES FORESTALES MADERABLES en la AMAZONÍA PERUANA. Perú; 2013.
31. Colwell RK, Rangel TF. Hutchinson's duality: The once and future niche. USA; 2009.
32. Cabana Otero M. Informe sobre el Modelado de la Distribución Potencial de las Especies. Informe de Proyecto. España: Universidad de A Coruña; 2000.
33. Yáñez-Cajo D, Moreno M, Chaguamate L, Valencia N, Rueda - Ayala V. Aplicación de Modelos de Nicho Ecológico para estudios Epidemiológicos: *Triatoma dimidiata*, vector de la Enfermedad de Chagas en Ecuador. Revista Politécnica. 2016;: p. Quito - Ecuador.
34. Phillips SJ, Anderson P, Schapire E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling. 2006;: p. Pages 231-259.
35. Ibarra-Díaz I, Lebgue-Keleng T, Viramontes-Olivas O, Reyes-Cortes I, Ortega-Gutierrez JA, Morales-Nieto C. MODELO DE NICHOS FUNDAMENTAL PARA *Coryphantha chihuahuensis* (CACTACEAE) EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO. Ecología Aplicada. 2016;: p. 7.
36. GBIF. [Documento].; 2020 [cited 2021. Disponible en: <https://www.gbif.es/wp-content/uploads/2016/03/sesion2.pdf>.
37. Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudík M, Ferrier S, Antoine G, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography. 2006.
38. MEDCALC. MEDCALC. [Online].; 2018. Disponible en: <https://www.medcalc.org/manual/roc-curves.php>.
39. Sastre Olmos P. Sistemas de Información Geográfica (SIG). Técnicas básicas para estudios de biodiversidad. Instituto Geológico y Minero de España. España; 2010.

40. Marini MA, Barbet-Massin M, Lopes LE, Jiguet F. Predicting the occurrence of rare Brazilian birds with species distribution models. *Journal of Ornithology*. 2010;(151: 857-866).
41. Davies RG, Orme CD, Storch D, Olson VA, Thomas GH, Ross SG, et al. Topography, energy and the global distribution of bird species richness. *Proceedings of the Royal Society B*. 2007; 274(1189-1197.).
42. Fischer J, Lindenmayer DB, Nix HA, Stein JL, Stein JA. Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography*. 2001; 28(293-304).
43. CONABIO. CONABIO. [Online].; 2014 [cited 2017. Disponible en: <http://nicho.conabio.gob.mx/>].
44. Hijmans RJ, Cameron S, Parra J, Jones P, Jarvis A, Richardson K. World-Clim. [Online].; 2006 [cited 2017. Disponible en: <http://www.worldclim.org/>].
45. Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 2005;; p. 25: 1965-1978.
46. Ogata N. Comisión Nacional Para El Conocimiento y uso de la Biodiversidad. *El Cacao. Biodiversitas*. 2007;; p. 72:1-5.
47. croplifela. croplifela.org. [Online].; 2018 [cited 2021 abril. Disponible en: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/moniliasis-del-cacao>].
48. ANACAFÉ. Cultivo de cacao - Programa de Diversificación de Ingresos en la Empresa Cafetalera. Asociación Nacional del Café; 2004.
49. CORPEI. Solicitud de Protección de la Denominación de Origen “Cacao Arriba”. MIC, ONUDI, Cacao, Estudio Agroindustrial en el Ecuador. Ecuador;; 2007.

50. Suarez LY, Rangel A. Aislamiento de microorganismos para control biológico de *Moniliophthora roreri*. Scielo. 2013;; p. pp.370-378.
51. Soria J. Breve Historia del Cultivo del. [Online].; 2000. Disponible en: <http://www.sica.gov.ec>
52. Evans H. Pot rot of cacao caused by *Moniliophthora*. *Phytopathological Papers*. 1981;(24:44.).
53. Evans. On the taxonomy of *Monilia roreri*, an important pathogen of *Theobroma cacao* in South America. *Canadian Journal of Botany*. 1978.
54. Fitiología de la moniliasis del cacao y su relación con la producción del árbol en la zona de Matina. Tesis de grado. Costa Rica: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL - CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, Facultad de Agronomía; 1982.
55. FEDECACAO. FEDECACAO. [Online].; 2006. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co>.
56. SENASA. Servicio Nacional de Sanidad Agraria. [Online].; 2003. Disponible en: <http://www.senasa.gob.pe>.
57. El Universo. [Online].; 2009. Disponible en: <http://www.eluniverso.com>.
58. Enríquez G. Curso sobre el cultivo del cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.. Turrialba;; 1986.
59. Cedeño Olmedo MR. “USO DEL MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS PARA EVALUAR LAS AFECTACIONES DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS SOBRE ECOSISTEMAS DE ECUADOR CONTINENTAL, AÑO 2018”. Tesis. Quevedo - Los Ríos - Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Ambientales; 2018.

60. Quesada-Quirós M, Acosta-Vargas LG, Arias-Aguilar D, Rodríguez-González A. Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana KURU*. 2016 Septiembre;(12).
61. Olga Borja M. Modelamiento de nicho ecológico de las ranas de cristal [Amphibia: Anura: Centrolenidae] del Ecuador a partir de registros de museología: predicción del área de ocupación y evaluación en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. TESIS. Quito - Ecuador: Universidad San Francisco de Quito; 2009.
62. Ayala M , Navia D. Manejo Integrado de la Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) mediante uso de fungicidas, cominado con labores culturales. Artículo. ESPOL; 2010.
63. Anzules Toala V, Borjas Ventura R, Alvarado Huamán L, Castro-Cepero V, Julca-Otiniano A. Control cultural, biológico y químico de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora* spp en *Theobroma cacao* ‘CCN-51’. *Scientia Agropecuaria*. 2019 Noviembre; 10(4)(511 – 520 (2019)).
64. Paredes Solís MO. “EL MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DE CACAO NACIONAL (*Theobroma cacao* L.) Y EL RENDIMIENTO DEL MISMO, EN LA ASOCIACIÓN KALLARI”. AMBATO: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS; 2015.
65. Reyes-Figueroa O, Ortiz-García CF, Torres-de la Cruz M, Lagunes-Espinoza LdC, Valdovinos-Ponce G. *Trichoderma* species from the cacao agroecosystem with biocontrol potential of *Moniliophthora roreri*. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 2016;(149-163.).
66. GONZÁLEZ LOPEZ GC. ALTERNATIVAS ORGÁNICAS PARA EL CONTROL DE MONILIASIS (*MONILIOPHTHORA RORERI*, CIF Y PAR) EN EL CULTIVO DE CACAO. Machala: Universidad Tècnica de Machala, UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS; 2018.

67. Zapata.Caldas E, Jarvis A, Ramirez J, Lau C. Potenciales impactos del Cambio Climático en Cultivos Andinos. Serie Panorama Andino sobre Cambio Climático. CONDESAN, SGCAN ed. Lima-Quito.; 2011.
68. Albiño Cargua JI. Influencia del cambio climático en la producción de los cultivos de cacao en el cantón Shushufindi. Tesis de Maestría. Quito, Ecuador: Universidad Andina Simón Bolívar, sede Ecuador, Área de Gestión; 2019.
69. YANAPUNA. yanapumaspanish. [Online].; 2012 [cited 2021 Abril 3. Disponible en: <https://www.yanapumaspanish.org/Basicos/16%20Lectura%20ser%20y%20estar.pdf>.
70. CIDEIBER. Centro de Información y Documentación Empresarial. [Online].; (1999. Disponible en: (<https://goo.gl/eCgTcU>) (18/05/2009)..
71. GBIFT. Global Biodiversity Information Facility. [Online].; 2018 [cited 2020 Febrero. Disponible en: https://www.gbif.org/occurrence/search?taxon_key=2538068.
72. Osorio-Olvera L, Lira-Noriega A, Soberón J, Townsend Peterson A, Falconi M, Contreras-Díaz RG, et al. ntbox: an R package with graphical user interface for modeling and evaluating multidimensional ecological niches. *Methods Ecol Evol.* 11, 1199–1206. [Online].; 2020 [cited 2020 Febrero. Disponible en: <http://shiny.conabio.gob.mx:3838/nichetoolb2/>.
73. Fick , Hijmans. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315. [Online].; 2017 [cited 2020 Febrero. Disponible en: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>.
74. Alkische AA, Peterson AT, Samy AM. Climate change influences on the potential geographic distribution of the disease vector tick *Ixodes ricinus*. *PloS one.* 2017; 12(12).
75. Ortega Andrade S, Páez GT, Feria TP, Muñoz J. El cambio climático y el riesgo de propagación del hongo por la alta mortalidad de *Theobromacacao* en América Latina. *Neotropical Biodiversity.* 2017. Junio;(2376-6808).

76. Másmela-Mendoza JE. Distribución potencial y nicho fundamental de *Moniliophthora* spp en cacao de América y África. redalyc. 2019 Marzo.
77. van Vuuren DP, Edmonds, J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, et al. The representative concentration pathways: an overview. *Clim. Change.* 2011; 109(5–31).
78. Lipper L, et al. Climate-smart agriculture for food security. *B. Nat. Clim.* 2014; 4(1068–1072).
79. Liu C, White M, Newell G. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography.* 2005; (Cop.)(28, 385–393).
80. Portilla Farfán F. Agroclimatología del Ecuador Quito-Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala ; 2018.
81. Meléndez-Marín L. Microambiente, cantidad de esporas en el aire e incidencia del hongo *Moniliophthora roreri* (Cif & Par.) Evans et al., bajo tres sistemas de manejo de sombra leguminosa en cacao (*Theobroma cacao*). Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE); 1993.
82. Motamayor JC, Lachenaud P, da Silva e Mota JW, Looor R, Kuhn DN, Brown, S, et al. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS One.* 2008 Octubre; 3(10).
83. Wood G, Lass R. *Cocoa*; 1985.
84. Campuzano H. La moniliasis del cacao. *Cacaotero Colombiano.* 1980;(No.13 pp.21-24 ref.7).
85. Evans H. Invasive neotropical pathogens of tree crops. *Tropical mycology: Micromycetes.* 2002;(p. 83–112.).
86. Cubillos G. rosty pod rot, disease that affects the cocoa (*Theobroma cacao*) crops in Colombia. 2017.

87. Jaimes Y, Aranzazu F. Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Colombia: Corpoica; 2010.
88. IPCC. Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico, Preguntas frecuentes. Informe especial. Intergovernmental Panel on Climate Change; 2019.
89. ARMENTA PORRAS GE, VILLA CEDEÑO L, JÁCOME P. PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. Ecuador; 2016.
90. Ram A. Biology, epidemiology and control of moniliasis (*Moniliophthora roreri*) [dissertation]. University of London; 1989.
91. Glottieb. The physiology of spore germination in fungi. *Bot Rev.* 1950;(229–257.).
92. Thuiller W, Richardson D, Pysek P, al e. Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Glob Change Biol.* 2005;(2234–2250.).
93. ANECACAO. Anecacao. [Online].; 2015 [cited 2020. Disponible en: <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/cacao-nacional.html>.
94. Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E, Nakamura M, et al. *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)* Estados Unidos de América: Princeton University Press.; 2011.
95. Osorio-Olvera L. NicheToolBox R package. [Online].; 2016. Disponible en: <https://github.com/luismurao/nichetoolbox>.
96. Martínez N. Apuntes sobre modelación de nichos ecológicos. [Online].; 2010. Disponible en: www.laboratoriomolecular.org.
97. Austin M. *Spatial prediction of species distribution : an interface between USA*; 2002.
98. Leguía E, Soudre M, Rugnitz M. Predicción y evaluación del impacto del cambio climático sobre los sistemas agroforestales en la amazonia peruana y andina ecuatoriana. ; 2010.

99. Marmion M, Parviainen M, Luoto M, Heikkinen RK, Thuiller W. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Divers. Distrib.* 2009; 15(59–69).
100. Ranjitkar S, Maiya , Lu Y, Wang Q, Wang M, He J, et al. Climate modelling for agroforestry species selection in Yunnan Province, China. *Environmental Modelling & Software.* 2016; 75(263 - 272).
101. Naciones Unidas. CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. Naciones Unidas; 1992.
102. Chamorro Oña MD. EVALUACIÓN DE PROGRAMAS FITOSANITARIOS JUNTO A UNA PRÁCTICA CULTURAL PARA EL CONTROL DE *Moniliophthora roreri* EN CACAO (*Theobroma cacao*). Tesis. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador, FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS; 2018.
103. Hijmans R, Cameron S, Parra J. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY.* 2005 Septiembre; 25(15).
104. Hamrick JL. Response of forest trees to global environmental changes. *Forest Ecology and Management.* 2004; 197 (2004)(323–335).
105. Martínez-Meyer E. Climate change and biodiversity: Some considerations in forecasting shifts in species potential distributions. 2005; 2(45- 55).
106. Sáenz-Romero C, Rehfeldt GE, Duval P, Lindig-Cisneros RA. *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management.* 2012; 275(98 - 106).
107. Jeschke JM, Strayer DL. Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species. *Annals of the New York Academy of Sciences.* 2008; 1134(1)(1-24).
108. Lippi C, Stewart-Ibarra AM, Bajaan Loo F, Dueñas Zambrano JE, Espinoza López NA, Blackburn JK, et al. Cambios geográficos en la idoneidad del hábitat de *Aedes aegypti* en

Ecuador mediante el uso de datos de vigilancia de larvas y modelos de nichos ecológicos: implicaciones del cambio climático para el control de vectores de salud pública. *PLoS Negl Trop Dis.* 2019 Abril;(19).

109. Lobo J, Jiménez A, Real R. a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography.* 2007; 2(24).
110. Navarro Guzmán MA, Jove Chipana CA, Ignacio Apaza JM. Modelamiento de nichos ecológicos de flora amenazada para escenarios de cambio climático en el departamento de Tacna – Perú. *Colombia Forestal.* 2019 Diciembre;(24).
111. Carpenter S, Caraco R, Correll R, Howarth R, Sharpley R, Smith H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications.* 1993; 8(559-568).
112. Lipp CA, Stewart-Ibarra AM, Looor MEF, Zambrano J, Lopez NA, Blackburn JK, et al. Cambios geográficos en la idoneidad del hábitat de *Aedes aegypti* en Ecuador mediante el uso de datos de vigilancia de larvas y modelos de nichos ecológicos: implicaciones del cambio climático para el control de vectores de salud pública. *PLOS Neglected Tropical Diseases.* 2019 April.
113. Phillips-Mora W, Krauss U ,U, Evans H, al e. Genetic diversity of the cacao pathogen *Moniliophthora roreri* (Cif.). *Tropical America.* 2003;(p. 613–618).
114. Carlile M, Watkinson S, Gooday G. *The Fungi* London: London (UK): Academic Press; 1994.
115. MARTÍNEZ MÉNDEZ N, AGUIRRE PLANTER E, EGUIARTE LE, JARAMILLO CORREA JP. MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *ABIES* (PINACEAE) EN MÉXICO: ALGUNAS IMPLICACIONES TAXONÓMICAS Y PARA LA CONSERVACIÓN. *Botanical Sciences.* 2016; 94 (1)(5-24).

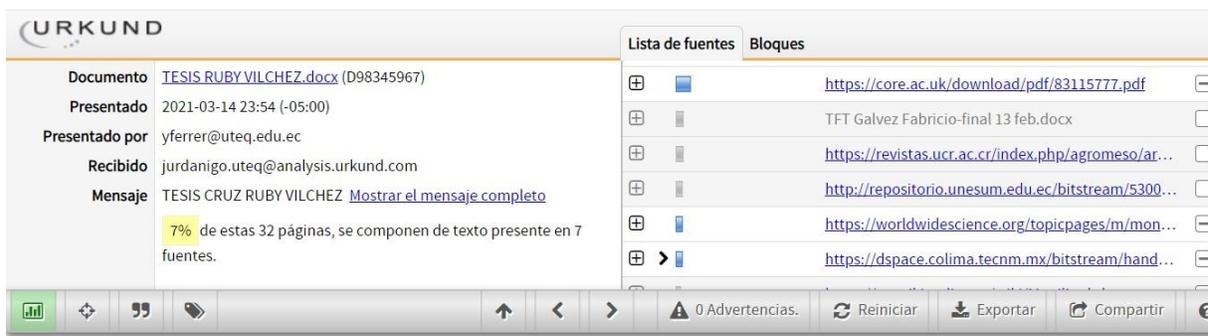
116. IPCC. Cambio Climático : Bases Físicas, guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC, grupo de trabajo I. ; 2013.

117. IPCC. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Ginebra;; 2007.

ANEXOS

7.1. Anexos.

Anexo 1: Prueba emitida por el URKUND



The screenshot shows the URKUND interface. On the left, document details are listed: Documento: TESIS RUBY VILCHEZ.docx (D98345967), Presentado: 2021-03-14 23:54 (-05:00), Presentado por: yferrer@uteq.edu.ec, Recibido: jurdanigo.uteq@analysis.orkund.com, and Mensaje: TESIS CRUZ RUBY VILCHEZ. A message preview indicates that 7% of the 32 pages consist of text from 7 sources. On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) tab is active, displaying a list of URLs and document titles. At the bottom, there is a footer with the text: 'UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES CARRERA DE LICENCIATURA EN GESTIÓN AMBIENTAL. Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Licenciada en Gestión Ambiental.'

Anexo 2. Registros de presencia de *Moniliophthora roreri* en Ecuador continental.

ID	LONGITUD	LATITUD	PROVINCIA
1	-79.250000	-0.333333	Santo Domingo de los Tsáchilas
2	-79.491667	-2.250000	Guayas
3	-79.497125	-0.032300	Santo Domingo de los Tsáchilas
4	-79.478488	-0.022552	Esmeraldas
5	-79.558536	-0.119660	Manabí
6	-79.417773	0.188641	Esmeraldas
7	-77.789167	-0.995000	Napo
8	-79.556389	-0.466944	Manabí
9	-80.111667	-0.098611	Manabí

11	-79.750000	-1.550000	Los Ríos
12	-80.001111	-3.510833	El Oro
13	-79.945554	-0.576036	Manabí
14	-79.602500	-1.151389	Los Ríos
15	-79.395667	-1.358472	Los Ríos
16	-79.446286	-1.012795	Los Ríos
17	-79.783333	-1.016667	Guayas
18	-79.558536	0.119660	Esmeraldas
19	-79.901389	-3.287778	El Oro
20	-79.257682	-0.118682	Santo Domingo de los Tsáchilas
21	-79.353056	-0.952500	Los Ríos
22	-79.419638	-1.063736	Los Ríos
23	-79.489306	-0.848972	Los Ríos
24	-79.464722	-0.527500	Santo Domingo de los Tsáchilas
25	-79.259308	-0.249396	Santo Domingo de los Tsáchilas
26	-79.246912	-1.628524	Bolívar
27	-79.422342	-2.580600	Guayas
28	-76.681394	-0.198313	Sucumbíos
29	-76.685390	-0.184792	Sucumbíos
30	-76.672115	-0.200809	Sucumbíos

31	-76.604538	-0.298172	Sucumbíos
32	-79.497947	-0.883713	Los Ríos
33	-79.308783	-1.280222	Bolívar
34	-80.183361	-0.823056	Manabí
35	-77.797604	-0.925755	Napo
36	-77.571944	-1.055556	Napo
37	-77.571389	-2.250000	Morona Santiago
38	-77.857222	-0.938889	Napo
39	-77.769722	-0.833333	Napo
40	-77.886667	-1.239722	Napo
41	-79.467167	-1.094250	Los Ríos
42	-79.333333	-1.783333	Los Ríos
43	-79.776333	-2.508194	Guayas
44	-79.639222	-2.676444	Guayas
45	-79.436444	-2.513667	Guayas
46	-79.323417	-1.062028	Los Ríos
47	-79.269806	-0.961333	Cotopaxi
48	-79.642806	-0.571306	Manabí
49	-79.494472	-0.202639	Manabí
50	-79.472750	-1.468083	Los Ríos

51	-79.482306	-1.292583	Los Ríos
52	-79.476083	-1.577583	Los Ríos
53	-79.364056	-0.405861	Santo Domingo de los Tsáchilas
54	-79.400917	-0.164611	Santo Domingo de los Tsáchilas
55	-79.150389	-0.310222	Santo Domingo de los Tsáchilas
56	-79.404833	-0.023889	Santo Domingo de los Tsáchilas
57	-79.764139	-2.909333	Guayas
58	-79.541103	-2.543614	Guayas
59	-76.877778	-0.358889	Orellana
60	-79.450000	-3.000000	Azuay
61	-79.419167	-0.903056	Los Ríos
62	-79.506389	-1.009722	Los Ríos
63	-79.809631	-2.916556	Guayas
64	-79.648393	-2.694508	Guayas
65	-79.328569	-2.685012	Azuay
66	-79.770806	-2.344398	Guayas

Anexo 3. Registros de presencia de *Moniliophthora roreri* en América.

ID	LONGITUD	LATITUD	PAÍS
1	-76.005000	-6.007778	Perú
2	-75.950000	-9.150000	Perú
3	-79.881944	-5.379167	Perú
4	-76.018611	-9.299444	Perú
5	-66.950000	-15.550000	Bolivia
6	-92.358000	14.875944	México
7	-72.733333	-12.891667	Perú
8	-72.296667	5.325278	Colombia
9	-74.028944	5.491722	Colombia
10	-84.606267	11.195006	Nicaragua
11	-84.710172	11.151583	Nicaragua
12	-84.609339	11.184259	Nicaragua
13	-67.433333	-15.516667	Bolivia
14	-76.042991	-9.133561	Perú
15	-84.311667	12.170000	Nicaragua
16	-75.995837	-9.241676	Perú
17	-92.172097	14.940603	México
18	-92.150000	14.966667	México
19	-74.039750	5.479333	Colombia
20	-93.145833	18.175972	México
21	-93.396378	17.851256	México
22	-73.701800	6.376900	México
23	-76.640723	-6.384461	Perú
24	-85.566970	12.963774	Nicaragua
25	-85.366667	13.333333	Nicaragua
26	-90.983333	17.250000	México
27	-73.149444	7.264167	Colombia
28	-66.916667	-15.166667	Bolivia

29	-67.666667	-15.916667	Bolivia
30	-78.281122	-4.798755	Perú
31	-76.614386	7.861645	Colombia
32	-76.300975	6.977660	Colombia
33	-74.713307	7.008935	Colombia
34	-74.784513	6.554783	Colombia
35	-74.381593	6.425399	Colombia
36	-74.718125	7.091137	Colombia
37	-75.049955	5.688671	Colombia
38	-75.419639	7.587985	Colombia
39	-75.704037	5.668751	Colombia
40	-75.720599	6.442207	Colombia
41	-76.644849	7.703344	Colombia
42	-75.438686	7.167818	Colombia
43	-93.234266	18.366987	México
44	-73.662927	6.702004	Colombia
45	-93.256806	18.343861	México
46	-93.495000	18.029639	México
47	-93.358250	18.030361	México
48	-93.384556	18.063111	México
49	-93.391972	18.223722	México
50	-93.286861	18.249972	México
51	-93.291417	18.141694	México
52	-93.197889	18.129222	México
53	-93.404583	17.801833	México
54	-93.399389	17.749889	México
55	-93.396028	17.715778	México
56	-93.174583	18.196694	México
57	-93.168861	17.984500	México
58	-93.106444	17.949778	México

59	-93.090472	17.958222	México
60	-92.849083	17.469528	México
61	-92.905750	17.660333	México
62	-92.900694	17.504361	México
63	-92.033556	18.160583	México
64	-92.985750	17.555556	México
65	-72.653322	7.854690	Colombia
66	-72.472049	8.136084	Colombia
67	-72.726031	8.643124	Colombia
68	-72.800737	8.080906	Colombia
69	-72.865077	8.040305	Colombia
70	-73.285164	8.438935	Colombia
71	-72.424902	8.234342	Colombia
72	-73.093129	8.575788	Colombia
73	-78.731500	1.663278	Colombia
74	-78.637831	1.715861	Colombia
75	-75.326389	1.569444	Colombia
76	-75.706389	1.193333	Colombia
77	-74.770000	2.115278	Colombia
78	-75.158333	1.907500	Colombia
79	-75.611667	1.614167	Colombia
80	-75.872500	1.416389	Colombia
81	-75.285000	1.680000	Colombia
82	-75.878333	1.328889	Colombia
83	-75.436111	1.479167	Colombia
84	-93.308685	17.142103	México
85	-83.333333	10.333333	Costa Rica
86	-92.617916	17.841153	México
87	-93.057616	16.689877	México
88	-75.685422	5.070639	Colombia

89	-73.411912	6.879714	Colombia
90	-71.289651	8.783193	Venezuela
91	-93.880000	17.940000	México
92	-84.917342	10.731075	Costa Rica
93	-88.498307	13.310000	El Salvador
94	-82.394639	9.300000	Panamá

Anexo 4. Registros de presencia de *Theobroma cacao* en Ecuador continental.

ID	LONGITUD	LATITUD	PROVINCIA
1	-79.286259	0.252747	Pichincha
2	-78.222430	0.346797	Imbabura
3	-79.558197	-1.424918	Los Ríos
4	-79.268135	-0.419227	Santo Domingo de los Tsáchilas
5	-79.865354	-2.055454	Guayas
6	-79.376069	0.031744	Santo Domingo de los Tsáchilas
7	-79.162247	-0.321438	Santo Domingo de los Tsáchilas
8	-76.313481	-0.475331	Sucumbíos
9	-78.682022	0.062176	Pichincha
10	-79.157644	-0.262536	Santo Domingo de los Tsáchilas
11	-79.252089	-2.182881	Guayas
12	-76.625387	-0.411647	Sucumbíos
13	-77.781588	-1.005821	Napo
14	-79.187938	-0.252188	Santo Domingo de los Tsáchilas
15	-76.471482	-0.477131	Sucumbíos
16	-78.183333	0.933333	Carchi
17	-76.383333	-0.516667	Napo
18	-79.908948	-1.382080	Guayas
19	-79.304610	-2.473288	Cañar
20	-77.346254	-0.897752	Napo
21	-79.240200	-1.245580	Bolívar

22	-78.474024	-0.302600	Pichincha
23	-79.410606	-2.330598	Guayas
24	-79.399808	-2.356346	Guayas
25	-79.477500	-2.600556	Guayas
26	-78.150024	-2.419378	Morona Santiago
27	-78.001981	-1.483020	Pastaza
28	-78.640747	-1.258616	Tungurahua
29	-79.208253	-0.232305	Santo Domingo de los Tsáchilas
30	-78.631038	-3.748630	Zamora Chinchipe
31	-76.284641	-0.918141	Orellana
32	-79.629219	0.971011	Esmeraldas
33	-80.368649	-1.206900	Manabí
34	-79.168187	0.108116	Pichincha
35	-76.654373	-0.144745	Sucumbíos
36	-79.604592	-2.390570	Guayas
37	-79.234426	-0.364998	Santo Domingo de los Tsáchilas
38	-79.758330	-0.335306	Manabí
39	-77.520456	-1.077283	Napo
40	-79.101173	0.108062	Pichincha
41	-77.840116	-1.514535	Pastaza
42	-76.440220	-0.524482	Orellana
43	-79.992600	0.478179	Esmeraldas
44	-79.227988	-2.176467	Guayas
45	-77.848306	-0.946778	Napo
46	-80.100594	0.695643	Esmeraldas
47	-80.190919	-0.858618	Manabí
48	-76.916667	0.116667	Sucumbíos
49	-79.344330	0.042247	Pichincha
50	-77.800209	-0.819958	Napo
51	-77.385600	-1.217200	Pastaza

52	-77.820022	-0.986520	Napo
53	-77.816101	-0.995471	Napo
54	-77.835200	-0.979890	Napo
55	-77.814519	-1.005348	Napo
56	-77.815401	-0.979072	Napo
57	-78.465572	-0.085770	Pichincha
58	-78.774016	-0.051396	Pichincha
59	-79.336252	-1.811909	Bolívar
60	-77.341731	-2.595786	Morona Santiago
61	-75.454095	-0.891052	Orellana
62	-76.641267	-2.468430	Pastaza
63	-79.493000	-1.623213	Los Ríos
64	-77.450000	-0.970000	Napo
65	-78.170000	-3.500000	Morona-Santiago
66	-78.670000	1.250000	Esmeraldas
67	-76.400000	-0.520000	Napo
68	-80.117733	-0.108103	Manabí
69	-80.121185	-0.121630	Manabí
70	-79.130000	-2.270000	Guayas
71	-76.016700	-0.600000	Napo
72	-76.700000	-0.033300	Napo
73	-77.500000	-2.383300	Morona-Santiago
74	-76.552200	-0.367200	Napo
75	-76.553900	-0.346100	Sucumbíos
76	-76.886400	-1.042500	Napo
77	-78.566700	-3.450000	Morona-Santiago
78	-77.300000	-0.500000	Napo
79	-76.166667	-0.083333	Napo
80	-76.433333	-0.650000	Napo
81	-76.366660	-0.666660	Napo

82	-77.600000	-1.066660	Napo
83	-76.366667	-0.816667	Napo
84	-77.816660	-1.033330	Napo
85	-75.366389	-0.921111	Orellana
86	-76.437220	-0.240830	Sucumbíos
87	-79.100000	-0.150000	Pichincha
88	-79.283330	-1.450000	Bolívar
89	-78.050000	-1.466660	Pastaza
90	-75.883330	-0.283330	Napo
91	-76.350000	-0.250000	Napo
92	-76.166660	-1.083330	Napo
93	-76.533333	-0.400000	Sucumbíos
94	-76.433333	-0.250000	Sucumbíos
95	-76.466667	-0.200000	Sucumbíos
96	-77.466660	-0.750000	Napo
97	-76.366660	-0.550000	Napo
98	-79.366660	-0.350000	Pichincha
99	-78.900000	0.800000	Esmeraldas
100	-79.900000	-1.333330	Guayas
101	-76.650000	-1.483330	Pastaza
102	-76.383333	-0.800000	Napo
103	-77.333333	-1.416667	Pastaza
104	-79.366660	-0.583330	Los Ríos
105	-77.816660	-0.900000	Napo
106	-79.583330	0.166660	Esmeraldas
107	-76.800000	-1.783333	Pastaza
108	-75.866660	-0.283330	Napo
109	-79.600000	-2.400000	Guayas
110	-77.350000	-0.483333	Napo
111	-76.166660	-0.633330	Napo

112	-76.350000	-0.450000	Sucumbíos
113	-76.189250	-1.021250	Orellana
114	-78.186900	-1.462800	Morona Santiago
115	-79.489160	-0.893050	Los Ríos
116	-76.174092	-0.018018	Sucumbíos
117	-77.826000	-1.919000	Morona Santiago
118	-77.208000	-2.262000	Pastaza