



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación
previo a la obtención del título
de Ingeniero en Gestión
Ambiental.

Título del proyecto de investigación

**DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN
ECUADOR CONTINENTAL ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO**

Autora:

Sánchez Mera María Belén

Directora de Proyecto de Investigación:

Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.

QUEVEDO- LOS RÍOS- ECUADOR
2018

**“DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES EXÓTICAS
INVASORAS EN ECUADOR CONTINENTAL ANTE
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO”**

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **María Belén Sánchez Mera**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o 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 trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

María Belén Sánchez Mera

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 **María Belén Sánchez Mera** realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN ECUADOR CONTINENTAL ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO**”, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.
DIRECTORA DE TESIS

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

La suscrita **Blga. Yarelys Ferrer Sánchez PhD**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo certifica que la estudiante SÁNCHEZ MERA MARÍA BELÉN, realizó el proyecto de investigación con el tema de: **“DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN ECUADOR CONTINENTAL ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO”**, fue ingresado al sistema URKUND y presentó el 7% de similitud, considerando el Reglamento e Instructivos de Proyecto de Investigación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Blga. Yarelys Ferrer Sánchez PhD
TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



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

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título

**“DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN
ECUADOR CONTINENTAL ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO”**

Presentado a la comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de
Ingeniera en Gestión Ambiental.

Aprobado por:

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
Ing. Msc. Francisca Contreras Mosquera**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Msc. Norma Guerrero**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Ing. Msc. Ángel Yépez**

**QUEVEDO –LOS RÍOS-ECUADOR
2018**



AGRADECIMIENTO

A ti Dios, por haberme dado día a día la fuerza, perseverancia, paciencia y capacidad de resolver cada inconveniente que iba apareciendo en cada etapa de mis estudios por haberme siempre guiado por los mejores caminos e iluminado cada vez que lo necesité.

A la excelente tutora PhD. Yarelys Ferrer, no puedo estar más satisfecha con la decisión de haberla escogido para que me guíe e imparta sus conocimientos durante este proyecto de investigación; por toda su paciencia, predisposición y tutela no solo como docente sino como persona con su amabilidad y educación.

Y como no, agradecer a mis queridos padres por su apoyo incondicional, por creer sin ninguna duda y estar presentes en cada etapa de mi vida por todo su amor y fortaleza ante las dificultades cualidades que me ayudaron a siempre continuar.

A mi compañero de vida, Miguel Ángel Ramos quien no solo es un apoyo infaltable, sino un pilar fundamental en mis estudios y en mis días; quien siempre está presto para brindarme su ayuda y resolverme cualquier inconveniente que esté a su alcance, por su paciencia y darme ánimos en los días que quise desistir.

A mis queridos compañeros y amigos Solange, Nadia, Carlos, Fadua, y Estefanía quienes siempre estuvieron en cada trayectoria académica con quienes compartí experiencias, nunca me negaron una ayuda e hicieron que siempre existieran sonrisas.

M. Belén Sánchez Mera

Resumen y palabras claves

La idoneidad de nicho ecológico para especies exóticas invasoras en Ecuador continental y su proyección ante escenarios de cambio climático ha sido escasamente estudiado, siendo las especies exóticas invasoras una amenaza principalmente para ecosistemas y especies nativas. El objetivo de esta investigación fue predecir las variaciones en las distribuciones geográficas potenciales de especies exóticas invasoras de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Se realizó una modelación del nicho ecológico de las especies invasoras *Arachis pintoii*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava* y *Asclepias curassavica* de acuerdo con sus registros de presencia a nivel mundial y 19 variables bioclimáticas a través del algoritmo de máxima entropía (MAXENT). Estos modelos fueron transferidos a Ecuador continental en el presente y futuro con su centro en el 2050 (2041-2060), basándose en los escenarios representativos RCP 4.5 (conservador) y RCP 8.5 (extremo) para el país. El área de distribución geográfica potencial de las especies fue comparada entre el escenario actual y los futuros a través de la herramienta SDMtools en ArcGis 10.1 para ver las potenciales expansiones, contracciones o estabilidad.

Los AUC resultantes de la modelización tuvieron en su mayoría perteneciendo a un buen ajuste del modelo, a excepción de los modelos para la especie *Arachis pintoii* bajo escenarios futuros y la especie *Asclepias curassavica* en todos sus escenarios. Mientras que las variables ambientales de mayor influencia para la presencia de las cuatro especies modeladas fueron precipitación en el trimestre más húmedo, temperatura estacional, rango diurno promedio y temperatura promedio del trimestre más frío para cada una respectivamente. Los cambios en el área geográfica potencial se vio mayor variación de los mismos en la especie *Asclepias curassavica* y la mayor cantidad en área de expansión la obtuvo la especie *Psidium guajava*.

Palabras claves: Especies invasoras, Maxent, nicho ecológico, cambio climático, modelación, Ecuador.

Abstract

The suitability of an ecological niche for invasive alien species in continental Ecuador and its projection in the face of climate change scenarios has been poorly studied, with invasive alien species being a threat mainly for ecosystems and native species. The objective of this research was to predict the variations in the potential geographical distributions of invasive alien species from continental Ecuador in the face of climate change scenarios. A modeling of the ecological niche of the invasive species *Arachis pintoi*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava* and *Asclepias curassavica* was carried out according to their records of presence worldwide and 19 bioclimatic variables through the algorithm of maximum entropy (MAXENT). These models were transferred to continental Ecuador in the present and future with their center in 2050 (2041-2060), based on the representative scenarios RCP 4.5 (conservative) and RCP 8.5 (extreme) for the country. The potential geographical distribution of the species was compared between the current and future scenarios through the SDMtools tool in ArcGis 10.1 to see potential expansions, contractions or stability.

The AUC resulting from the modeling had mostly belonging to a good fit of the model, except for the models for the species *Arachis pintoi* under future scenarios and the species *Asclepias curassavica* in all its scenarios. While the most influential environmental variables for the presence of the four modeled species were precipitation in the wettest quarter, seasonal temperature, average diurnal range and average temperature of the coldest quarter for each respectively. The changes in the potential geographical area saw a greater variation in the species *Asclepias curassavica* and the greater amount in expansion area was obtained by the species *Psidium guajava*

Key words: Invasive species, Maxent, ecological niche, climate change, modeling, Ecuador

Índice	i
.....
Título del proyecto de investigación	i
.....	ii
.....	ii
.....	ii
.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	vii
Resumen y palabras claves	viii
Abstract	ix
Índice	x
Código Dublin	xvii
Introducción	1
CAPÍTULO I	3
1.1. Problema de investigación	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
Diagnóstico	4
Pronóstico	5
1.1.2. Formulación del problema	6
1.1.3. Sistematización del problema	6
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo general	7
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. Justificación	8
CAPÍTULO II	9
2.1. Marco conceptual	10
2.1.1. Cambio climático	10
2.1.2. Clima	10
2.1.2.1. Variabilidad Climática	10
2.1.2.2. Causas externas (al sistema climático)	11
2.1.2.3. Causas internas (al sistema climático)	11
2.1.3. Escenarios de cambio climático (ECC)	11
2.1.4. Bases de datos que generan escenarios de cambios climáticos	12
2.1.4.1. Modelo de sistema climático BCC_CSM 1.1	12

2.1.4.2.	Modelo físico acoplado CM3 (Coupled Physical Model, GFDL-CM3)	13
2.1.4.3.	Global climate monitor	13
2.1.4.4.	Ecoclimate	13
2.1.4.5.	HadGEM2- ES	13
2.1.5.	Consecuencias del cambio climático	14
2.1.5.1.	Influencia del cambio climático en la distribución de especies	15
2.1.5.2.	Cambio climático y su influencia en la distribución de especies exóticas invasoras	16
2.1.6.	Capacidad de plantas y animales para adaptarse o aclimatarse rápidamente al cambio climático	17
2.1.7.	Especie exótica	17
2.1.7.1.	Especies exóticas invasoras	18
2.1.7.2.	Impactos ambientales y ecológicos	18
2.1.7.3.	Perfil de una especie invasora	19
2.1.7.4.	Afectaciones ambientales por las especies exóticas invasoras	20
2.1.7.5.	Área de distribución geográfica	20
2.1.8.	Nicho Ecológico	21
2.1.8.1.	Nicho fundamental	21
2.1.8.2.	Nicho realizado/efectivo	21
2.1.8.3.	Diagrama BAM	22
2.1.9.	Herramientas para predicciones de distribución de especies	23
2.1.10.	Modelos de nichos ecológicos utilizando Maxent	23
2.1.10.1.	Máxima entropía	24
2.1.10.2.	Análisis ROC (Receiver Operating Characteristic)	24
2.1.10.3.	Área bajo la curva (AUC)	24
2.1.10.4.	Relación con las variables climáticas	25
2.2.	Marco referencial	27
2.2.1.	Casos de estudios	27
CAPÍTULO III		32
3.1.	Área de estudio	33
3.2.	Tipos de investigación	34
3.2.1.	Exploratoria	34
3.2.2.	Experimental	34
3.2.3.	Descriptiva	35
3.3.	Método de investigación	35
3.4.	Fuentes de recopilación de información	36
3.4.1.	Fuentes primarias	36

3.4.2. Fuentes Secundarias.....	37
3.5. Diseño de la investigación.....	37
3.6. Instrumentos de la investigación	39
3.7. Tratamiento de los datos	40
CAPÍTULO IV.....	42
4.1. Resultados.....	43
CAPÍTULO V	77
5.1. CONCLUSIONES.....	78
5.1.....	79
5.2. RECOMENDACIONES.....	79
CAPÍTULO VI.....	80
CAPÍTULO VII.....	88

Índice de tablas

Tabla 1. Variables bioclimáticas para interpolación con los registros de presencia.	26
Tabla 2. Especies exóticas invasoras seleccionadas en el proyecto de investigación para la modelación del nicho ecológico ante escenarios futuros de cambio climático.	38
Tabla 3. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo de nicho ecológico de la especie exótica invasora <i>Arachis pintoi</i>	47
Tabla 4. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo de nicho ecológico de la especie exótica invasora <i>Melinis minutiflora</i>	52
Tabla 5. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo de nicho ecológico de la especie exótica invasora <i>Psidium guajava</i>	57
Tabla 6. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo de nicho ecológico de la especie exótica invasora <i>Asclepias curassavica</i>	62
Tabla 7	65
Tabla 8. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de <i>Arachis pintoi</i> para el año 2050 (RCP8.5) en Ecuador continental.	65
Tabla 9. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de <i>Melinis minutiflora</i> para el año 2050 (RCP4.5) en Ecuador continental.	68
Tabla 10. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de <i>Melinis minutiflora</i> para el año 2050 (RCP8.5) en Ecuador continental.	68
Tabla 11. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de <i>Psidium guajava</i> para el año 2050 (RCP4.5) en Ecuador continental.	71
Tabla 12. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de <i>Psidium guajava</i> para el año 2050 (RCP8.5) en Ecuador continental.	71
Tabla 13. Variaciones en la distribución del área geográfica de <i>Asclepias curassavica</i> para Ecuador continental en un escenario futuro en condiciones de RCP4.5.	74
Tabla 14. Variaciones en la distribución del área geográfica de <i>Asclepias curassavica</i> para Ecuador continental en un escenario futuro en condiciones de RCP8.5.	74

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema del diagrama BAM.	22
Figura 2. Mapa de Ecuador.	33
Figura 3. Distribución geográfica potencial de <i>Arachis pintoi</i> en Ecuador continental.	44
Figura 4. Distribución geográfica futura de <i>Arachis pintoi</i> en el escenario de cambio climático RCP 4.5 en Ecuador continental.	45
Figura 5. Distribución geográfica potencial futura de <i>Arachis pintoi</i> bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5 en Ecuador continental.	46
Figura 6. Comportamiento de la adecuación climática del modelo de nicho ecológico de <i>Arachis pintoi</i> ante la variación de la precipitación en el trimestre más húmedo.	47
Figura 7. Distribución geográfica potencial de <i>Melinis minutiflora</i> en Ecuador continental.	49
Figura 8. Distribución geográfica potencial futura de <i>Melinis minutiflora</i> en Ecuador continental bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5.	50
Figura 9. Distribución geográfica potencial futura de <i>Melinis minutiflora</i> en Ecuador continental bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5.	51
Figura 10. Comportamiento de la adecuación climática del modelo de nicho ecológico de <i>Melinis minutiflora</i> ante la variación de la estacionalidad de la temperatura.	52
Figura 11. Distribución geográfica potencial de <i>Psidium guajava</i> en Ecuador continental.	54
Figura 12. Distribución geográfica potencial futura de <i>Psidium guajava</i> bajo el escenario de cambio climático para el 2050 (RCP 4.5) en Ecuador continental.	55
Figura 13. Distribución geográfica potencial futura de <i>Psidium guajava</i> bajo el escenario de cambio climático para el 2050 (RCP 8.5) en Ecuador continental.	56
Figura 14. Comportamiento de la adecuación climática del modelo de nicho ecológico de <i>Psidium guajava</i> ante la variación del rango diario de temperatura.	57
Figura 15. Distribución geográfica potencial de <i>Asclepias curassavica</i> en Ecuador continental.	59
Figura 16. Distribución geográfica potencial futura de <i>Asclepias curassavica</i> en Ecuador continental bajo el escenario de cambio climático para el 2050 (RCP 4.5).	60
Figura 17. Distribución geográfica potencial futura de <i>Asclepias curassavica</i> en Ecuador continental bajo el escenario de cambio climático para el 2050 (RCP 8.5).	61
Figura 18. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie <i>Arachis pintoi</i> , bajo escenario 4.5 con su escala evaluativa: -1= Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1= Sin cambios; y 2= Contracción de rango.	63
Figura 19. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie <i>Arachis pintoi</i> , bajo escenario 8.5 con su escala evaluativa: -1= Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1= Sin cambios; y 2= Contracción de rango.	64
Figura 20. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie <i>Melinis minutiflora</i> , bajo escenario 4.5 con su escala evaluativa: -1= Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1= Sin cambios; y 2= Contracción de rango.	66
Figura 21. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie <i>Melinis minutiflora</i> , bajo escenario 8.5 con su escala evaluativa: -1= Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1= Sin cambios; y 2= Contracción de rango.	67

Figura 22. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie <i>Psidium guajava</i> , bajo escenario 4.5 con su escala evaluativa: -1 = Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1 = Sin cambios; y 2 = Contracción de rango.....	69
Figura 23. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie <i>Psidium guajava</i> , bajo escenario 8.5 con su escala evaluativa: -1 = Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1 = Sin cambios; y 2 = Contracción de rango.....	70
Figura 24. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie <i>Asclepias curassavica</i> , bajo escenario 4.5 con su escala evaluativa: -1 = Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1 = Sin cambios; y 2 = Contracción de rango.....	72
Figura 25. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie <i>Asclepias curassavica</i> , bajo escenario 8.5 con su escala evaluativa: -1 = Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1 = Sin cambios; y 2 = Contracción de rango.....	73

Índice de anexos

Anexo 1. Especie <i>Arachis pintoi</i>	89
Anexo 2. Especie <i>Melinis minutiflora</i>	89
Anexo 3. Especie <i>Asclepias curassavica</i>	89
Anexo 4. Especie <i>Psidium guajava</i>	89
Anexo 5. Países con registros de presencia de la especie <i>Arachis pintoi</i>	90
Anexo 6. Países con registros de presencia de la especie <i>Melinis minutiflora</i>	90
Anexo 7. Países con registros de presencia de la especie <i>Psidium guajava</i>	91
Anexo 8. Países con registros de presencia de la especie <i>Asclepias curassavica</i>	91

Código Dublin

Título:	Distribución potencial de especies exóticas invasoras en Ecuador continental ante escenarios de cambio climático
Autor:	María Belén Sánchez Mera
Palabras claves:	Especies invasoras, Maxent, nicho ecológico, cambio climático, modelación, Ecuador
Fecha de publicación:	Mayo
Editorial:	Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Quevedo 2018.
Resumen:	<p>Resumen: La idoneidad de nicho ecológico para especies exóticas invasoras en Ecuador continental y su proyección ante escenarios de cambio climático ha sido escasamente estudiado, siendo las especies exóticas invasoras una amenaza principalmente para ecosistemas y especies nativas. El objetivo de esta investigación fue predecir las variaciones en las distribuciones geográficas potenciales de especies exóticas invasoras de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático. Se realizó una modelación del nicho ecológico de las especies invasoras <i>Arachis pintoii</i>, <i>Melinis minutiflora</i>, <i>Psidium guajava</i> y <i>Asclepias curassavica</i> de acuerdo con sus registros de presencia a nivel mundial y 19 variables bioclimáticas a través del algoritmo de máxima entropía (MAXENT). Estos modelos fueron transferidos a Ecuador continental en el presente y futuro con su centro en el 2050 (2041-2060), basándose en los escenarios representativos RCP 4.5 (conservador) y RCP 8.5 (extremo) para el país. (...)</p> <p>Abstract: The suitability of an ecological niche for invasive alien species in continental Ecuador and its projection in the face of climate change scenarios has been poorly studied, with invasive alien species being a threat mainly for ecosystems and native species. The objective of this research was to predict the variations in the potential geographical distributions of invasive alien species from continental Ecuador in the face of climate change scenarios. A modeling of the ecological niche of the invasive species <i>Arachis pintoii</i>, <i>Melinis minutiflora</i>, <i>Psidium guajava</i> and <i>Asclepias curassavica</i> was carried out according to their records of presence worldwide and 19</p>

	bioclimatic variables through the algorithm of maximum entropy (MAXENT). These models were transferred to continental Ecuador in the present and future with their center in 2050 (2041-2060), based on the representative scenarios RCP 4.5 (conservative) and RCP 8.5 (extreme) for the country. (...)
Descripción:	111 hojas.29x21 cm + CD-ROM
URL:	<u>(En blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)</u>

Introducción

Las especies exóticas invasoras (EEI) son consideradas una amenaza, que no solo se relaciona a la biodiversidad sino a problemas económicos y sanitarios que afectan el bienestar humano (1), siendo consideradas una de las principales amenazas al medio; pueden impactar mediante depredación, herbivoría, parasitismo, mutualismo, las especies nativas pueden caer en regresión e incluso llegar a extinguirse localmente (2). Una de las causas que motiva el movimiento de las especies y su dispersión es el estar expuestas al cambio climático, estableciendo una relación entre la biota-clima de una zona específica, cuya interacción va a definir la aparición de especies en sitios donde no existen registros de la misma. Esto denota las condiciones óptimas para sus patrones de cambios espaciales y distribución (3).

El conocimiento preciso de las áreas de distribución para estas y otras especies constituye la base sobre la cual se fundamentan estudios sobre taxonomía, ecología, biogeografía y evolución. Este conocimiento de la distribución real o potencial de diferentes especies tiene implicaciones importantes en la conservación; como el reporte y distribución de la aparición en las costas ecuatorianas de la palma *Roystonea oleracea* considerada invasiva, por lo que es necesario su monitoreo para establecer prioridades de manejo y conservación y de esta manera evitar adversidades (4). Además, existen factores determinantes para que una especie sobreviva. Entre estos están los componentes bióticos y abióticos, las interrelaciones entre especies y con el ecosistema, la capacidad de resiliencia y adaptación, y por último la geografía de la zona donde habita (5).

Actualmente, existen afectaciones visibles en los patrones de distribución de especies. Estos se pueden intensificar a medida que se hace creciente la problemática sobre el cambio climático, el cual influye en procesos como: alteración de periodos de germinación y producción, ciclos de crecimiento, restricción o desaparición de especies endémicas y amenazadas, cambios en los ciclos fenológicos, incrementos de CO₂, pérdida de cubierta vegetal, expansión de especies generalistas de recursos y especies exóticas invasoras (6).

Debido a características geográficas, topográficas, climáticas y de diversidad biológica, Ecuador es considerado un país megadiverso, con varias clases de vegetación y fauna.

Esta ubicación lo hace susceptible a invasiones de especies, lo que conlleva a poner en riesgo a la biodiversidad nativa, y en sinergia con el cambio climático provoca pérdidas de producción forestal y agrícola reflejadas en el decaimiento de la economía y reducción o degradación de hábitats.

El cambio climático está produciendo estragos en Ecuador tanto a nivel ecológico, social y económico, y actúa en sinergia con otras amenazas a la biodiversidad como son las EEI, se hace visible la necesidad de realizar estudios que puedan predecir las expansiones o contracciones potenciales que tendrán las distribuciones de estas especies, para así tomar medidas preventivas y desarrollar planes de conservación para la biodiversidad nativa. Para ello se emplea actualmente una herramienta potente y sobre todo útil para estadística de modelación predictiva como son las modelaciones de nicho ecológico. Esto servirá para describir las distribuciones geográficas potenciales de EEI en Ecuador, partiendo de los registros de su presencia actual, correlacionados con las variables climáticas que han sido calculadas para escenarios futuros de cambio climático.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

Tanto las EEI como el cambio climático constituyen grandes problemáticas que amenazan las comunidades y ecosistemas actuales. ¿Por qué no aprovechar la información disponible sobre las variables bioclimáticas y los registros de presencia de especies y desarrollar modelos predictivos que puedan indicar u orientar hacia las zonas bajo riesgo potencial de invasiones biológicas en el futuro? Si se tiene en cuenta la insuficiente información que existe sobre la distribución potencial de EEI en la zona continental de Ecuador ante escenarios de Cambio climático y todos los daños que puntualmente están provocando las EEI a la biodiversidad nacional, se podría emplear estos modelos como alternativa preventiva y así dar un giro en la toma de decisiones para proponer soluciones acertadas de conservación y mitigación.

Diagnóstico

La invasión de las EEI es un problema que incide principalmente como amenaza en Ecuador y provoca pérdida de especies nativas, y no se ha logrado erradicar. Sumando a esta problemática, la pérdida de biodiversidad a causa del cambio climático que genera homogenización entre los ecosistemas, facilita la entrada de EEI que invaden a mayor velocidad los territorios, ya que presentan patrones generales de comportamiento. Por tanto, se necesitan herramientas que ayuden a monitorear, prevenir y mitigar las afectaciones de las EEI sobre la biodiversidad. El pronosticar los sitios idóneos de distribución de este tipo de especies es un medio que logra alertar y prevenir a los tomadores de decisiones para el control y manejo futuro de este tipo de especies.

Como se ha identificado, la invasión de estas EEI conlleva riesgosas consecuencias. Ahora bien, si se agrega la variación que tienen los cambios climáticos se aceleraría la llegada de cada problemática a los ecosistemas existentes; dado que muchas especies invasoras tienen gran capacidad de movilidad, plasticidad y competitividad. Estas especies pueden adaptarse fácilmente a los hábitats alterados por el hombre (Ej: monocultivos) y más aquellos que son alterados de forma natural en consecuencia del cambio climático (Ej: variación de las precipitaciones); lo que conlleva a que las especies se vean en la necesidad de dispersarse invadiendo nuevos espacios.

A pesar de todos estos daños que provocan las EEI, en Ecuador se han documentado como introducidas alrededor de 1000 especies de plantas vasculares. La tasa de introducción suele citarse como exponencialmente en aumento, con una tasa reciente de 10 especies/año (7). En las Islas Galápagos, los ecosistemas están expuestos a una presión constante por la presencia de EEI de múltiples taxones (8). De ahí que sea el sitio donde se tiene mayor cantidad de antecedentes en proyectos de erradicación de EEI (7) e investigaciones científicas (9).

Por otro lado, la región continental de Ecuador carece de información sobre los efectos que tienen las EEI en la diversidad de los ecosistemas. La mayoría de los trabajos solo reportan la presencia de estas especies (Ej: proyecto Digitalización de Datos de Especies Invasoras del Ecuador a Nivel Nacional y Regional), careciendo de información necesaria para la prevención y/o control de las invasiones biológicas como podría ser el conocimiento de sus distribuciones potenciales actuales y futuras.

Pronóstico

El desequilibrio que genera la introducción de especies en un nuevo ecosistema produce pérdidas ecológicas; por lo que el no tratar su afectación generaría una aceptación de la afectación ambiental, social y económica a la que ya estamos actualmente enfrentando. Este estudio está ligado además con el cambio climático que es un impacto ambiental, si no se logra generar información confiable sobre la distribución actual y a futuro de las EEI no se podrá tomar medidas para conservación de especies y ecosistemas, mitigación de enfermedades, extinción de especies, erradicación de especies invasoras y zonas vulnerables a cambios climáticos por la excesiva o decreciente presencia de una especie. Serían causas generadas por la escasa información de nichos ecológicos idóneos de EEI frente al cambio climático.

Todos estos tipos de cambios ambientales conllevan pérdidas económicas ya que el controlar y reparar el daño provocado por las invasiones biológicas tiene altos costos, incluyendo las interrupciones de actividades que generan empleo y economía en un área determinada como es la pesca, agricultura y avicultura que son fuentes de ingresos en la economía ecuatoriana; tomando en cuenta además las afectaciones a infraestructura e impactos negativos sobre el turismo.

1.1.2. Formulación del problema

La presencia de las EEI conlleva a cambios que pueden ser irreparables para un ecosistema y las interacciones dentro del mismo, por lo que la distribución potencial actual y futura de estas especies, está condicionada por los cambios climáticos que actualmente se observan con mayor severidad y variabilidad. Como bien se sabe Ecuador posee gran variedad de microclimas debido a su topografía, lo que resulta beneficioso para que exista mega diversidad. Lo que nos lleva a pensar ¿Entonces nuestro país estará propenso a sufrir graves consecuencias a causa de la distribución geográfica de las EEI?

El modelado de nicho ecológico conlleva a la generación de mapas de distribución geográfica potencial de especies EEI, lo que resulta fundamental tanto para evaluar el estado de la distribución de las especies, como para evaluar potenciales sitios para desarrollar iniciativas preventivas de control o mitigación. También puede resultar útil en determinar la distribución futura de plagas y como éstas podrían extender su impacto a zonas no atacadas actualmente bajo cambios ambientales específicos (10).

1.1.3. Sistematización del problema

- ✚ ¿Cuáles son los factores bioclimáticos que se encuentran determinando la distribución de las EEI en Ecuador?
- ✚ ¿ En cuál escenario climático serán relevantes los cambios de distribución potencial de las EEI?
- ✚ ¿Dónde serían las zonas de mayor afectación por la invasión de las especies exóticas?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Predecir las variaciones en las distribuciones geográficas potenciales de especies exóticas invasoras de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✚ Modelar el nicho ecológico actual y bajo escenarios de cambio climático de especies exóticas invasoras en Ecuador continental.
- ✚ Generar mapas de distribuciones geográficas potenciales actuales y bajo escenarios de cambio climático de especies exóticas invasoras en Ecuador continental.
- ✚ Describir las zonas de riesgo de invasión actual y bajo escenarios de cambio climático por especies exóticas invasoras.
- ✚ Comparar la equivalencia del nicho ecológico, la no ocupación, la expansión o la estabilidad entre el presente y escenarios de cambio climático.

1.3. Justificación

La importancia de las EEI como causa de disminución y extinción de especies nativas ha sido analizada mundialmente. Los resultados apuntan a las EEI como la principal causa de extinción de aves y la segunda causa de extinción de peces y mamíferos. Pueden consumir una parte importante de los recursos y, aunque no sean limitantes, explotarlos con más eficacia que las especies nativas reduciendo su disponibilidad en el medio (2). A estas consecuencias se les adjunta la intensidad del cambio climático lo que acelera y agrava lo antes mencionado. Por estas razones, y unido al escaso conocimiento sobre la distribución de EEI en Ecuador continental, la evaluación de los patrones de distribución sería una herramienta útil y novedosa para trabajos de conservación y/o prevención de invasiones biológicas, ya que aporta en la toma de decisiones sobre el manejo de la diversidad a mediano y largo plazo; apuntando hacia la mitigación y erradicación de los impactos de las EEI.

La investigación realizada es novedosa para Ecuador continental ya que existen escasos estudios previos sobre predicciones de nichos ecológicos para la distribución de especies exóticas invasoras, las mismas que representan un riesgo ambiental. De igual manera, la metodología empleada, aunque se ha usado para este tipo de estudios a nivel mundial, es de nueva aplicación para EEI en Ecuador. De esta manera se contribuye en tomar medidas de conservación para ecosistemas y especies que se vean amenazadas por la distribución actual y futura de las EEI. Así se logra definir las zonas de mayor riesgo, pudiendo ahorrar esfuerzos dentro de las planificaciones para protección, conservación y estrategias para la mitigación y erradicación de EEI.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Cambio climático

El cambio climático se refiere al efecto de la actividad humana sobre el sistema climático global, que siendo consecuencia del cambio global afecta, a su vez, a otros procesos fundamentales del funcionamiento del sistema Tierra. La interacción entre los propios sistemas biofísicos entre sí y entre éstos y los sistemas sociales, para amplificar o atenuar sus efectos, es una característica esencial del cambio global que dificulta la predicción de su evolución (11).

El cambio climático es un proceso de largo plazo atribuible a la acción humana. El enfoque riesgo- amenaza conceptualiza los riesgos climáticos como algo: a) estacionario y b) exógeno a la evaluación de la vulnerabilidad, que supone que es constante (una vez calculada). Contrariamente, la escala temporal de largo plazo del cambio climático, requiere de un marco conceptual dinámico para la evaluación de la vulnerabilidad, dando cuenta no solo del riesgo que hoy enfrenta un sistema, sino de la incertidumbre que se desprende de las amenazas que pueden darse en el futuro (12).

2.1.2. Clima

Desde un punto de vista físico podemos decir que es el estado del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criosfera y biosfera), cuando resulta forzado por la energía que proviene del sol. El clima queda caracterizado por las condiciones ambientales (principalmente temperatura y precipitación); en esta caracterización es importante conocer, no sólo los valores medios de las variables consideradas, sino su variabilidad, tanto espacial como temporal. Esto quiere decir que diferentes lugares geográficos tienen climas diferentes (11).

2.1.2.1. Variabilidad Climática

La variabilidad climática se refiere a la variación en las desviaciones de los valores promedios o los cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos, que no necesariamente implica una tendencia. La variabilidad es asociada con la probabilidad en la distribución de eventos picos, tales como la ocurrencia de valores máximos y

mínimos de variables climáticas. Como ejemplos los fenómenos de El Niño y La Niña. Una gran parte de las causas que generan la variabilidad climática son de origen natural para lo cual se ha dividido en externas e internas (13).

2.1.2.2. Causas externas (al sistema climático)

- ✚ Actividad Solar: Afecta a la radiación que se recibe en la cima de la atmósfera.
- ✚ Movimiento relativo Tierra – Sol: Cambios en el tiempo de trayectoria, inclinación y la elipse orbital.
- ✚ Impactos de meteoritos o cometas: Cambio de la intensidad de radiación solar que alcanza el suelo.

2.1.2.3. Causas internas (al sistema climático)

- ✚ Efecto invernadero: Calentamiento en las capas bajas de la atmósfera alcanzando una temperatura de 15°C al nivel de la superficie.
- ✚ Desigual distribución del balance de energía: es mayor la radiación solar absorbida por el sistema que la radiación infrarroja emitida hacia el espacio.
- ✚ Dinámica interna del sistema: La atmósfera y el océano, tienden a reducir la diferencia entre el aporte neto de energía en latitudes bajas y el déficit en latitudes altas.
- ✚ Presencia de aerosoles en la atmósfera: atenúan la radiación solar como absorben radiación terrestre
- ✚ Papel de las nubes: Depende de su tipo de altura, las nubes altas dejan pasar la radiación solar pero absorben la terrestre, y las nubes medias impiden casi completamente el paso de la radiación solar.

2.1.3. Escenarios de cambio climático (ECC)

Para evaluar el cambio climático se han desarrollado herramientas señaladas como escenarios de cambio, basados en las emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo. Estos escenarios son imágenes opcionales sobre los acontecimientos futuros que se constituyen como un instrumento apropiado para determinar la influencia de las emisiones futuras (3). En el 5to Informe de Evaluación (AR5) del Panel Inter gubernamental de Cambio Climático (IPCC), se establecieron cuatro escenarios de emisiones llamados “Representative Concentration Pathways (RCP)” (14).

El escenario de emisiones bajas RCP 2.6 representa una política de mitigación que limita el incremento de la temperatura global a 2 °C, mientras que el escenario de emisiones altas RCP 8.5, no incluye una mitigación, resultando en un incremento considerable de los gases de efecto invernadero con una radiación de 8.5 W/m² para el año 2100 y los escenarios intermedios RCP 4.5 y 6.0 suponen una cierta estabilización de las emisiones; estabiliza el forzamiento radiativo a 4.5 W/m² en el año 2100 sin exceder nunca ese valor (15).

- ✚ **RCP2.6;** escenario de mitigación conducente a un nivel de forzamiento muy bajo, en el 2100 el forzamiento radiativo llega al máximo y disminuye.
- ✚ **RCP4.5;** escenarios de estabilización, en el 2100 el forzamiento radiativo está estabilizado.
- ✚ **RCP6.0;** escenarios de estabilización, en el 2100 el forzamiento radiativo no llegará a su máximo.
- ✚ **RCP8.5;** escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero, en el 2100 el forzamiento radiativo no llegará a su máximo.

Los cuatro escenarios ofrecen conjuntos de datos de resolución espacial del cambio de uso del suelo y de emisiones sectoriales de contaminantes atmosféricos, y especifican cuáles serán las concentraciones de gases de efecto invernadero y las emisiones antropógenas anuales hasta 2100 (16).

2.1.4. Bases de datos que generan escenarios de cambios climáticos

2.1.4.1. Modelo de sistema climático BCC_CSM 1.1

Es la versión 1.1 del Modelo del Sistema Climático del Centro del Clima de Beijing desarrollado en el Centro del Clima de Beijing (BCC), Administración Meteorológica de China (CMA). Es un modelo climático-carbono global totalmente acoplado que incluye la vegetación interactiva y el ciclo global del carbono. La información entre la atmósfera y el océano se intercambia una vez por día simulado. El intercambio de carbono atmosférico con la biosfera terrestre se calcula en cada paso de tiempo del modelo (20 min). Puede capturar la tendencia de calentamiento de la temperatura de la superficie global media de 10 años no solo para la condición de inicialización oceánica sino también sin condiciones de inicialización oceánica (17).

2.1.4.2. Modelo físico acoplado CM3 (Coupled Physical Model, GFDL-CM3)

El modelo atmosférico de alta resolución global de GFDL, se desarrolló con el objetivo de proporcionar una representación mejorada de eventos meteorológicos significativos en un modelo climático global. En particular, AM3 incluye nuevos tratamientos de convección de cúmulos profundos y superficiales, activación de gotitas nubosas por aerosoles (es decir, efecto indirecto de aerosoles), es el primer modelo atmosférico global de GFDL en incluir interacciones nubes-aerosoles, con 20 especies interactivas de aerosoles (18).

2.1.4.3. Global climate monitor

Es un sistema para la visualización y descarga de datos climáticos a escala global basado íntegramente en aplicaciones de código abierto, se apoya en el diseño de un modelo de datos y una herramienta para geo-visualizar los datos climáticos globales e indicadores del clima ambiental; visor disponible en la dirección: www.globalclimatemonitor.org. Estos datos son derivados a partir de cálculos o estadísticas que son fáciles de entender y explicar los patrones climáticos a escala global a cualquier usuario potencial, dentro o fuera de la comunidad científica (19).

2.1.4.4. Eoclimate

Proporciona una base de datos abierta de simulaciones climáticas procesadas en una resolución adecuada y un formato fácil de usar para estudios macroecológicos y biogeográficos. Incluye todos los modelos climáticos actualmente disponibles de proyectos CMIP5 y PMIP3 para períodos pasados, presentes y futuros. Las simulaciones futuras incluyen cuatro vías de concentración representativas (RCP): RCP2.6 (escenarios de bajas emisiones), RCP4.5 y RCP6.0 (escenarios de emisiones intermedias) y RCP 8.5 (escenario de altas emisiones).

2.1.4.5. HadGEM2- ES

El modelo climático HadGEM2-ES comprende un GCM atmosférico en resolución horizontal y vertical N96 y L38, y un GCM oceánico con una resolución horizontal de 1 grado (aumentando a 1/3 grado en el ecuador) y 40 niveles verticales. Los componentes del sistema terrestre incluidos son el ciclo del carbono terrestre y oceánico y la química

troposférica. La vegetación terrestre y el carbono están representados por el modelo dinámico de vegetación global, TRIFFID, que simula la cobertura y el balance de carbono de 5 tipos de vegetación (árbol de hoja ancha, árbol de hoja de aguja, hierba C3, hierba C4 y arbusto) (20).

2.1.5. Consecuencias del cambio climático

Seguridad Alimentaria

Los impactos climáticos son notorios en este sector de gran importancia. Entre Septiembre 2009 y 2010 el invierno afectó tanto a la costa de Ecuador con inundaciones como a la sierra con serias sequías, un claro ejemplo son las 90.982 ha de cuatro provincias (Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo) que fueron afectadas por la sequía. En estas cuatro provincias que representan el 43 % del total de la sierra, el 98 % (89.313 ha) del total de hectáreas cultivadas fueron gravemente afectadas por la sequía y el 2% (1.669 ha) fueron declaradas como pérdida total. Alrededor de 18,000 familias campesinas fueron afectadas por este fenómeno (21).

Los efectos del cambio climático sobre la soberanía alimentaria pueden ser diversos y afectar directamente al bienestar de las personas. Esto implica grandes retos tanto para las instituciones y entes reguladores como para los productores y sociedad.

Variaciones atmosféricas

Los escenarios futuros proyectan que para las próximas dos décadas el calentamiento puede ser de aproximadamente 0.2°C por década, para un rango de escenarios de emisiones (Special Report on Emissions Scenarios – SRES), y que para el 2100 la temperatura puede incrementarse entre 1.8 a 4.0 °C (22). El aumento de temperatura tiene muchos otros efectos directos sobre la actividad de los organismos vivos. Uno importante ambientalmente es el aumento exponencial de la emisión biogénica de compuestos orgánicos volátiles (COVs). Estas emisiones biogénicas de COVs afectan la química atmosférica, no solamente con respecto al ciclo del carbono (emisiones de unas 1500 Tg C/año) o la formación de aerosoles, sino por su papel en el equilibrio oxidativo del aire (niveles de OH, NO_x, O₃).

Aparte de la temperatura y de la disponibilidad hídrica, otros factores ligados al cambio climático y al cambio global controlan las emisiones. Entre estos factores, es la

concentración de ozono troposférico, uno de los productos de estos COVs, en lo que sería un fenómeno de retroalimentación positiva de la contaminación por ozono (23).

Ciclo hidrológico

Las vías de flujo en este intercambio incluyen la precipitación, evaporación, evapotranspiración por la vegetación, recarga, descarga y escorrentía. La mayor parte de los recursos hídricos (70%) se utilizan en la agricultura, donde se mantienen sistemas de riego ineficientes con pérdidas de evaporación de hasta el 60%. Por su parte, la industria utiliza el 22% de los recursos de agua globales y, escasamente, el 8% se destina a usos domésticos y de servicios. Los usos y abusos que el ser humano realiza de los recursos hídricos incluyendo la contaminación del agua, y el desarrollo urbanístico e industrial desmesurado, incrementan el estrés hídrico de muchas regiones y amenaza la subsistencia de muchos seres vivos. Este estrés actual sobre los recursos hídricos se agrava con el cambio global (climático y ambiental), produciéndose una alteración del ciclo hidrológico cuyos resultados son actualmente difíciles de prever con precisión (11).

2.1.5.1. Influencia del cambio climático en la distribución de especies

Los cambios en los ciclos vitales de los organismos no son simples indicadores del cambio climático, puesto que afectan la habilidad competitiva de las diferentes especies, su conservación, y, por tanto, la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Como la naturaleza no es homogénea, las respuestas al calentamiento son diferentes dependiendo de la especie. Estas respuestas tan heterogéneas al cambio climático pueden producir importantes desincronizaciones en las interacciones entre las especies. El cambio climático ha alterado sus hábitos.

Dado el adelanto en la floración y fructificación de las plantas y en la aparición de los insectos y, por tanto, el adelanto en la disponibilidad de comida para las aves, se esperaría una llegada más temprana de las aves migratorias (23). Así mismo, existe la posibilidad de que las especies que antes migraban se aprovechen de que el clima sea favorable, según sus requerimientos de adaptación, es decir, inviernos no drásticos y quizás hasta el distanciamiento de especies depredadoras, haciendo de sus sitios de

anidación perfectos para asentarse, transformándose de una especie que era migratoria a una invasora del espacio ecológico permanente (23).

De esta manera, la influencia que tiene la variación climática en la distribución de especies es a escala global, aumentando o disminuyendo la actividad biológica de los territorios; teniendo en cuenta que pone al límite la disponibilidad de agua produciendo estrés hídrico en la vegetación y por ende la disputa de las especies herbívoras por alimento y de los microorganismos por hábitat. Además, evidencia los cambios del uso de suelo y es así como la cadena de afectación podría continuar llegando hasta la extinción.

2.1.5.2. Cambio climático y su influencia en la distribución de especies exóticas invasoras

El cambio climático y otros componentes del cambio global pueden afectar a la distribución de las especies y a la dinámica de los recursos, tanto en organismos terrestres como acuáticos, y consecuentemente, pueden interactuar con las EEI (24):

- ✚ El cambio climático tendrá efectos directos e indirectos que faciliten la introducción, establecimiento y/o propagación de las EEI.
- ✚ Las EEI podrán aumentar la vulnerabilidad de los ecosistemas a otros factores de estrés relacionados con el clima y también reducir su potencial de secuestro de gases de efecto invernadero.
- ✚ Utilizando un enfoque de adaptación basada en el ecosistema, las presiones sobre los ecosistemas y su capacidad para proporcionar servicios importantes pueden ser compensados mediante la prevención de la introducción de nuevas especies invasoras y por la erradicación o el control de las especies perjudiciales ya presentes.

Cuando varios factores de estrés (cambio climático, EEI, sobrexplotación de los recursos, contaminación, etc.) actúan de manera sinérgica sobre los organismos, esto puede tener consecuencias inesperadas e irreversibles para las comunidades nativas y afectar negativamente a actividades económicas como la acuicultura, el marisqueo y la pesca. Se debe tomar en cuenta los cambios de ecosistemas terrestres, los mismos que son multifuncionales y pueden proveer de bienes naturales renovables, prestación de servicios ecosistémicos y usos recreativos (24).

Lo que deja claro que debido al clima cambiante se llegará a prescindir de algunos de estos beneficios o quizás se verán reflejados en impactos negativos como los de tipo socioeconómico. Entonces no se puede tratar por separada la problemática del clima y la alteración de ecosistemas terrestres ya que la primera es una consecuencia de la segunda.

2.1.6. Capacidad de plantas y animales para adaptarse o aclimatarse rápidamente al cambio climático

Desde un punto de vista evolutivo, las especies tienden a ser bastante conservadoras y a responder a las perturbaciones más con la migración que con la evolución. En las montañas, las especies pueden responder al cambio climático migrando verticalmente distancias cortas (por ejemplo, son suficientes 500 m para contrarrestar un aumento de 3°C). En países como España y por lo general en todo el planeta, ya se han apreciado mediante estudios paleoecológicos numerosos desplazamientos de las áreas de distribución de algunas especies y formaciones vegetales en respuesta a cambios climáticos pretéritos (23).

Los estudios paleoecológicos sugieren que muchas especies vegetales pueden migrar con suficiente rapidez como para adaptarse al cambio climático, pero solamente si existen ecosistemas contiguos no perturbados, lo que recuerda la importancia de la fragmentación de los ecosistemas naturales como otro factor del cambio global.

Estos efectos del calentamiento no son desconocidos ya que los regímenes climáticos determinan la distribución de las especies y de los biomas a través de los límites específicos de cada especie con respecto a la temperatura y la disponibilidad de agua. En el caso de los animales, estos no son menos sensibles; responden más rápidamente dada su movilidad (23).

2.1.7. Especie exótica

Cualquier especie transportada a un área que no se corresponde con su área de distribución natural, puede considerarse una especie exótica. Según la definición del Convenio sobre Diversidad Biológica, el término especie exótica se refiere a las

especies, subespecies o taxón inferior que se encuentran fuera de su área de distribución original o nativa. Incluye cualquier parte, gametos, semillas, huevos o propágulos de dichas especies que podrían llegar a sobrevivir y reproducirse. Las especies exóticas reciben también distintas denominaciones, siendo las más conocidas las de especies introducidas, foráneas, alóctonas o no nativas (24).

2.1.7.1. Especies exóticas invasoras

Según la definición del Convenio de Diversidad Biológica (CBD) una especie exótica invasora es “una especie exótica cuya introducción y/o difusión amenazan la diversidad biológica”.

La introducción de EEI se ha visto acompañada en un 90% de las ocasiones, de procesos de colonización humana al trasladar especies intencionalmente, de un continente a otro, para usos como especies cinegéticas, cacería, control de plagas, alimento, entre otros. De esta manera las especies invasoras causan graves daños en los ecosistemas naturales invadidos y alteran las dinámicas e interacciones entre las especies nativas (25).

Las etapas que experimenta una especie en su paso a un área nueva se pueden dividir en:

- ✚ Importación: desde su área nativa hasta una nueva área alejada
- ✚ Introducción: cuando es liberada, escapa o vive en un medio natural
- ✚ Establecimiento: cuando constituye una población reproductora
- ✚ Invasión: cuando ejerce un fuerte impacto negativo (24).

2.1.7.2. Impactos ambientales y ecológicos

Los efectos de las especies exóticas en el medio ambiente marino y la biodiversidad nativa son numerosos (24). Estos incluyen:

- ✚ Cambios en las condiciones físico-químicas del medio.
- ✚ Pérdidas de biodiversidad, debido a la disminución del hábitat disponible para las especies nativas, por competencia, por presencia de parásitos y enfermedades, por crecimiento excesivo y asfixia o por hibridación.

- ✚ Cambios en la competencia por los recursos (alimento, espacio, zonas de desove).
- ✚ Cambios físicos en el hábitat (reducción de las corrientes, erosión biogénica de las costas, alteración del sustrato).
- ✚ Cambios en los ciclos de los nutrientes por limitación de los recursos (nutrientes, luz, oxígeno).
- ✚ Cambios en la cadena trófica debido a la introducción de un nuevo grupo funcional.
- ✚ Floraciones de algas nocivas (mareas rojas).
- ✚ Efectos genéticos en las especies autóctonas (hibridación, cambios en el patrimonio genético, pérdida de los genotipos nativos).
- ✚ Reducción drástica del tamaño de la población e incluso la extinción de especies nativas.

2.1.7.3. Perfil de una especie invasora

Se puede destacar que las características (“agente de cambio” y “amenaza para la diversidad biológica nativa”) son claves en la identificación para el perfil de las EEI. Ambas son, en ocasiones, difíciles de evaluar cuantitativamente y, con frecuencia, pueden permanecer enmascaradas debido a otros procesos antropógenos generadores de cambios en los ecosistemas (polución, erosión, destrucción de hábitats, etc.). Normalmente varios de estos procesos actúan simultáneamente y de forma sinérgica con la introducción de especies (26).

Además del potencial invasor de la especie, el proceso y resultado de invasión depende de la capacidad de cada ecosistema en resistir la invasión, y la presión invasora o la cantidad de invasores que alcanzan un área determinada. El potencial invasor es un atributo intrínseco de cada especie. La resistencia a la invasión depende de la estabilidad comunitaria y disminuye por las perturbaciones ocasionadas por las actividades humanas. La presión invasora depende de la frecuencia de introducciones por el hombre, la cantidad de individuos o semillas introducidas, así como de la capacidad dispersiva propia de cada especie (27).

- ✚ Pueden cambiar los hábitats y alterar la función de los ecosistemas y los servicios ambientales
- ✚ Excluyen o reemplazan a las especies nativas

- ✚ Dañan y perjudican actividades humanas
- ✚ Alteran la economía
- ✚ Representan un riesgo sanitario

2.1.7.4. Afectaciones ambientales por las especies exóticas invasoras

Uno de los efectos de la introducción de especies exóticas o exóticas invasoras son las invasiones biológicas que posiblemente se puedan producir, trayendo diversas consecuencias, no solo en aspectos biológicos sino también en diversos aspectos ambientales tales como hidrología, clima, composición del suelo, entre otros. Además, puede ser causa de un profundo impacto económico, tomando en cuenta su influencia en la agricultura y salud pública (28).

La expansión de las EEI se realiza a expensas de especies y ecosistemas nativos. Implica competencia por espacio, luz, nutrientes, alimento y otros recursos vitales con las especies nativas, depredación, incluyendo herbivoría, hibridación entre cepas nativas e introducidas (que puede debilitar la adaptación en las condiciones locales) y riesgos sanitarios. Todo esto afecta la abundancia, distribución, viabilidad y funciones ecológicas de las especies nativas, la estructura, función y condición de ecosistemas, altera los hábitats y puede resultar en cambios irreversibles como la extinción de especies y deterioro extremo de hábitats (27).

2.1.7.5. Área de distribución geográfica

Es la superficie geográfica ocupada por un taxón, con la que interactúa de manera no efímera, y se construye a partir de las localidades donde se ha registrado. El área de distribución potencial será la inferencia acerca de cuál es el área de mayor probabilidad en la que un taxón esté presente (29). Los factores que determinan entonces que una especie se encuentre en un área determinada son:

- ✚ Las condiciones abióticas (incluyendo al clima, ambiente físico, condiciones edáficas, etc., en general aquellos factores que limitarían fisiológicamente la sobrevivencia de un taxón en un área).
- ✚ Los factores bióticos (interacciones con otras especies que modifican la capacidad de mantener poblaciones).
- ✚ La dispersión hacia áreas accesibles dependiendo de la vagilidad de cada taxón.

- ✚ Las capacidades evolutivas de las poblaciones para adaptarse a nuevas condiciones.
- ✚ Los procesos de extinción.
- ✚ La presencia de barreras geográficas, relacionadas con eventos vicariantes.
- ✚ Los procesos de especiación.

2.1.8. Nicho Ecológico

Éste incluye a todos los factores bióticos y abióticos con los cuales cualquier organismo se relaciona, en un tiempo y espacio determinado. Formalmente, el nicho ha sido descrito como un hipervolumen de n-dimensiones, donde cada dimensión corresponde a uno de los factores antes descritos. De esta forma, el nicho involucra a todos los recursos presentes del ambiente, las adaptaciones de los organismos y cómo se relacionan éstos dos. Es decir hace referencia al tiempo actual en el cual se desarrolla el organismo, y cómo éste interactúa con los factores ambientales que lo rodean (29).

2.1.8.1. Nicho fundamental

Son todos los aspectos (variables) del espacio o hipervolumen en donde se desarrolla una especie, en la ausencia de otras especies. En pocas palabras, es el ambiente donde la especie puede vivir (30).

2.1.8.2. Nicho realizado/efectivo

Es un subconjunto del nicho fundamental en el cual las especies están restringidas debido a sus interacciones interespecíficas. De manera menos compleja, es el espacio ecológico y geográfico donde la especie vive, este concepto tiene una leve pero fundamental diferencia: “el Nicho realizado (RN) es la parte del nicho Potencial que las especies realmente usarían, después de tomar en cuenta los efectos de competidores y depredadores” (30).

Bajo este modelo el nicho ecológico comprende:

Una propiedad de la especie y no del medio ambiente.

Un espacio que evoluciona.

Su estructura se constituye por el desempeño de una especie medido en términos de adecuación.

2.1.8.3. Diagrama BAM

El diagrama BAM es un marco conceptual (Fig. 1); en este sentido **B** está compuesto por variables de tipo bionómico (relacionadas dinámicamente con la especie), que caracterizan interacciones interespecíficas (positivas o negativas), incluyendo recursos de los cuales depende la especie de interés. **A** corresponde a variables escenopoéticas o no dinámicas (no son modificadas, en un sentido amplio, por la especie), y que típicamente son más estables en el tiempo, tales como el clima de una región. Finalmente, **M** corresponde a una hipótesis sobre el área sobre la cual la especie tiene, o ha tenido, acceso para dispersarse (31).

- ✚ Factores bióticos (B)
- ✚ Factores abióticos (A)
- ✚ Accesibilidad o movilidad (M)

Cuando los conjuntos de áreas B, A y M de una especie coinciden geográficamente, se podrán encontrar poblaciones de dicha especie, ya que esas localidades serían accesibles, M, y presentarían las condiciones ambientales, A, y las interacciones interespecíficas suficientes, B, para mantener una tasa demográfica neta positiva.

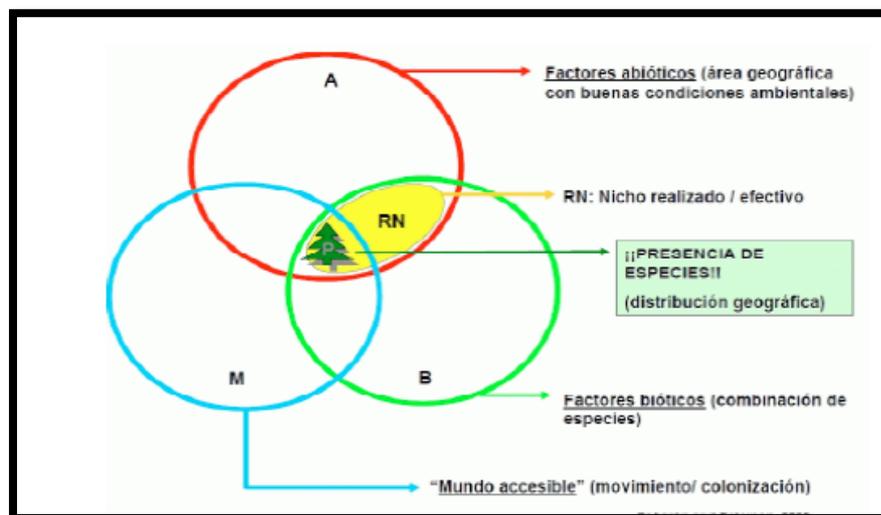


Figura 1. Esquema del diagrama BAM.

Fuente: Organismo Superior de los Recursos Forestales y de Fauna silvestre Perú (30).

2.1.9. Herramientas para predicciones de distribución de especies

El uso más frecuente de estos modelos en biogeografía es como predicciones o modelos del área de distribución geográfica de un taxón, los cuales pueden usarse para identificar posteriormente patrones biogeográficos, tales como los que conducen a proponer regionalizaciones biogeográficas. Actualmente, existen varios tipos de técnicas utilizadas como herramientas para la modelación de nichos ecológicos como son (29):

- ✚ BIOCLIM (Bioclimatic Envelope Algorithm)
- ✚ GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction)
- ✚ GLM (Generalized Linear Models)
- ✚ ENFA (Ecological Niche Factor Analysis)
- ✚ BRT (Boosting Regression Trees)
- ✚ Maxent (Maximum Entropy): Maxent está fundamentado en el concepto de máxima entropía, utilizando una aproximación mecanicista para realizar predicciones a partir de información incompleta. Maxent estima la distribución más uniforme (de ahí el concepto de máxima entropía) a lo largo del área de estudio con la restricción de que el valor esperado para cada variable ambiental en una distribución concuerda con su promedio empírico, valores promedio para el conjunto de datos de ocurrencia (14).

2.1.10. Modelos de nichos ecológicos utilizando Maxent

Maxent es un modelo multiuso basado en una aproximación estadística llamada máxima entropía que permite hacer predicciones utilizando información incompleta, en este caso datos de presencia u ocurrencia de la distribución de una especie (10).

Un modelo de distribución de especies es básicamente una caracterización de las condiciones ambientales adecuadas para estas especies, que ayuda identificar donde están espacialmente ubicados los sitios que cumplen con los requisitos adecuados para las especies en estudio (10). Esto hace que pueda ser utilizado en diversas áreas dentro de una amplia gama de problemáticas.

Dentro de las diversas aplicaciones de Maxent que se pueden nombrar se encuentran la priorización de zonas para iniciativas de conservación biológica y restauración ecológica como por ejemplo el estudio del murciélago de Ecuador (32), modelaciones

de efectos del cambio climático sobre los ecosistemas (13), y la evaluación de patrones de propagación de especies invasivas.

2.1.10.1. Máxima entropía

La entropía en este contexto es un concepto derivado de la teoría de la información, que nos dice qué tan aleatorio es algo, o sea es una medida de la aleatoriedad. Es decir, en una señal o conjunto de datos, si todos sus elementos son equiprobables cuando aparecen, entonces la entropía es máxima. Aplicando de manera práctica este concepto, se buscaría encontrar aquella distribución de probabilidades que maximice la entropía, dado ciertas restricciones que representan la información disponible (información incompleta) sobre el fenómeno o tema estudiado (30).

2.1.10.2. Análisis ROC (Receiver Operating Characteristic)

La base de este análisis es en cualquier caso la curva ROC. Una representación gráfica de la tasa de éxito frente a la tasa de falsa alarma para tareas de detección con sólo dos resultados posibles (sí / no, presente / ausente), según se varía el umbral o criterio para detectar la señal a lo largo de la escala de valores a partir de los cuales se hace la detección. La curva ROC es una técnica para visualizar, organizar y seleccionar clasificadores o marcadores basándose en la capacidad de discriminación de los mismos en todo el rango de puntos de corte (33).

Una especial atención se ha dedicado a la obtención de valores escalares únicos que puedan capturar las características y atributos esenciales de una curva ROC, emulando la forma en que algunas medidas de resumen, como la media y la varianza, capturan las características esenciales de los conjuntos de datos.

2.1.10.3. Área bajo la curva (AUC)

Maxent proporciona además una salida gráfica como el Área Bajo la Curva (area under the curve), de la curva ROC (receiver operating characteristic) que es un estadístico de ajuste, y varía entre 0 y 1. Un modelo ideal sería aquel en donde la sensibilidad alcance el valor de 1 y la tasa de falsos negativos sea cero, y por lo tanto con un $AUC = 1$. Por lo general, se considera que un valor de AUC por encima de 0.7 señala un buen ajuste;

un valor de 0.5, por otro lado, indica que la capacidad de predicción del modelo no es mejor que al azar (34).

2.1.10.4. Relación con las variables climáticas

Maxent permite determinar o predecir cómo variaría la distribución de una especie o un grupo de especies frente a cambios ambientales de temperatura, humedad, entre otros. El cambio climático no solo puede afectar a las actividades económicas o de conservación de especies, sino también a la salud humana. Maxent ha sido utilizado en los estudios de distribución de enfermedades tropicales como la *leishmaniasis*, frente a potenciales cambios en el clima (10).

Las proyecciones de los cambios en el sistema climático se elaboran empleando una jerarquía de modelos climáticos, que van de modelos climáticos sencillos a otros integrales, pasando por modelos de complejidad intermedia, así como modelos del sistema Tierra. Esos modelos simulan cambios basados en un conjunto de escenarios de forzamientos antropogénicos. Para las nuevas simulaciones de modelos climáticos se ha utilizado un nuevo conjunto de escenarios: las trayectorias de concentración representativas (RCP).

En todas las RCP, las concentraciones atmosféricas de CO₂ son más elevadas en 2100 respecto a la actualidad, como resultado de un mayor aumento de las emisiones de CO₂ acumuladas en la atmósfera durante el siglo XXI. Para situar esas proyecciones en un contexto histórico, es necesario considerar los cambios observados entre los distintos períodos.

WorldClim es una base de datos climáticos generados a partir de la interpolación de datos de estaciones climáticas globales desde el año 1950 – 2000 (35). Son 19 variables bioclimáticas derivadas de valores mensuales de temperatura y precipitación, y que representan la variabilidad climática a través de la descripción de tendencias anuales, estacionalidad y factores extremos en la temperatura y precipitación (tabla 1).

Tabla 1. Variables bioclimáticas para interpolación con los registros de presencia.

VARIABLE	SIGNIFICADO	BIO10	Temperatura promedio del trimestre más caliente (°C)
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)	BIO11	Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)
BIO2	Rango diario promedio (°C) (promedio mensual (temperatura máxima – temperatura mínima))	BIO12	Precipitación anual (mm)
BIO3	Isotermalidad (°C)	BIO13	Precipitación del mes más húmedo (mm)
BIO4	Temperatura estacional (°C)	BIO14	Precipitación del mes más seco (mm)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente (°C)	BIO15	Precipitación estacional (mm) (coeficiente de variación)
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)	BIO16	Precipitación en el trimestre más húmedo (mm)
BIO7	Rango de temperatura anual (°C)	BIO17	Precipitación en el trimestre más seco (mm)
BIO8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo (°C)	BIO18	Precipitación en el trimestre más caliente (mm)
BIO9	Temperatura promedio del trimestre más seco (°C)	BIO19	Precipitación en el trimestre más frío (mm)

Fuente: Leguía (13).

Elaborado: Autora

2.2. Marco referencial

De acuerdo a estudios basados en la predicción de distribución espacial o nichos ecológicos de EEI ante diferentes escenarios de cambio climático, se presentan a continuación aspectos relevantes de revisión bibliográfica que aportan sustento y validación a esta investigación. Cabe mencionar que para Ecuador continental existe escasa información sobre la predicción de la distribución geográfica para especies exóticas invasoras; hecho que hace mérito para tomar como referencia estudios a nivel mundial o de países cercanos (36).

2.2.1. Casos de estudios

M. Quesada et al. (37), realizó su estudio basado en tres cambios climáticos de trayectorias de concentración representativas (RCP) en tres diferentes circunstancias: RCP 2.6 (mitigación), RCP 4.5 (estabilización) y RCP 8.5 (aumento considerable en las emisiones de carbono equivalente); con un total de 15 Modelos de Circulación Global (GCM) para el escenario RCP 2.6; además 19 y 17 GCM en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

El área de estudio lo constituye todo el territorio de Costa Rica, ya que es puente de migración para muchas especies entre América del Sur y América del Norte; la Cordillera de Talamanca es la que presenta la altitud máxima en Costa Rica, su forma angosta y con influencia de las vertientes Pacífico y Caribe, genera cambios drásticos en variables climáticas en distancias muy reducidas. Para lo que se usó la información de las colecciones de cinco especies de plantas del Herbario Nacional de Costa Rica (CR); por medio de su la página digital y visitas a la colección física, además bases de datos como Trópicos, Missouri Botanical Garden, y datos de campo en recorridos sobre el Parque Nacional Volcán Irazú. Se recopiló un total de 718 ocurrencias en todas las cinco especies. Para cada especie se realizaron modelos predictivos con la distribución potencial actual y dos proyecciones a los años 2050 (promedio de 2041-2060) y 2070 (promedio de 2061-2080).

De las cinco especies, *Ilex pallida* es la única especie que presentó ganancia de todas las proyecciones en área de los escenarios RCP 2.6 y RCP 4,5 con respecto a la distribución potencial actual. En todas las proyecciones bajo el escenario RCP 8,5 tienden a disminuir en área en comparación a la distribución actual, siendo la especie más

afectada el árbol *Comarostaphylis arbutoides* con una pérdida de 942,56 km² (-69,76%) para el año 2050 y 875,48 km² (-64,80%) para el año 2070. Sin embargo, el escenario RCP 2.6 para la especie *C. arbutoides* tiende a aumentar el área en las proyecciones de los años 2050 y 2070 con valores de 47,3 km² y 105,78 km² respectivamente, en relación al nicho ecológico actual (1351,06 km²).

La disminución en el escenario RCP 8.5 equivale a casi la mitad del nicho ecológico actual para la especie *V. consanguineum*, siendo de las pérdidas más importantes. La especie *Ilex pallida* tuvo la mayor distribución en el gradiente altitudinal. El parámetro de mayor consideración es el relieve, debido a la altitud en la que se dispone la distribución actual de las especies seleccionadas, lo que a la vez es una limitante para la sobrevivencia, ya que en distancias muy cortas se presentan cambios considerables de temperatura y precipitación.

Exhibiéndose un margen de error al generarse pérdida en el área de distribución de las especies que se encuentran en mediana o alta altitudinal. Siendo además una afectación directa a la fauna como en el caso de la especie del género *Vaccinium spp.* que provee de alimento con su fruto. Se notaron escenarios futuros desfavorables para la especie *V. consanguineum* a pesar de ser dominante en los páramos, su situación proyectada a largo plazo puede conllevar a la colonización por otras especies y generar variaciones en el ecosistema y las interacciones con la fauna.

A. Alkische et al. (38), estudió la distribución potencial geográfica del vector de la enfermedad que transmite *Ixodes ricinus* con respecto al clima actual, y evalúa su posible distribución futura bajo diferentes escenarios de cambio climático. Abarcó una extensión continental que incluye Europa, Norte de África y Medio Oriente. Las proyecciones futuras se basaron en datos climáticos de 17 modelos generales de circulación (GCM) en dos escenarios representativos de emisiones de vías de concentración (RCP), para los años 2050 y 2070.

Se eligieron dos vías de concentración representativa, RCP 4.5 y RCP 8.5 (correspondientes a un nivel de desarrollo cada vez más alto, emisiones de gases, respectivamente) para 2050 y 2070. Los modelos de nicho ecológico se estimaron en función del algoritmo de entropía máxima implementado en Maxent 3.3.3k. Se utilizó la

herramienta SDMTools de ArcGIS 10.3 para eliminar variables con altas correlaciones intervariables. Quedando 6 variables para el análisis: temperatura media anual, rango de temperatura diurna media, isoterminia, rango de temperatura anual, precipitación anual y estacionalidad de la precipitación.

Las variables de precipitación anual, rango de temperatura anual y promedio anual temperatura fueron los factores más influyentes y contribuyeron un 86% al modelo de Maxent. Los modelos basados en las condiciones actuales revelaron áreas con alta aptitud para *I. ricinus* en Europa Central y Occidental, incluidos los países de Gran Bretaña, Francia, Alemania, Bélgica, los Países Bajos, Grecia e Italia. En el norte de Europa, la mayor idoneidad para *I. ricinus* estaba en el sur de Finlandia, el sur de Suecia y el oeste de Noruega.

Según RCP 4.5 para el 2050, se esperan expansiones (aunque con baja confianza) en el norte de África, Oriente Medio y Europa oriental y septentrional. Debajo RCP 8.5, las expansiones en Europa del Este y del Norte, Turquía y el Medio sería más amplio en comparación con RCP 4.5. En 2070, áreas adecuadas para *I. ricinus* aumentó en Noruega, Suecia y Finlandia, con alta confianza en Turquía, el Medio Este y Norte de África bajo RCP 4.5 y RCP 8.5. Entre el presente y 2070, el área de distribución potencial se prevé que aumente en un 11.5% y 14.5%.

J. Kaslin (39); basó su investigación en la distribución actual y potencial de las poblaciones del género *Latrodectus* en Ecuador. Se registraron siete nuevas localidades para la especie *L. geometricus* y ocho para la especie *Latrodectus sp.* Se utilizaron 17 variables bioclimáticas, que representan los parámetros ambientales que pueden limitar la capacidad de la especie para sobrevivir. La extensión del área para el modelamiento fue 242.043 km².

Para los modelos a futuro se utilizó las mismas capas proyectadas al año 2050 en dos escenarios (A2 y B2). El primero describe un mundo muy heterogéneo, el segundo hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental; la mayor probabilidad de presencia para ser muestreada fueron: Latacunga, Mitad del Mundo, Santa Elena, Jerusalén y Guayllabamba; la única localidad donde no se tiene registros fue Santa Elena. El análisis de la contribución de las variables ambientales

indicó que para *L. geometricus* la variable estacionalidad de temperatura es la que mejor explica la distribución con 88.8%, para *Latrodectus sp.* la variable que mejor explica su distribución es la temperatura media del trimestre más húmedo con un 49.4 %.

En el escenario A2 se calculó un aumento del área de presencia de 0.49 % y en el B2 un aumento de 7.70 %. En ambos escenarios se pudo observar un aumento considerable del área con probabilidad de 0,65 a 1 en las zonas donde se registró la especie *Latrodectus geometricus* y en general al norte del Ecuador. En el escenario A2 se observó que hay una gran reducción de áreas potenciales de existencia en la zona sur del Ecuador, El escenario B2 demostró el mismo patrón que el escenario A2 con la diferencia que las áreas modeladas con altas probabilidades no disminuyen drásticamente sobre todo en el sur del Ecuador.

M. Olson & L. Alvarado (40), contribuyo demostrando que el árbol *Moringa oleifera* forma parte de la horticultura tradicional del trópico seco mexicano, por sus propiedades nutritivas, farmacocinéticas e industriales, existe un interés en fomentar su cultivo; para lo que se realizó un estudio sobre dónde se debe cultivar analizando su distribución potencial.

Los datos de la distribución conocida del cultivo de moringa muestran que está presente en 15 estados de la República Mexicana, la mayoría de ellos distribuidos en la costa del Pacífico. El mapa del modelo editado con base en la probabilidad del umbral del percentil 10% arrojó una superficie de 91,293 km² y el de probabilidad del 50% fue de 63,962 km² como potencialmente idónea para el cultivo de moringa, con base en este último mapa son 13 los estados con mayor probabilidad sobresaliendo Guerrero, Michoacán y Oaxaca.

E. Aragón et al. (41), el Golfo de California es el mar que inició, en 2002, la pesquería de almeja sifón *Panopea spp.* Siendo, *P. globosa* la que contribuye con más del 85% de las capturas totales. Lo que genera la necesidad de explorar nuevas áreas de pesca; primeramente, se localizaron las áreas de distribución potencial con fines de explotación en el Golfo y posteriormente se evaluó el efecto del cambio climático sobre su distribución futura. Para determinar el hábitat potencial se utilizaron los datos provenientes de pesca comercial y registros de la lista de verificación de la macro fauna.

Para evaluar si el aumento en la temperatura superficial del mar tiene algún efecto en los nichos ecológicos y distribución potencial de *P. globosa*, se incorporaron al modelo MaxEnt mapas de tendencias de temperatura estimadas para el año 2050.

Se predijo un hábitat potencial para *P. globosa* con altas tasas de éxito en el Área bajo la curva [AUC] = 0.99. Se muestra una relación positiva en aguas poco profundas (<100 m) y las áreas productivas con altas concentraciones de clorofila-a (>8 mg/m³) y nitrato (1.5 – 2 Mol/l). El hábitat más adecuado estuvo en el Alto Golfo de California, Guaymas, Sonora, la costa de Santa Rosalía y la Isla San Marcos. Para estimar las tendencias de temperatura en el 2050, la diferencia de la temperatura superficial del mar en el Golfo con respecto a la actual podrá ser de más de 1 °C.

Al compararse las curvas de respuesta de temperatura promedio (obtenida del primer modelo) y la temperatura en 2050, se observó que el aumento de temperatura reduce el rango de mayor probabilidad de presencia hacia zonas más cálidas (24.5 °C– 25.8 °C).

A. Carbajales (42). El impacto de *Gleditsia triacanthos* (acacia negra) sobre los bosques nativos asociados a cursos fluviales en Uruguay ha sido reconocido, de manera que se busca contribuir con lineamientos al diseño de estrategias de manejo para esta especie invasora a partir de generar información espacial.

Se obtuvo que en todos los casos, que el área bajo la curva (AUC) superó el 0,75 se clasificó la probabilidad estimada de presencia en muy baja, baja, media y alta, identificando dos áreas potenciales el litoral oeste del país y la zona metropolitana; siendo la precipitación del verano, la temperatura mínima del mes más frío, la superficie de suelos con drenaje rápido, y la superficie de suelos con drenaje moderado, las variables de mayor aportación.

En un escenario conservador las áreas aptas constituyen 1`442.200 has (8% del territorio nacional); por tanto en un escenario liberal cubriría una superficie de 5`553.100 has lo que representa el 32%. Relativo a la superposición de los modelos, se señala que para 4 de las 7 ecorregiones tienen áreas con focos de alta probabilidad de presencia.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en la parte continental de Ecuador (Fig. 2), que limita al norte con Colombia, por el sur y este con Perú y al oeste con el océano Pacífico. Además, se encuentra dividido en cuatro regiones que son: Costa, Sierra, Oriente e Insular y tiene la influencia de la Cordillera de Los Andes, la cual influye en su climatología (húmedo- cálido).

Con una época lluviosa muy marcada que va desde fines de diciembre hasta mayo, con un máximo entre marzo y abril, y una seca, desde junio hasta fines de diciembre. La mayor pluviosidad se da en la parte norte de la región, con valores anuales de hasta 4000 mm, mientras que la menor se da en la península de Santa Elena, con lluvias inferiores a 250 mm al año. El régimen térmico se caracteriza por una variación de 2-3°C entre el mes más cálido y el 4^{to} más frío (43), y una temperatura promedio de 23-25°C (44).

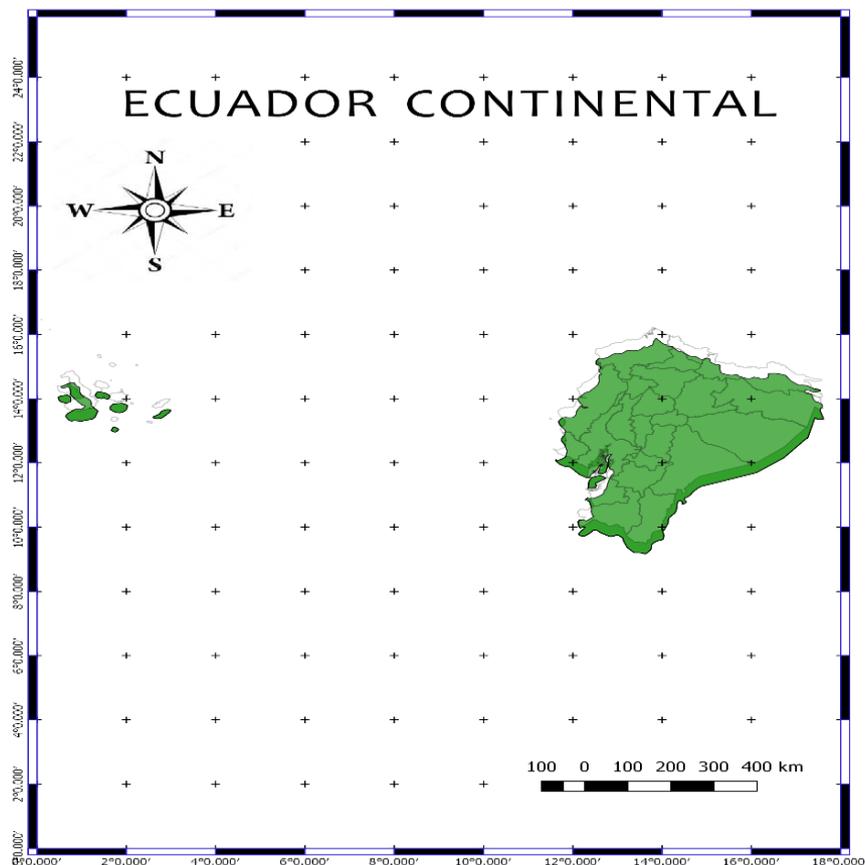


Figura 2. Mapa de Ecuador.

Elaboración: Autora

3.2. Tipos de investigación

3.2.1. Exploratoria

Para la modelización de los nichos ecológicos, con sus respectivos mapas de distribución geográfica potencial y la identificación de zonas de riesgo actual y bajo los escenarios de cambio climático futuros; se utilizó una investigación exploratoria, debido a que existe escasa información sobre invasiones biológicas de EEI (36) y sus nichos ecológicos proyectadas en Ecuador actualmente y a futuro. Por lo que la investigación sirve de indicios para realizar otras derivadas y profundizar en la distribución de una especie en particular con todas las variables ambientales que conllevan su presencia o ausencia dentro de un ecosistema.

Se exploraron los sitios idóneas para la presencia de especies terrestres exóticas invasoras (*Arachis pintoi*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava*, y *Asclepis curassavica*) en Ecuador; revelando las zonas con mayor incidencia de presencia en tiempo presente y futuro (año 2050). Se evaluó un escenario conservador RCP 4.5 y uno extremo RCP 8.5.

3.2.2. Experimental

Se consideró dentro de este proyecto, a este tipo de investigación ya que conlleva la inclusión de dos variables las cuales se consideraron como dependientes las especies exóticas invasoras y la independiente corresponde a las 19 variables bioclimáticas actuales y futuras (para RCP 4.5 Y RCP 8.5). Por lo que en la modelación de cada nicho ecológico se obtuvo la importancia de permutación en porcentaje, estas reflejaron la dependencia de la idoneidad pronosticada tanto para la variable seleccionada como para las dependencias inducidas por las correlaciones entre las mismas.

Demostrando el conjunto de variables bioclimática que midieron la precisión en cada variable independiente para predecir la dependiente. Lo que sirvió para pronosticar y examinar los sitios en nuestro país con la disponibilidad climática tanto favorable o desfavorable para el establecimiento de las especie de interés.

3.2.3. Descriptiva

Para calcular los cambios geográficos potenciales originados para Ecuador Continental por cada especie exótica invasora, bajo los dos escenarios futuros, se utilizó una investigación de tipo descriptiva que permitió obtener los datos en km² distribuidos de acuerdo a la equivalencia de nicho ecológico que corresponde a la categorización de no ocupación, rango de expansión, sin cambios y contracción de rango. Obteniendo de esta manera un mapa distributivo con el área correspondiente a la equivalencia antes mencionada y así conocer las zonas donde una especie a futuro (año 2050) se puede expandir u encontrarse registros de la misma por primera vez.

3.3. Método de investigación

- ✚ **Método deductivo:** mediante este método, se utilizó como datos generales los registros existentes de la presencia de cada especie en los diferentes países a nivel mundial, en correlación con las variables bioclimáticas actuales (años 1961-1990) y las futuras con su centro en el año 2050 correspondientes al cambio climático, de vías representativas de gases de efecto invernadero (RCP) bajo escenarios conservador (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5).

Lo que condujo al razonamiento de que la modelización de nicho potencial de las EEI que determinó la distribución geográfica con las condiciones óptimas para su dispersión en Ecuador Continental, estuvieron influenciados principalmente por la presencia o ausencia de variables climáticas (temperatura, precipitación, humedad) y las mismas que sufren cambios constantes debido a las concentraciones de gases de efecto invernadero.

- ✚ **Método descriptivo :** Se hizo utilización de este método, habiéndose obtenido las respectivas distribuciones con las zonas óptimas (mapas de modelización) para la presencia de las especies en nuestro país, se realizó un análisis mediante el cual se logró exponer las zonas de riesgo de invasión para los tres escenarios (actual, RCP 4.5 y RCP 8.5) proyectados en Ecuador Continental; y se describió cuáles fueron las regiones y provincias donde actualmente existen las especies *Arachis pintoi*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava* y *Asclepias curassavica* ; y hacia que sitios en el año 2050 bajo los diferentes escenarios de cambio climático RCP lograron establecerse.

✚ **Método comparativo:** La generación de los mapas representativos sobre los cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental y una tabla con la respectiva distribución del área (m²) correspondientes a la comparación cuantitativa, permitió la categorización por cada especie de acuerdo a su rango de expansión, sin ocupación, ningún cambio y contracción de rango para comparar la extensión del área que ocupa la especie *Arachis pintoii*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava* y *Asclepias curassavica* en el presente con el futuro para su respectivo escenario RCP 4.5 Y RCP8.5; Lográndose obtener los cambios en su distribución.

3.4. Fuentes de recopilación de información

3.4.1. Fuentes primarias

Se utilizó la base de datos Global Invasive Species Database GISD (<http://www.iucngisd.org/gisd/>) como medio de verificación, para asegurar que las especies seleccionadas para esta investigación consten dentro de esta base, que comprende grupos taxonómicos de microorganismos; flora y fauna además se centra en las especies exóticas invasoras potencialmente negativas para la biodiversidad.

Para obtener los registros de presencia (un mínimo de 100 registros) se accedió a la herramienta Nichetoolbox (<http://shiny.conabio.gob.mx:3838/nichetoolb2/>) con la finalidad de acelerar el proceso de descarga de las localidades georreferenciadas. Esta base de datos extrae información de GBIF (Global Biodiversity Information Facility).

Se utilizó Worldclim, que contiene datos climatológicos globales; de esta base de datos se descargaron las variables bioclimáticas futuras con su centro en el año 2050 (2041-2060) para los dos escenarios RCP4.5 Y 8.5; el modelo escogido fue GFDL-CM3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), que tiene una resolución espacial de 0.5° x 0.5° (55 x 55 km aprox.); y mediante un proceso de reducción de escala, se estructuraron a 30" x 30" (926 x 926 m aprox.). Para generar los escenarios a muy alta resolución espacial y que incorporan el efecto topográfico considerado en la climatología base (45).

Se escogió el modelo GFDL-CM3 en base a que posee la integración de procesos físicos y variables (vegetación, topografía, sistemas hídricos internos (lagos), gases de efecto de invernadero de naturaleza diferente al CO₂, entre otras), con similitud a los de nuestro país. Siendo el proceso de mayor influencia la zona de convergencia intertropical (ZCIT), que describe un comportamiento climático bimodal sobre la zona, que se caracteriza por épocas secas y húmedas trimestrales (45). Adicionalmente, los vientos que provienen del sur y del norte con dirección al Ecuador como consecuencia del cinturón de bajas presiones en el trópico, son desviados hacia el oeste debido al movimiento de rotación de la tierra (vientos Alisios).

3.4.2. Fuentes Secundarias

La recopilación de información bibliográfica se basó en el análisis, lectura e indagación principalmente de:

- ✚ Artículos de revistas científicas
- ✚ Casos de estudios
- ✚ Tesis de grado
- ✚ Manuales instructivos
- ✚ Enciclopedias

3.5. Diseño de la investigación

La selección de las EEI primero se basó en que fuesen especies terrestres ya que durante el tema de investigación se determinó escenarios futuros de distribución con referencia en escenarios climáticos, y de estos escenarios no existen registros en la zona marítima. Segundo, que el riesgo que representan al ser especies invasoras sea extendido en el país, y no solo en determinadas islas; y finalmente que las especies seleccionadas tengan al menos 100 reportes de registros tanto en sus zonas nativas como en otras donde han invadido a nivel mundial (Tabla 2).

Tabla 2. Especies exóticas invasoras seleccionadas en el proyecto de investigación para la modelación del nicho ecológico ante escenarios futuros de cambio climático.

	Especie	Nombre común	Lugar nativo	Lugar de invasión
FLORA	<i>Arachis pintoii</i>	Maní forrajero	América del Sur	Australia Costa Rica Brasil
	<i>Melinis minutiflora</i>	Pasto común	Oeste de África	Costa Rica Jamaica Paraguay
	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Mesoamérica	Veracruz México Cuba
	<i>Asclepias curassavica</i>	Platanillo	América tropical	México Venezuela Perú

Elaboración: Autora

Se utilizó Maxent el cual se diferencia de otros softwares para modelación de especies por utilizar datos sólo de presencia para sus predicciones, por lo que fue necesario a partir de los registros obtenidos de presencia de las especies seleccionadas, realizar una filtración de los mismos (35); la que consistió en prescindir de puntos con referencia geográfica desconocida, aquellos puntos localizados en el mar o los que estuvieran duplicados. Este paso ayuda a eliminar los sesgos espaciales y permite mejorar la predicción de la distribución.

El modelo de nicho ecológico (climático), se proyectó a un escenario actual para el país cuyas variables bioclimáticas (BIO) comprenden los años (1961- 1990) y a escenario climático futuro, con su centro en el año 2050 que comprende los años (2041-2060) a una resolución de 1 km, utilizando dos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno conservador (RCP 4.5) y otro extremo (RCP 8.5).

Utilizando los datos de las variables bioclimáticas, se obtuvieron 19 capas bioclimáticas actuales (años 1961- 1990) y futuras con su centro en el año 2050 cada juego de variables correspondientes a las vías de concentración representativas RCP 4.5 y RCP 8.5 a nivel mundial. En el sistema de información geográfica QGis, se subieron los registros de presencia de las especies y el mapa mundial, donde fueron seleccionados

los países representativos de zonas donde existieron puntos de presencia de la especie exótica invasora; así se logró obtener la zona accesible o de movilidad conocida como M para cada una de las especies (países con presencia de la especie).

Para la proyección de las especies exóticas invasoras en Ecuador continental, tuvieron que ser recortadas y transformadas en formato Ascii.; tanto el juego de variables bioclimáticas actuales como futuras, obteniéndose de esta manera tres conjuntos de datos para el país (actual, 2050-RCP 4.5 y 2050-RCP 8.5). Haciendo uso de las localidades de presencia de las especies y de las variables bioclimáticas como datos de entrada; se generó la proyección en el espacio geográfico del nicho potencial para *Arachis pintoi*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava* y *Asclepias curassavica*, a través del software Maxent; este supone una asociación correlativa entre las especies y las variables ambientales en un espacio geográfico (46).

Este nicho fue proyectado al espacio geográfico para obtener un mapa de distribución potencial por especie en Ecuador, que fue evaluado con los registros de validación para obtener la curva ROC que se puede interpretar como el área que ante la probabilidad de que ante un par de puntos, uno con presencia y otro sin presencia (de la especie), la prueba los califique correctamente; y caracterizó el rendimiento de un modelo con el área bajo la curva o (AUC) interpretando entre valores 1 (prueba perfecta) y 0.5 (prueba invalida).

Para identificar las zonas de mayor vulnerabilidad de invasión se transformaron los mapas continuos de adecuación a mapas binarios de nicho-no nicho, utilizando como umbral de corte el método *minimum training presence*, método que utilizó como umbral de corte la adecuación asociada al menor registro de presencia adecuado de los datos de calibración, y es uno de los más utilizados y de mejores resultados (47). Los mapas comparativos de la expansión, contracción o estabilidad de la distribución potencial futura de las EEI fueron calculados con la herramienta SDMTool de ArcGis 10.1.

3.6. Instrumentos de la investigación

- ✚ Se empleó el SIG QGis, donde se visualizaron, analizaron y crearon datos con el formato necesario que Maxent requiere. Se produjeron las respectivas capas bioclimáticas actuales (1961- 1990) recortadas y transformadas en formato

ASCII para cada especie, con respecto a su distribución a nivel mundial y usando el mismo proceso para obtener las capas bioclimáticas necesarias de Ecuador actuales y su proyección (2041-2050).

- ✚ Los modelos de nicho ecológico (ENM) se estimaron en función del algoritmo de máxima entropía implementado en Maxent 3.3.3k (48). Para lo que se realizaron 5 réplicas por cada especie (*Arachis pintoii*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava*, y *Asclepias curassavica*).
- ✚ Archivos html generados por Maxent; los que contiene un resumen estadístico de la validación cruzada, generando sus respectivas curvas ROC y promedio de AUC en cada modelo y curvas de respuesta de resumen.
- ✚ En ArcGis 10.1. se utilizó la herramienta SDMTTool muy útil para distribución de especies y análisis geoespaciales, donde se calculó el área en km², de los respectivos cambios geográficos potenciales para cada especie en su respectivo escenario conservador (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) de cambio climático.

3.7. Tratamiento de los datos

En Maxent los valores de logística de salida (área bajo la curva AUC) van desde 0 que significa hábitat inadecuado a 1 que es hábitat óptimo; cuando el valor de la función de distribución es > 0.5 indica que las condiciones son favorables para la presencia de la especie, valores contrarios < 0.5 indica condiciones de hábitats inadecuadas (48). Haciendo uso de las localidades de presencia de las especies y de las variables bioclimáticas se modelaron el nicho ecológico (climático) para cada especie, a través del software Maxent (46).

La máxima entropía, es el método en el que se basa Maxent, se desarrolló específicamente para crear SDM (modelos de distribución de especies) con "presenceonly" datos de ocurrencia de especies (49), teniendo como principio que la mejor aproximación de una distribución desconocida es la que tiene máxima entropía (la más dispersa) sujeta a restricciones. Las restricciones están definidas por el valor esperado de la distribución, que se estima a partir de un conjunto de observaciones de presencia de especies; o sea la entropía máxima es igual al evento más probable.

La producción bruta de Maxent es una función exponencial que asigna una probabilidad a cada sitio; para lo que se realizaron iteraciones, que es donde se fue dando distintos pesos a las variables utilizadas y fue ajustándolas, esto es un algoritmo determinístico que garantiza que convergerá en la distribución de probabilidades. Al terminar la iteración Maxent asigna una probabilidad negativa a cada pixel del área total de estudio, al final deben sumar 1, Cada pixel presenta valores muy pequeños e indican probabilidad de ocurrencia de la especie (48).

El software se cargó con variables o capas bioclimáticas en formato Ascii. y con datos de presencia de la especie, es decir sus coordenadas decimales guardados en archivos de formato CSV (disponible en Excel). Se pueden mantener los valores default como el umbral de convergencia = 10^{-5} e iteraciones de 5000. Que empíricamente se han observado que funcionan bien, y son conservativos pero permiten al algoritmo llegar cerca de la convergencia (47).

Obteniéndose mapas de probabilidad de distribución en tipo Ascii y una hoja de resultados en html con imágenes de los mismos mapas en tipo de archivo (*.png) y una serie de estadísticos de validación como las curvas ROC y promedio de área bajo la curva (AUC) en todos los modelos.

3.8. Recursos humanos y materiales

Para el proyecto de investigación que se realizó se contó con la disposición, apoyo y guía de los siguientes:

Recursos Humanos

-  Blga. Yarelys Ferrer, PhD
-  Blg. Juan Pablo Urdanigo
-  Srta. Mariana Cedeño

Mientras que los materiales utilizados fueron:

-  Hojas A4
-  Cuadernos y libretas
-  Esferos
-  Enciclopedias

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Luego de aplicar las herramientas y metodologías para la modelación de 1 ecológico de las especies de flora seleccionadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Arachis pintoi

Descripción

Es una planta herbácea perenne, de crecimiento rastrero y estolonífero que se llega a extender hasta 1 m sobre la superficie del suelo. Tiene hojas verdes alternas compuestas de cuatro folíolos, tallos ligeramente simples, aplanados y con entrenudos cortos. Posee flores amarillas y presentes durante todo el año; los frutos son pequeños, rugosos, ovalados y presenta muy buena germinación. Entre las principales características que distinguen a esta leguminosa están: su compatibilidad con especies de gramíneas, adaptación a suelos ácidos, resistencia a plagas y enfermedades, resistencia al pastoreo y pisoteo, buen valor nutricional y producción de semillas durante todo el año (50).

Hábitat

Crece bien en suelos pobres, ácidos, con alta saturación de aluminio, pero se da mejor en suelos de mediana fertilidad, franco arenosos con buen contenido de materia orgánica. También tolera mejor la sequía, la sombra y debido a su rápido establecimiento es recomendado como cultivo de cobertura en plantaciones permanentes tales como café, cítricos, árboles maderables (51).

Se ha notado que la leguminosa en alturas intermedias de aproximadamente 1400 msnm pierde agresividad, las hojas se tornan pequeñas y el crecimiento inicial es bastante lento (51); por lo que se considera que la mejor adaptación se da en zonas con una precipitación anual entre 2000 y 3500 mm y con una estación seca menor de 4 meses.

Impacto

Debido al contraste que presenta esta leguminosa con las gramíneas; estas últimas bajan su calidad nutritiva con el tiempo y *Arachis* mantiene valores altos. Se ha caracterizado, por la excelente persistencia en las asociaciones bajo pastoreo con las especies rastreras e invasoras, esto porque posee características que le ayudan a resistir el pastoreo y le permiten invadir fácilmente cualquier suelo descubierto. La capacidad de regeneración es muy amplia, lo que contribuye a persistir y resistir los efectos del mal manejo (50).

Según la proyección al espacio geográfico del modelo de nicho ecológico obtenido para *Arachis pintoii* en Ecuador, la zona geográfica con condiciones climáticas adecuadas para su distribución se ubicó en la región del Oriente (Fig. 3) con excepción de la provincia Zamora Chinchipe donde su presencia está menos extendida, así como en Los Ríos, Guayas y una pequeña parte de Manabí. Se consideró que el ajuste del modelo fue bueno ya que obtuvo un $AUC = 0.72$.

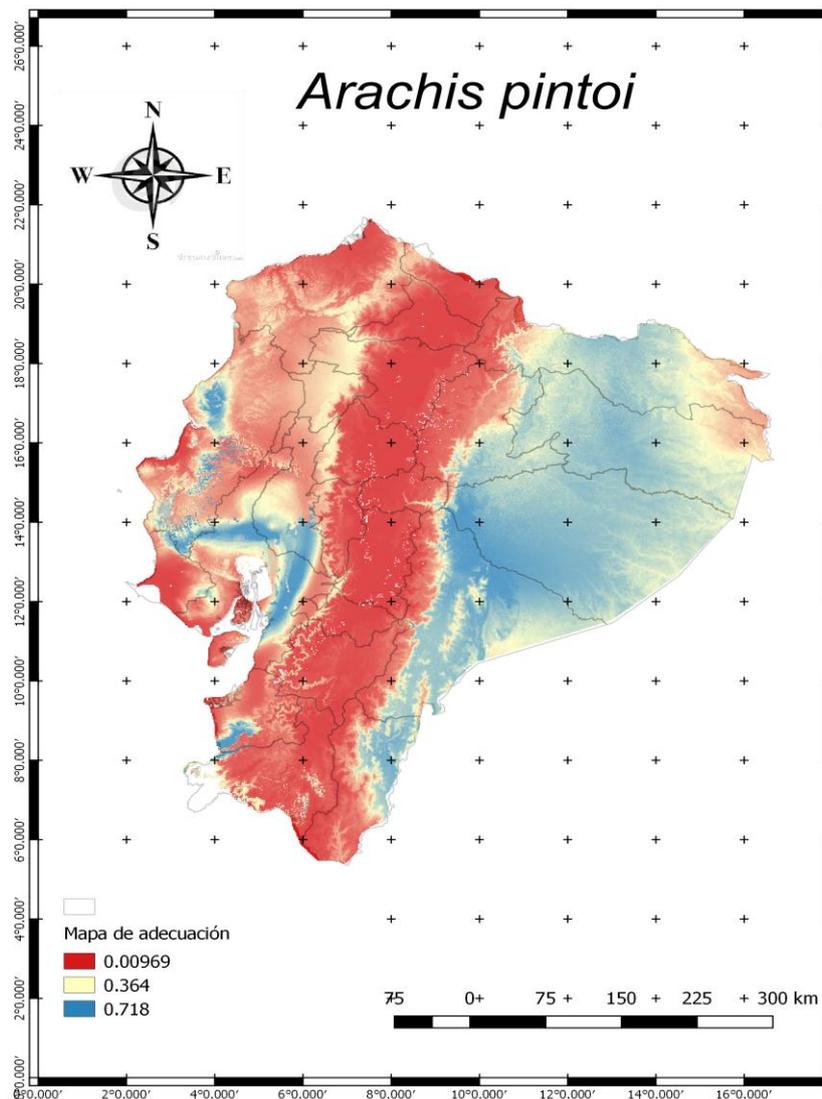


Figura 3. Distribución geográfica potencial de *Arachis pintoii* en Ecuador continental.

Elaboración: Autora

Para el escenario futuro RCP 4.5 en Ecuador, *A. pinto* se ubicó geográficamente en la región Oriente, existiendo además condiciones adecuadas en un área pequeña de la provincia de Manabí (Fig. 4).

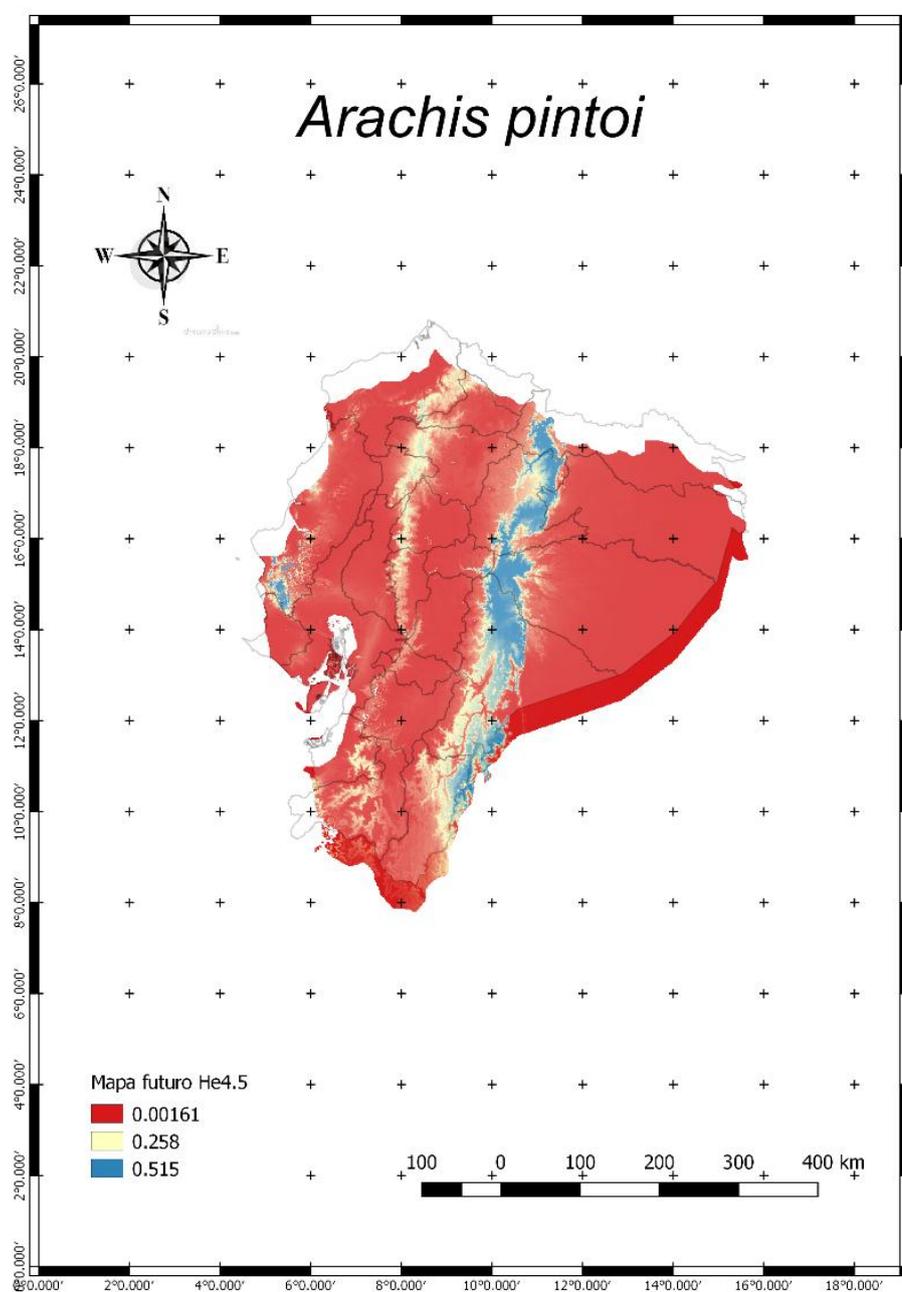


Figura 4. Distribución geográfica futura de *Arachis pinto* en el escenario de cambio climático RCP 4.5 en Ecuador continental.

Elaboración: Autora

Las variables precipitación en el trimestre más húmedo, precipitación en el trimestre más frío y estacionalidad de la temperatura fueron las de mayor relevancia y contribución al modelo de nicho ecológico de *A. pinto* (Tabla 3).

Tabla 3. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo de nicho ecológico de la especie exótica invasora *Arachis pinto*.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Precipitación en el trimestre más húmedo	25.6	7.2
Precipitación en el trimestre más frío	17.4	22.9
Temperatura estacional	13.5	6.2
Temperatura promedio anual	6	3

Elaboración: Autora

Según el comportamiento del modelo, existe un valor de precipitación en el trimestre más húmedo (aproximadamente 700 mm) que maximiza la adecuación climática para la especie (Fig. 6). Valores inferiores o superiores minimizan esta adecuación.

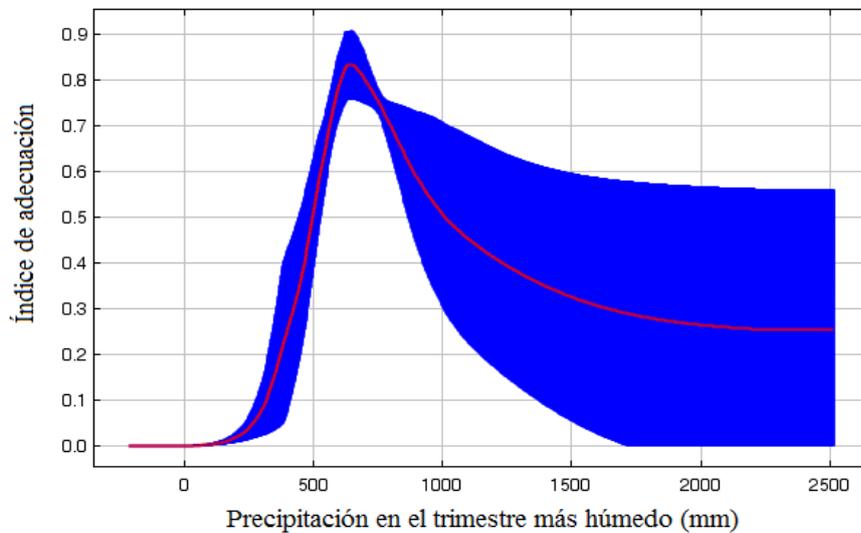


Figura 6. Comportamiento de la adecuación climática del modelo de nicho ecológico de *Arachis pinto* ante la variación de la precipitación en el trimestre más húmedo.

Melinis minutiflora

Descripción

Es una hierba perenne, posee tallos de hasta 1.5 m de alto con hojas cubiertas por un follaje oloroso y pegajoso. La inflorescencia es de color rojizo. Florece por período corto. Se cree que el olor fresco de *Melinis minutiflora* repele insectos y serpientes. La reproducción es asexual por método de clonación natural por semilla botánica y por las semillas que son dispersadas por el viento (52). Es una hierba baja, poco ramificada; los tallos, que emiten raíces en los entrenudos inferiores, tienden por lo común a doblarse, pero si crecen en forma densa se levantan verticalmente. Las espiguillas, muy menudas son de color púrpura (53).

Es una especie resistente a la sequía, pero no al fuego o al anegamiento. Sigue creciendo durante todo el año, siempre que llueva.

Hábitat

Crece en zonas donde la precipitación anual está entre los 800-1800 mm; lugares como pastizales, lugares sombreados y pendientes rocosas en climas húmedos y subhúmedos. Se encuentra en una variedad de terrenos con buen drenaje, con textura de superficies desde arenas hasta arcilla. Tolera pH desde 4.5 a 8.4 y altas cantidades de aluminio. No tolera la salinidad. Se ha adaptado a suelos infértiles y es sensible a las heladas, si son intensas y reiteradas, muere (53). Es común en cultivos de caña de azúcar, cítricos, manzana, arroz, frijol, maíz, mango.

Impacto

Genera riesgo de que pueda convertirse en una plaga grave. Se considera principalmente invasora en pastizales naturales y matorrales, como mala hierba. Genera gran cantidad de biomasa que al secarse favorece la frecuencia de incendios convirtiéndose en una amenaza para las zonas urbanizadas. Además, el crecimiento denso que presenta desplaza a especies nativas. Las plantas crecen intensamente para formar gruesas mantas sobre el suelo, ahogando a otras especies de vegetación herbácea. Dificulta el establecimiento de otras plantas mediante la secreción de sustancias alelopáticas (52).

Según el modelo de nicho ecológico de *Melinis minutiflora* en Ecuador, las zonas con adecuación climática se distribuyeron en las regiones Costa y Sierra, con una menor adecuación en una pequeña parte de la provincia Esmeraldas (Fig. 7). Se consideró que el ajuste del modelo fue bueno ya que obtuvo un **AUC = 0.94**.

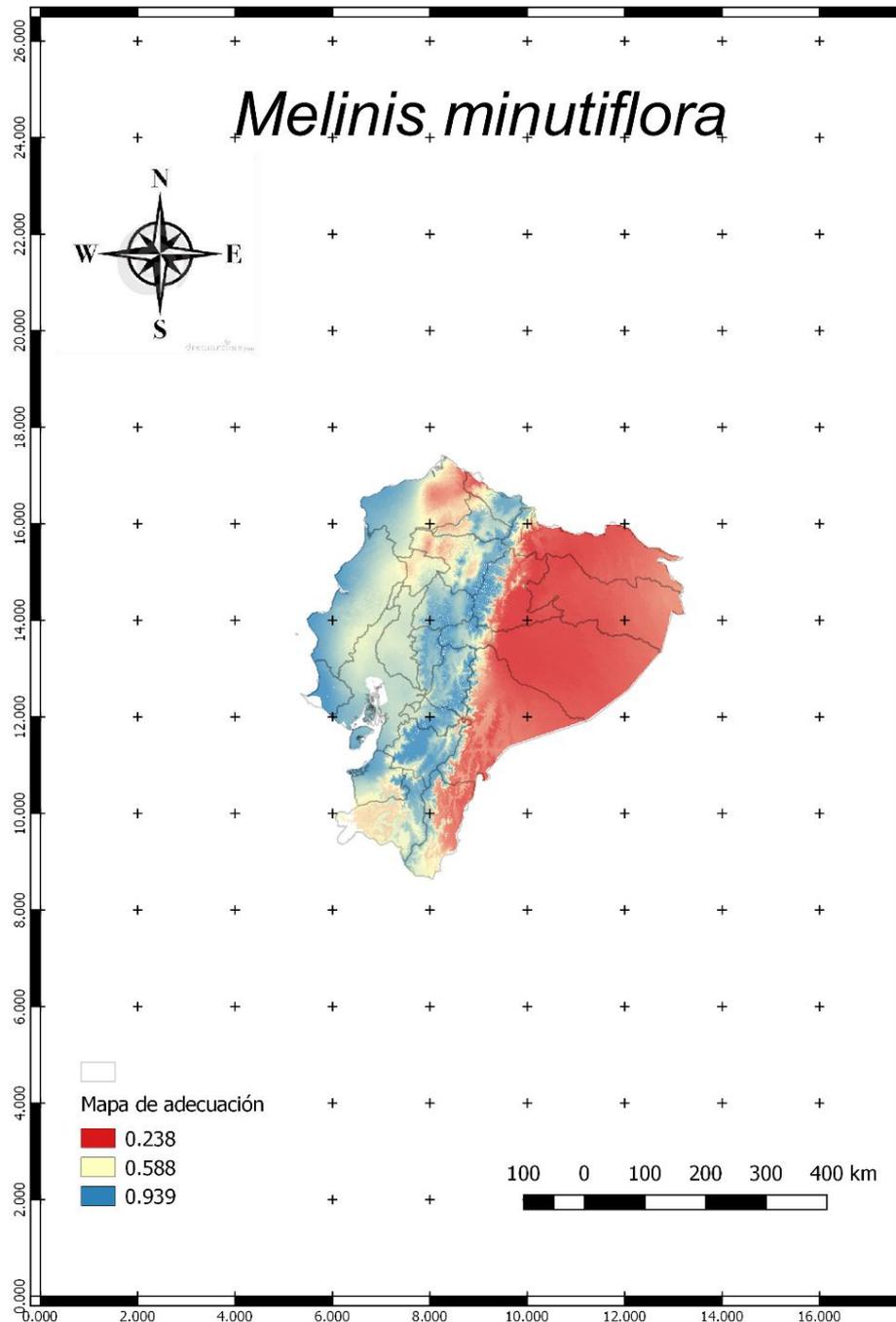


Figura 7. Distribución geográfica potencial de *Melinis minutiflora* en Ecuador continental .

Elaboración: Autora

Para el escenario futuro RCP 4.5 en Ecuador, se obtuvo la distribución geográfica potencial de *Melinis minutiflora* en las regiones Costa y Sierra, pero con una menor adecuación en las provincias Santo Domingo y Pichincha (Fig. 8).

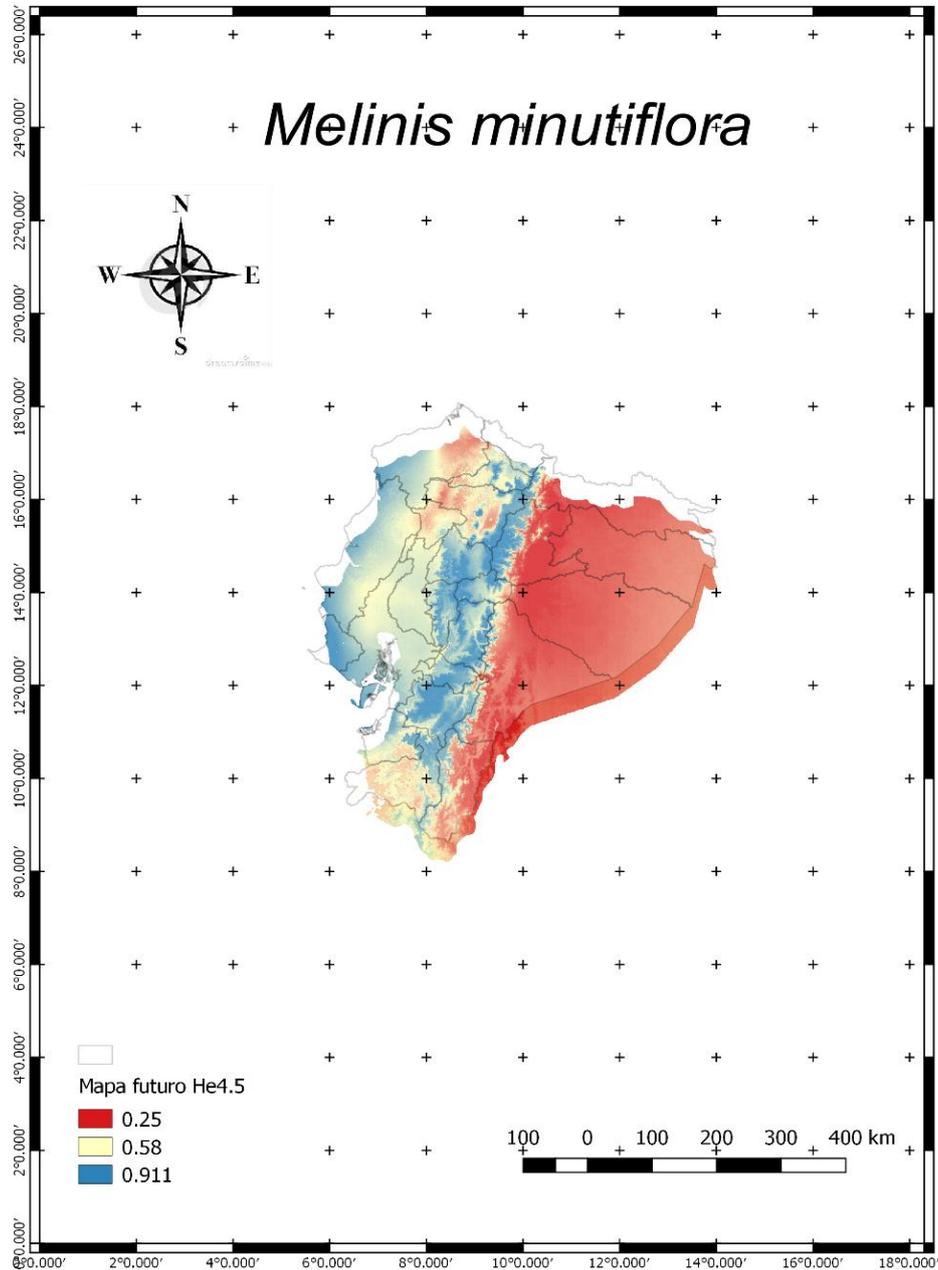


Figura 8. Distribución geográfica potencial futura de *Melinis minutiflora* en Ecuador continental bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5.

Elaboración: Autora

Para el escenario futuro RCP 8.5 en Ecuador, se obtuvo una distribución geográfica potencial de *Melinis minutiflora* en la región Sierra principalmente, aunque en Loja sólo ocupa una pequeña parte, encontrándose también en la región Costa en provincias como Manabí, Santa Elena y en partes de Guayas y Esmeraldas (Fig. 9).

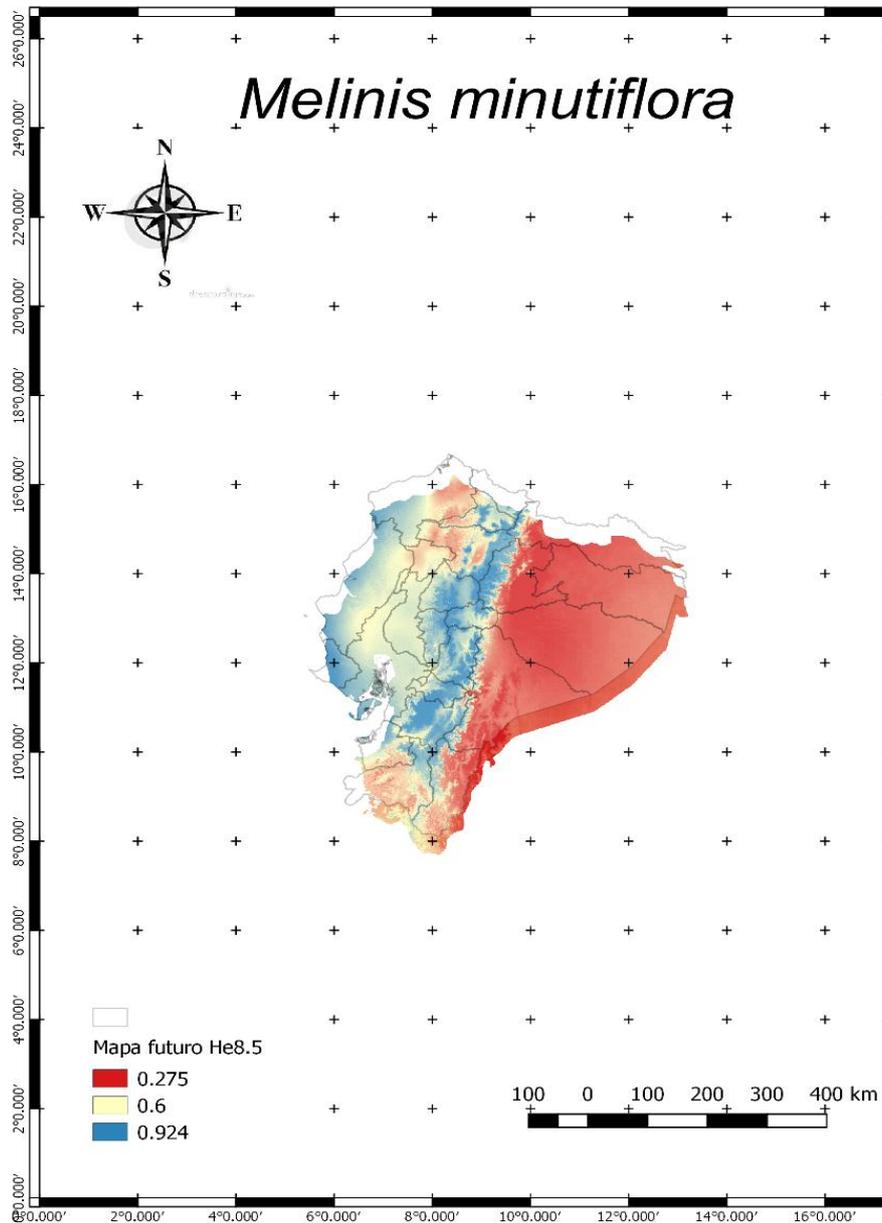


Figura 9. Distribución geográfica potencial futura de *Melinis minutiflora* en Ecuador continental bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5.

Elaboración: Autora

La estacionalidad de la temperatura, el rango de temperatura anual y el rango diurno fueron las variables de mayor aporte al modelo (Tabla 4). Cuando la estacionalidad de la temperatura disminuye, incrementa la adecuación climática para *Melinis minutiflora* (Fig. 10) lo que demuestra una relación inversa.

Tabla 4. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo de nicho ecológico de la especie exótica invasora *Melinis minutiflora*.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Estacionalidad de la temperatura (°C)	44.9	18.6
Rango de temperatura anual (°C)	26.5	47.7
Rango diurno promedio (promedio mensual (temperatura máxima – temperatura mínima))	10.7	4.3
Precipitación en el trimestre más frío (mm)	8	8.8
Precipitación del mes más seco (mm)	3.2	2.8
Isotermalidad	3.1	11.4

Elaboración: Autora

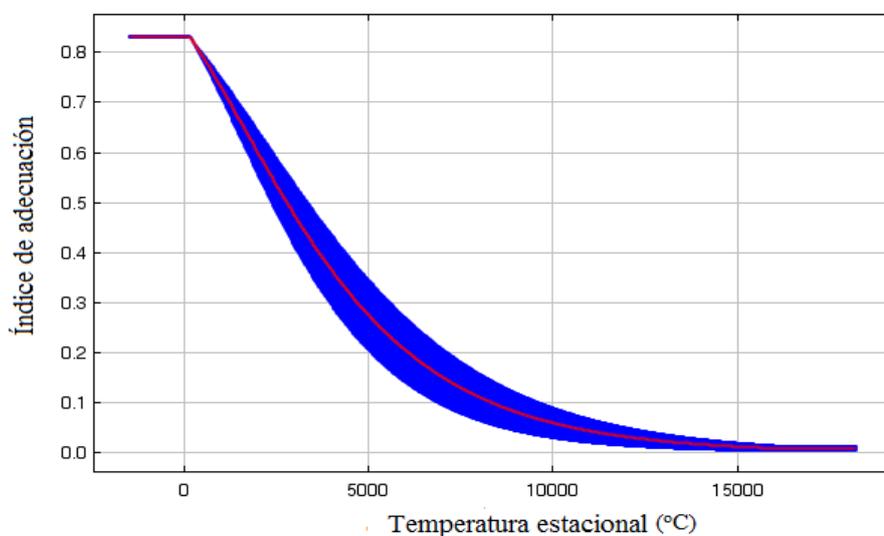


Figura 10. Comportamiento de la adecuación climática del modelo de nicho ecológico de *Melinis minutiflora* ante la variación de la estacionalidad de la temperatura.

Elaboración: Autora

Psidium guajava

Descripción

Es un arbusto siempreverde frondoso que alcanza de 5 a 6 m de altura. El tronco es corto y está cubierto de una cáscara escamosa. Sus hojas son elípticas y opuestas a sus flores y frutos carnosos que de su peso total poseen la mayor cantidad de fibra seguida por proteínas y carbohidratos. La raíz puede penetrar hasta los 5 m de profundidad dependiendo de la textura del suelo y el nivel freático del mismo. Sus flores son blancas, grandes, solitarias o agrupadas en pequeños racimos, localizados en las axilas de las hojas de reciente crecimiento. Las flores nacen en las ramas más jóvenes solitarias (54).

Hábitat

Se cultiva con éxito en regiones tropicales y subtropicales hasta 1500 msnm. En general, es un árbol frutal casero o se planta en pequeños bosquecillos. Crece bien en un amplio rango climático. Prospera en climas húmedos y secos. Es susceptible a soportar heladas. Es una especie moderadamente intolerante a la sombra, crece una corona más vertical con sombra lateral y se vuelve alta y delgada en posiciones intermedias de sombra. Debido a sus raíces de alimentación disponibles hasta 25 cm de profundidad del suelo, este debe ser bastante rico para proporcionar nutrientes suficientes. Se recomienda un buen drenaje, pero se ve que crece espontáneamente en la tierra con un nivel freático alto, demasiado húmedo para la mayoría de los árboles frutales (55).

Impacto

La principal desventaja que posee este cultivo es su capacidad y tendencia a propagarse como maleza invasora, característica muy preocupante para agricultores y ganaderos que dependen económicamente de su producción. En potreros también se la considera como maleza ya que disminuye la cantidad de pasto para el ganado (56).

Según el modelo de nicho ecológico de *Psidium guajava* en Ecuador, las áreas con adecuación climática se ubicaron en áreas de la región Costa, principalmente en la provincia Santa Elena; y en menor cobertura de área en las provincias Guayas, Manabí, Esmeraldas y El Oro (Fig. 11). Se consideró que el ajuste del modelo fue bueno ya que obtuvo un AUC = 0.88

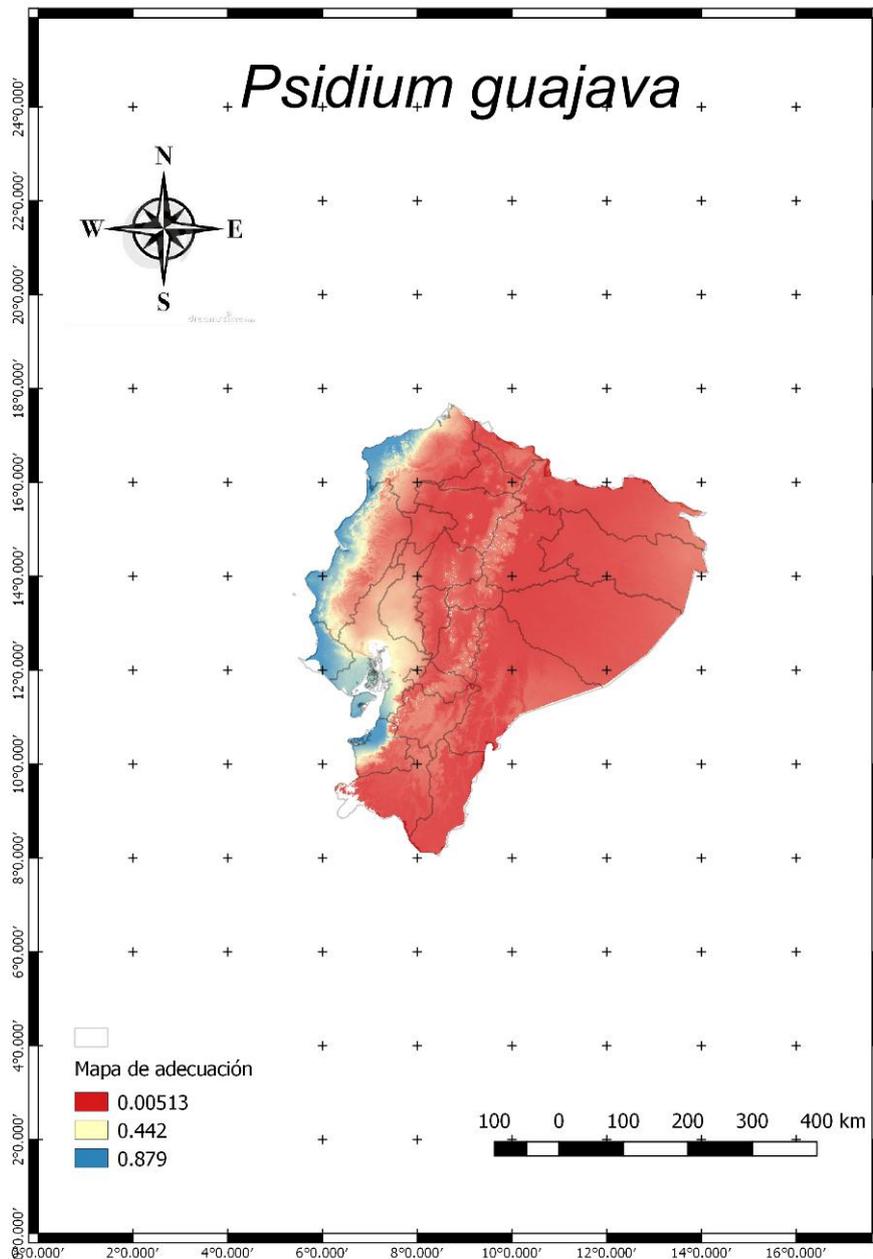


Figura 11. Distribución geográfica potencial de *Psidium guajava* en Ecuador continental.

Elaboración: Autora

Para el escenario futuro RCP 4.5 en Ecuador, se obtuvo una distribución geográfica potencial de *Psidium guajava* hacia la región Costa, a excepción de la provincia Esmeraldas donde hay menos adecuación (Fig. 12).

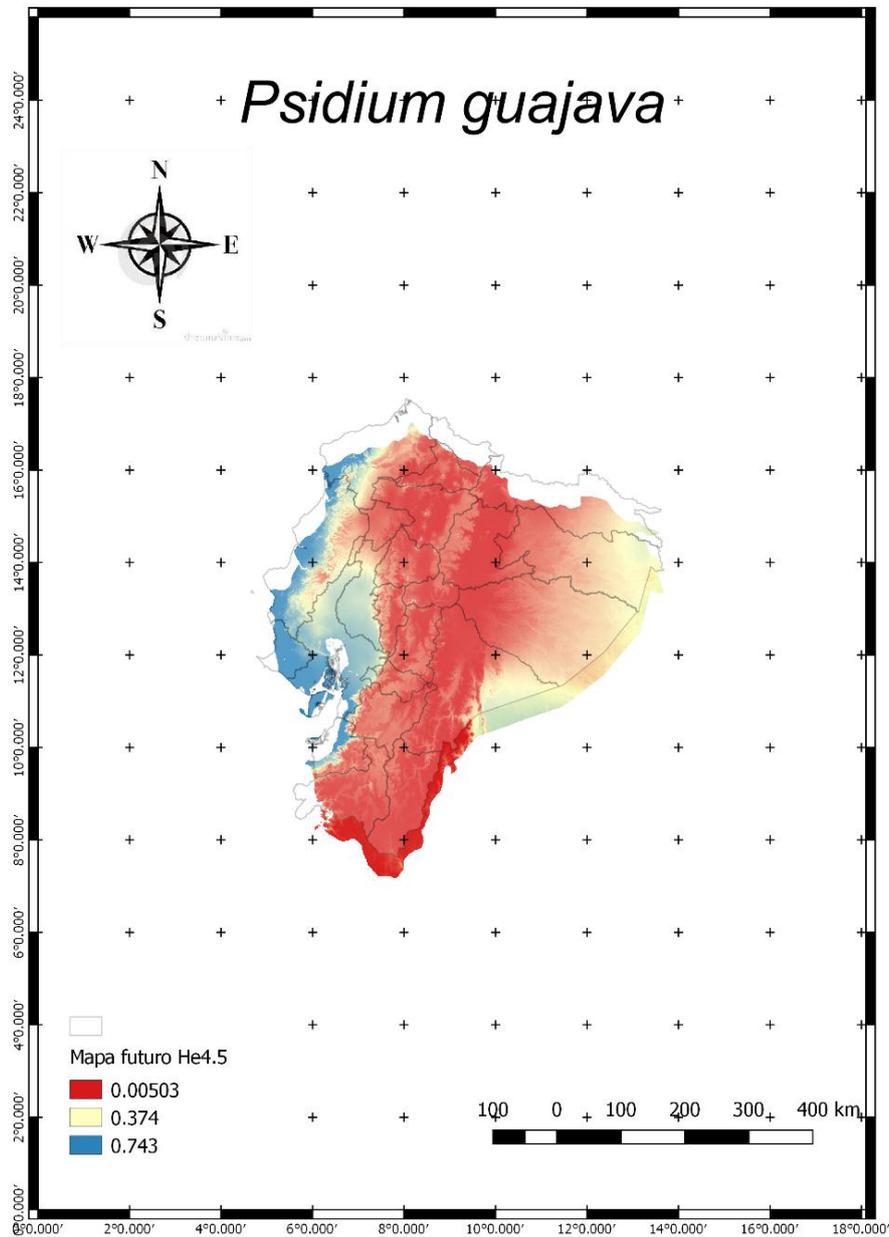


Figura 12. Distribución geográfica potencial futura de *Psidium guajava* bajo el escenario de cambio climático para el 2050 (RCP 4.5) en Ecuador continental.

Elaboración: Autora

El rango diario de temperatura, la temperatura mínima del mes más frío, el rango de temperatura anual, y la temperatura promedio del trimestre más seco fueron las variables de mayor aporte al modelo de nicho ecológico de *Psidium guajava* (Tabla 5). Cuando el rango diario de temperatura, conformado por el promedio mensual de temperatura máxima y mínima, disminuye se incrementa la adecuación climática para la *Psidium guajava* (Fig. 14).

Tabla 5. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo de nicho ecológico de la especie exótica invasora *Psidium guajava*.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Rango diario promedio (promedio mensual (temperatura máxima – temperatura mínima)) (°C)	29	33.9
Temperatura mínima del mes más frío (°C)	20.1	0.5
Rango de temperatura anual (°C)	12.2	7.9
Temperatura promedio del trimestre más seco (°C)	10.2	20.7
Precipitación anual (mm)	8.7	4.2
Temperatura promedio del trimestre más húmedo (°C)	8.5	22.4

Elaboración: Autora

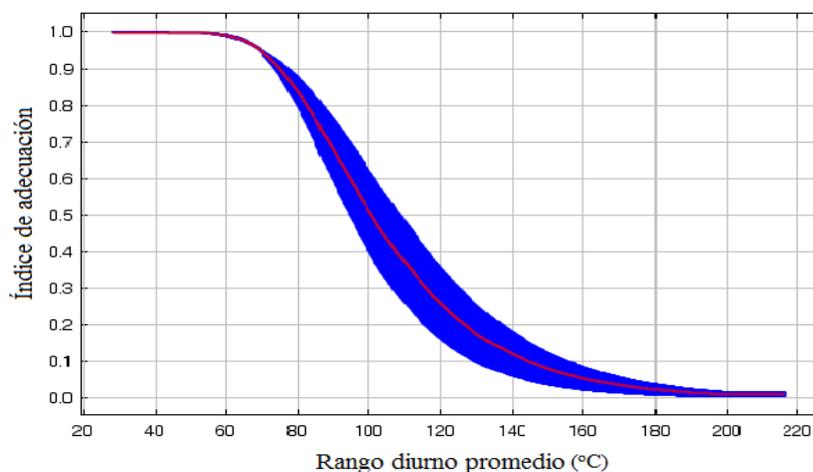


Figura 14. Comportamiento de la adecuación climática del modelo de nicho ecológico de *Psidium guajava* ante la variación del rango diario de temperatura.

Elaboración: Autora

Asclepias curassavica

Descripción

Es una hierba que mide de 50 cm a 1.60 m de altura. Sus tallos tienen abundante jugo lechoso. Las hojas opuestas son oblongo – lanceoladas, en el envés presentan color verde pálido. Las flores pequeñas están agrupadas y salen de un mismo punto; son de color amarillento y rojo-naranja muy llamativas. Su fruto es un folículo verde espinoso que miden de 5 a 7 cm con numerosas semillas (57).

Hábitat

Habita en climas cálidos, semicálidos, secos y templados hasta los 1900 msnm. Observada en terrenos baldíos, cerca de casas o a orillas de caminos y riachuelos, asociada a bordes de manglar, bosques tropicales caducifolios, y perennifolios, pastizal inducido, bosques de montaña; no tolera bien las temperaturas bajas, podría resistir heladas siempre que estas sean débiles y no prolongadas (57).

Impacto

Es considerada una especie oportunista y maleza, que crece en zonas perturbadas, a lo largo de las carreteras y en campos de cultivo que compiten con las plantaciones agrícolas. Esta planta perenne genera un látex que resulta tóxico para diversos microorganismos y especies domésticas, tanto el alcaloide como los nitratos y nitritos que posee, alteran al ganado bovino provocando parálisis respiratoria, aborto, pérdida de control entre otros síntomas, convirtiéndola en un riesgo en zonas ganaderas (58).

Según el modelo de nicho ecológico de *Asclepias curassavica* en Ecuador, actualmente las zonas adecuadas climáticamente se ubicaron hacia la región Sierra, existiendo además adecuación en un área de la Costa como en las provincias Manabí y Galápagos (Fig. 15).

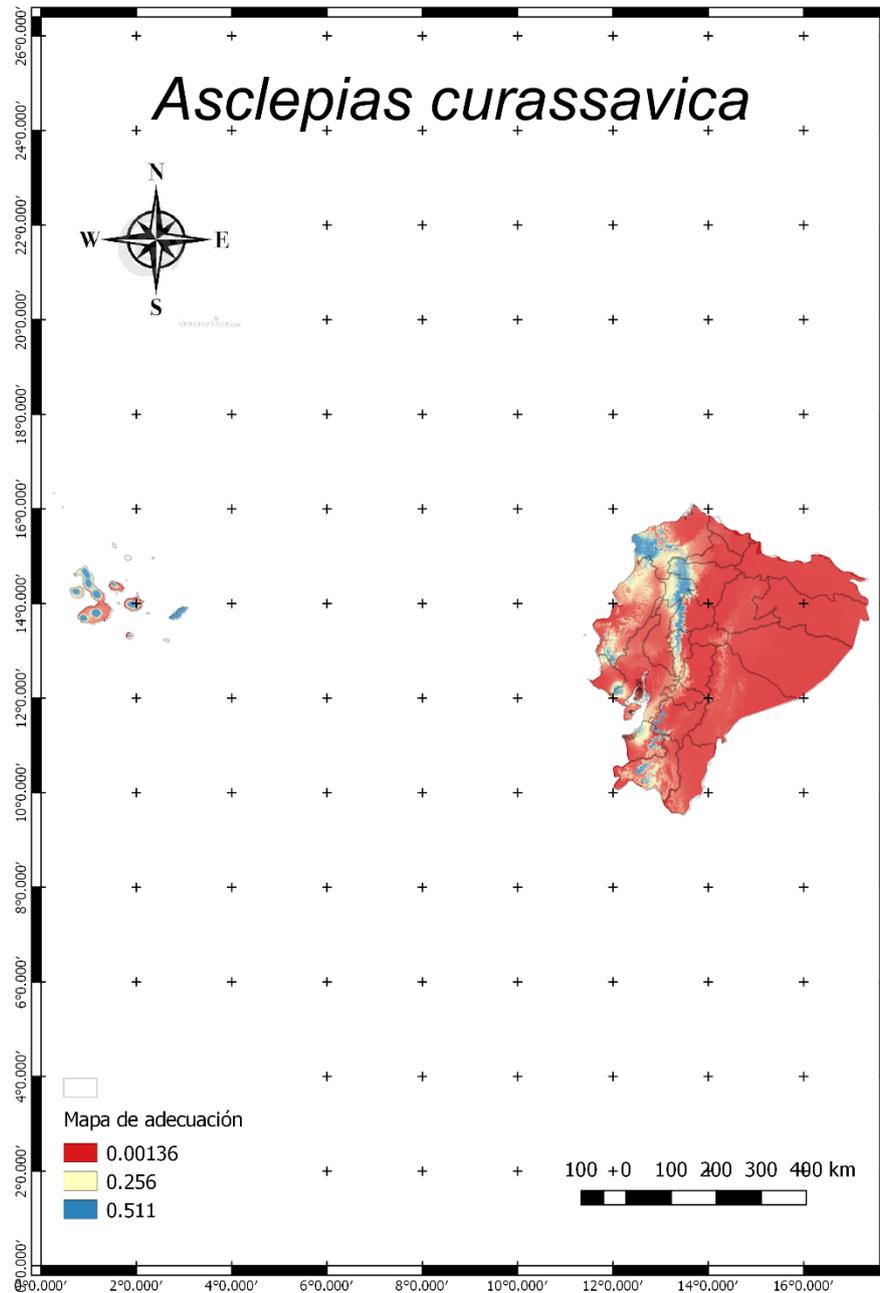


Figura 15. Distribución geográfica potencial de *Asclepias curassavica* en Ecuador continental.

Elaboración: Autora

Para el escenario futuro 4.5 en Ecuador, el modelo de nicho ecológico de *Asclepias curassavica* indicó condiciones climáticas adecuadas en la región Sierra y Oriente como las provincias Orellana, Napo y Pastaza (Fig. 16).

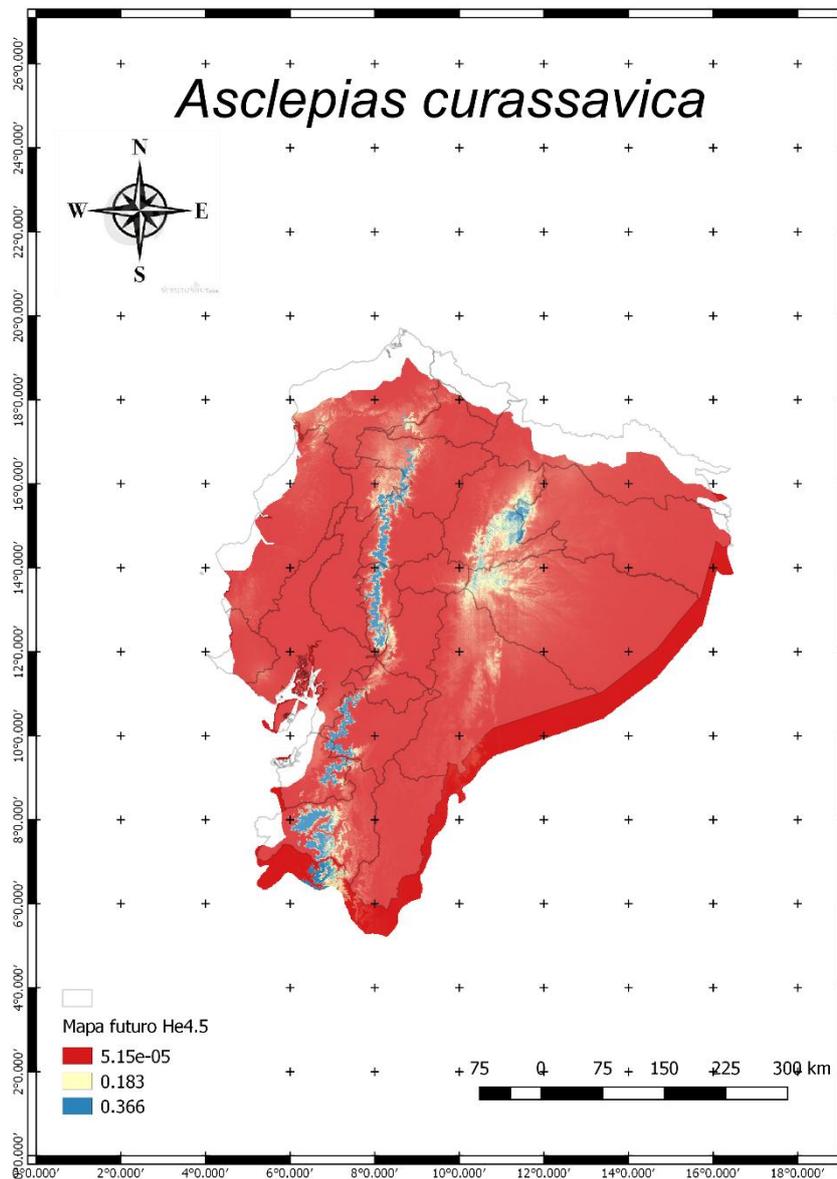


Figura 16. Distribución geográfica potencial futura de *Asclepias curassavica* en Ecuador continental bajo el escenario de cambio climático para el 2050 (RCP 4.5).

Elaboración: Autora

Para el escenario 8.5 la distribución potencial se ubicó en la región Sierra con excepción de las provincias Santo Domingo y Pichincha, en la región Oriente como las provincias Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago (Fig. 17).

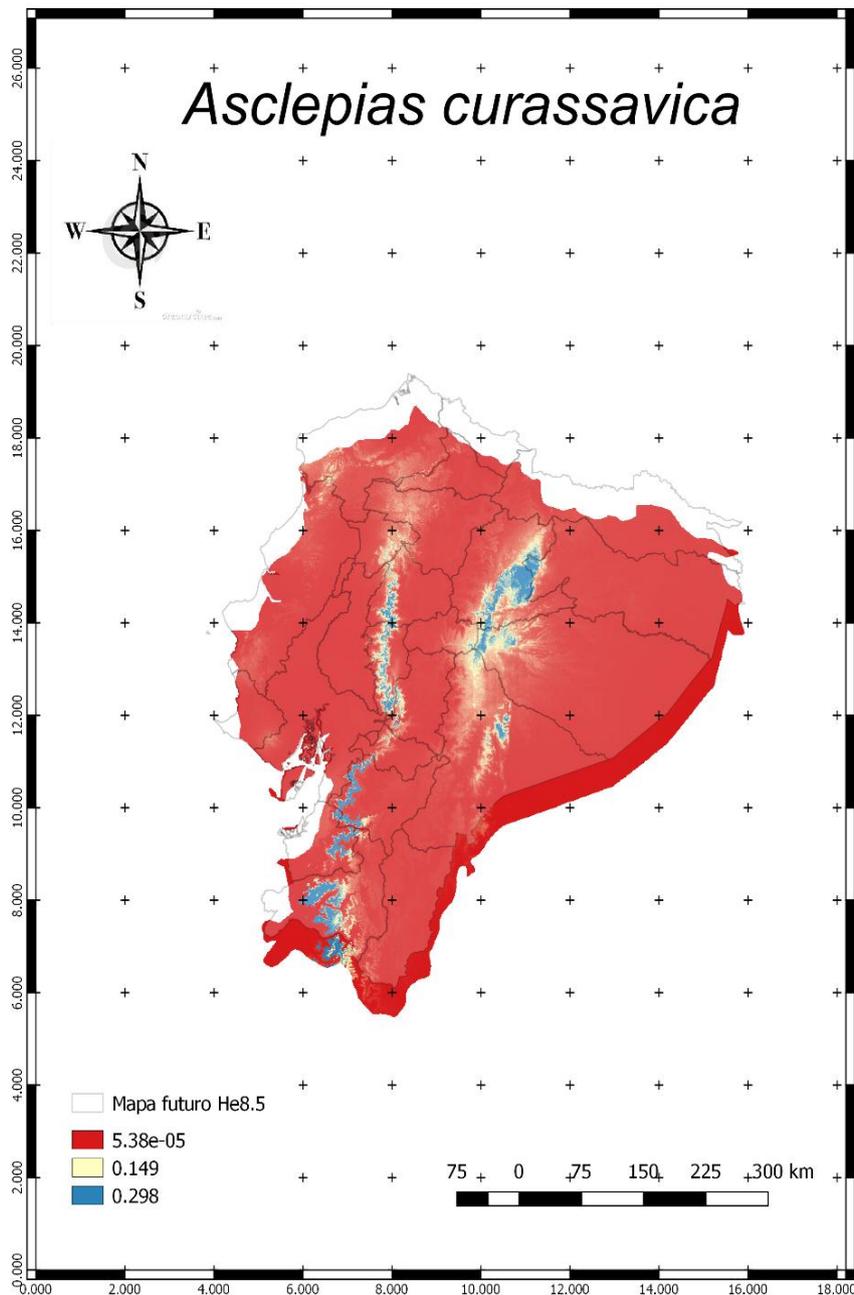


Figura 17. Distribución geográfica potencial futura de *Asclepias curassavica* en Ecuador continental bajo el escenario de cambio climático para el 2050 (RCP 8.5).

Elaboración: Autora

La temperatura promedio del trimestre más frío, precipitación en el trimestre más frío y trimestre más húmedo, temperatura promedio anual fueron las variables de mayor contribución al modelo de nicho ecológico de la especie (Tabla 6). La adecuación climática para *Asclepias curassavica* alcanza un valor máximo alrededor de los 15 °C. Por encima o por debajo de esta temperatura disminuye la adecuación (Fig.18).

Tabla 6. Contribución porcentual de las variables bioclimáticas al modelo de nicho ecológico de la especie exótica invasora *Asclepias curassavica*.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)	25.2	27.2
Precipitación en el trimestre más frío (mm)	16.6	12.5
Temperatura promedio anual (°C)	14.4	3.6
Precipitación en el trimestre más húmedo (mm)	11.4	4.9
Isotermalidad	8.5	1.5
Precipitación del mes más húmedo (mm)	4.7	0.2
Estacionalidad de la Temperatura	4.5	8.1

Elaboración: Autora

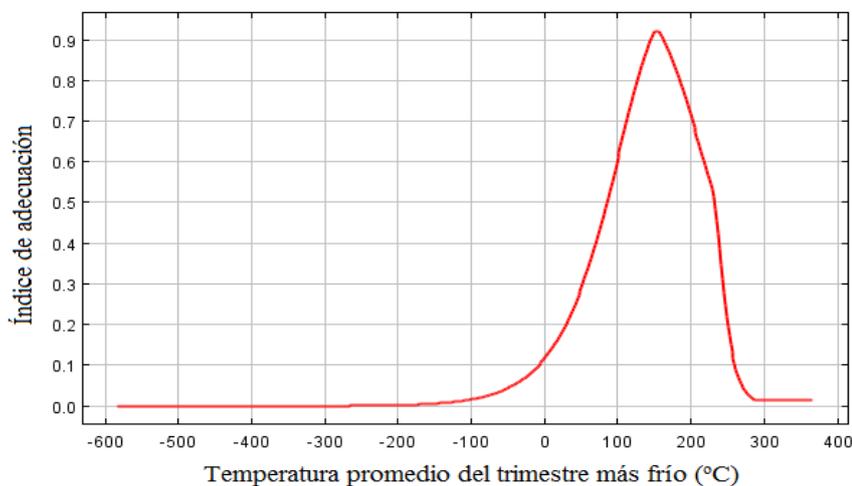


Figura 18. Comportamiento de la adecuación climática del modelo de nicho ecológico de *Asclepias curassavica* ante las variaciones de la temperatura promedio del trimestre más frío. Los valores de temperatura están multiplicados por 10.

Elaboración: Autora

En lo que respecta especie *Arachis pintoi*, la mayor extensión del área geográfica potencial se mantuvo en contracción de rango en los escenarios de comparación presente y futuro para nuestro país. En varias áreas de todas las regiones principalmente la región Oriente. Siendo así el rango de expansión el de menor área de distribución; observándose en provincias de la Sierra como Pichincha, Cotopaxi y Loja (Fig. 18).

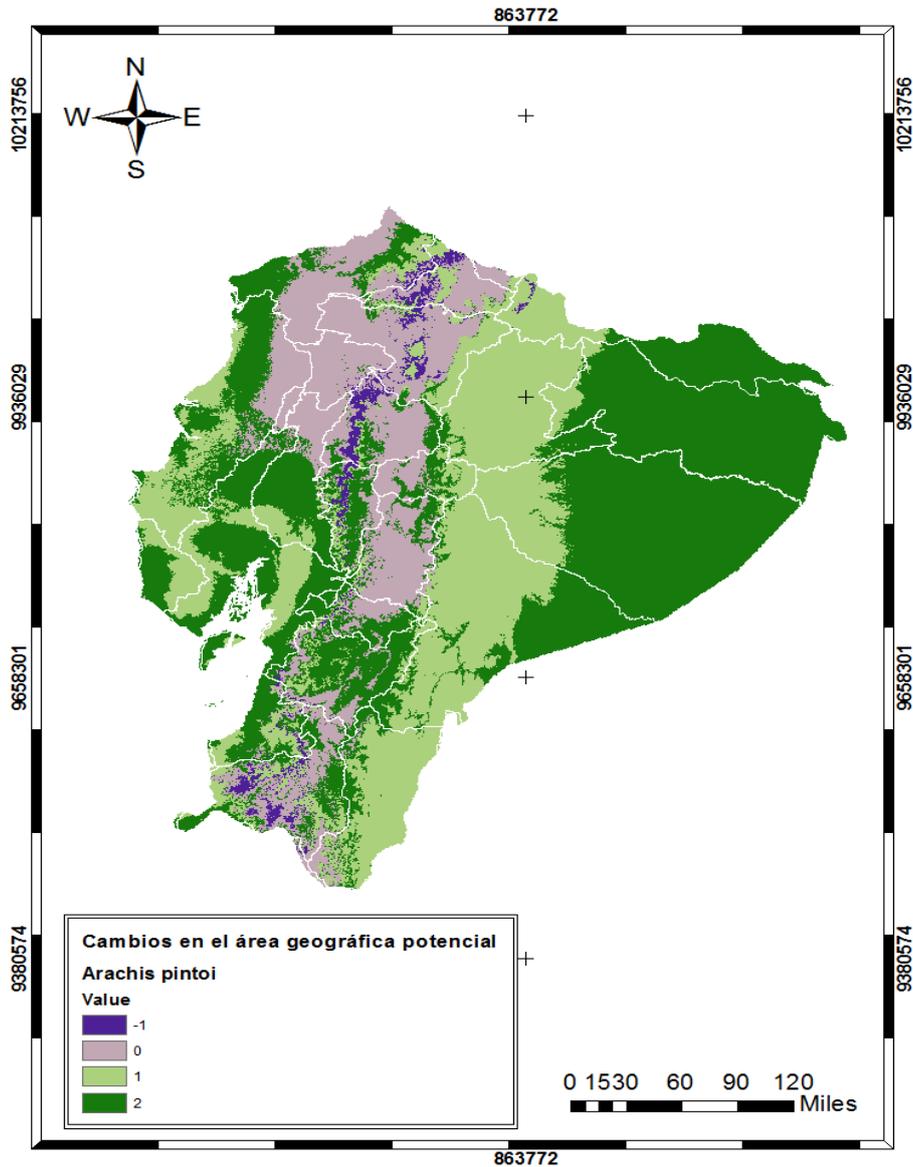


Figura 18. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie *Arachis pintoi*, bajo escenario 4.5 con su escala evaluativa: -1= Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1= Sin cambios; y 2= Contracción de rango.

Elaboración: Autora

La mayor extensión del área geográfica potencial se mantiene en contracción de rango en los escenarios de comparación presente y futuro para nuestro país; En todas las regiones principalmente en el Oriente y Costa, Siendo así el rango de expansión el de menor área de distribución; observándose a penas en pequeñas áreas de Imbabura, Cotopaxi y Loja (Fig. 19).

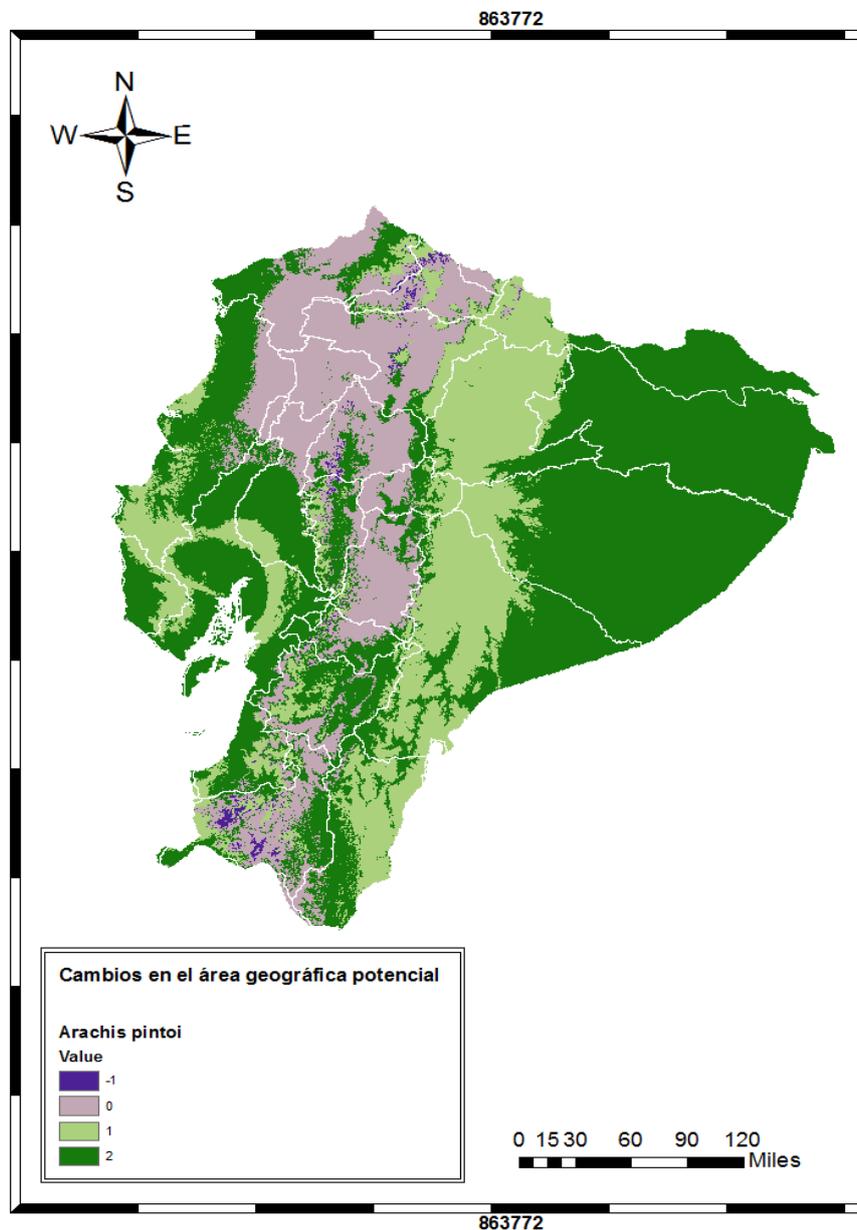


Figura 19. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie *Arachis pintoi*, bajo escenario 8.5 con su escala evaluativa: **-1**= Rango de expansión; **0** = Sin ocupación; **1**= Sin cambios; y **2**= Contracción de rango.

Elaboración: Autora

Para el escenario 4.5 la mayor área con 105.50 km² corresponde a contracción de rango entre el escenario actual y futuro año 2050, y el rango de expansión fue de 4.64 km² (Tabla 7).

Tabla 7. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de *Arachis pintoi* para el año 2050 (RCP4.5) en Ecuador continental.

Escala	Descripción	Área (km²)
-1	Rango de expansión	4.639,88
0	Sin ocupación	41.963,85
1	Ningún cambio	69.702,53
2	Contracción de rango	105.502,54

Elaboración: Autora

Para el escenario 8.5 la mayor área con 119.68 km² correspondió a contracción de rango entre el escenario actual y futuro año 2050, y el rango de expansión fue de 1.36 km² (Tabla 8).

Tabla 8. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de *Arachis pintoi* para el año 2050 (RCP8.5) en Ecuador continental.

Escala	Descripción	Área (km²)
-1	Rango de expansión	1.365,01
0	Sin ocupación	45.216,94
1	Ningún cambio	55.589,51
2	Contracción de rango	119.681,96

Elaboración: Autora

En lo que respecta a la especie *Melinis minutiflora*, la mayor extensión del área geográfica potencial se mantuvo sin ocupación en los escenarios de comparación presente y futuro para nuestro país; en las regiones Costa y Oriente principalmente, y sin cambios en la región Sierra. Siendo así el rango de expansión en los linderos de la región Sierra hacia la Costa (Fig. 20).

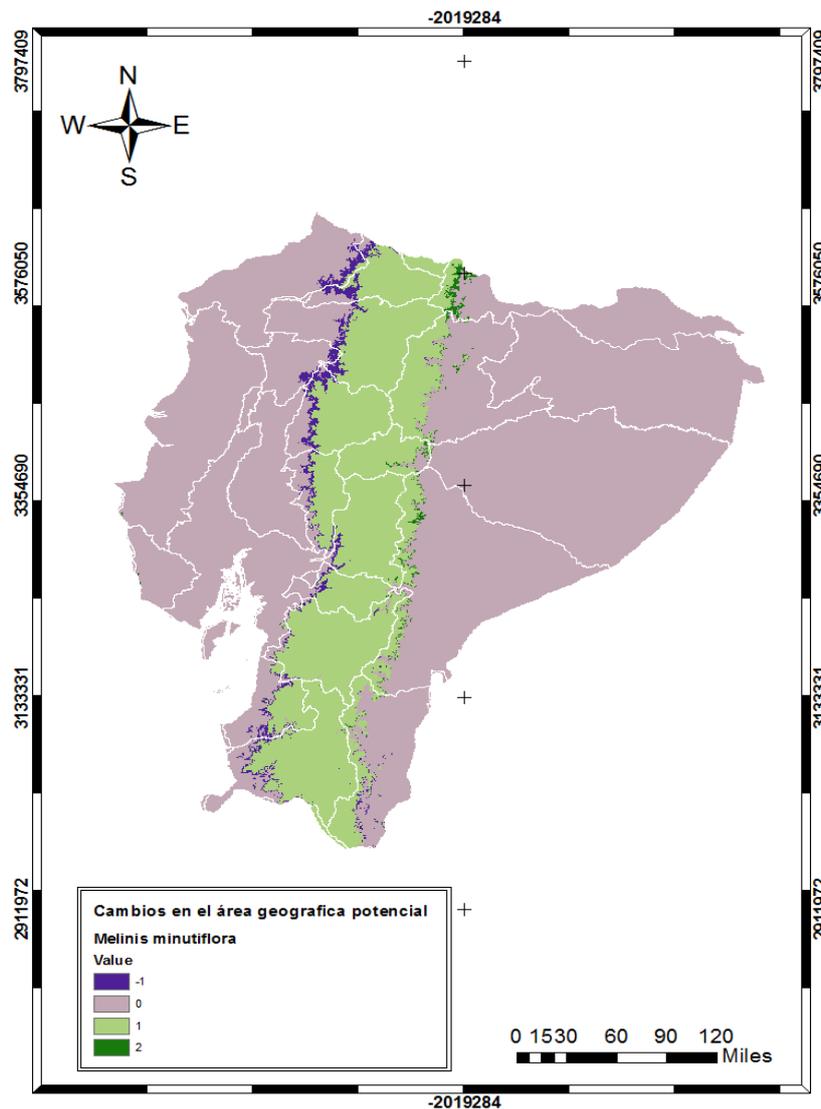


Figura 20. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie *Melinis minutiflora*, bajo escenario 4.5 con su escala evaluativa: -1= Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1= Sin cambios; y 2= Contracción de rango.

Elaboración: Autora

La mayor extensión del área geográfica potencial se mantuvo sin ocupación en los escenarios de comparación presente y futuro para nuestro país; en las regiones Costa y Oriente principalmente, y sin cambios en la región Sierra. Siendo así el rango de expansión el de menor área de distribución (Fig. 21).

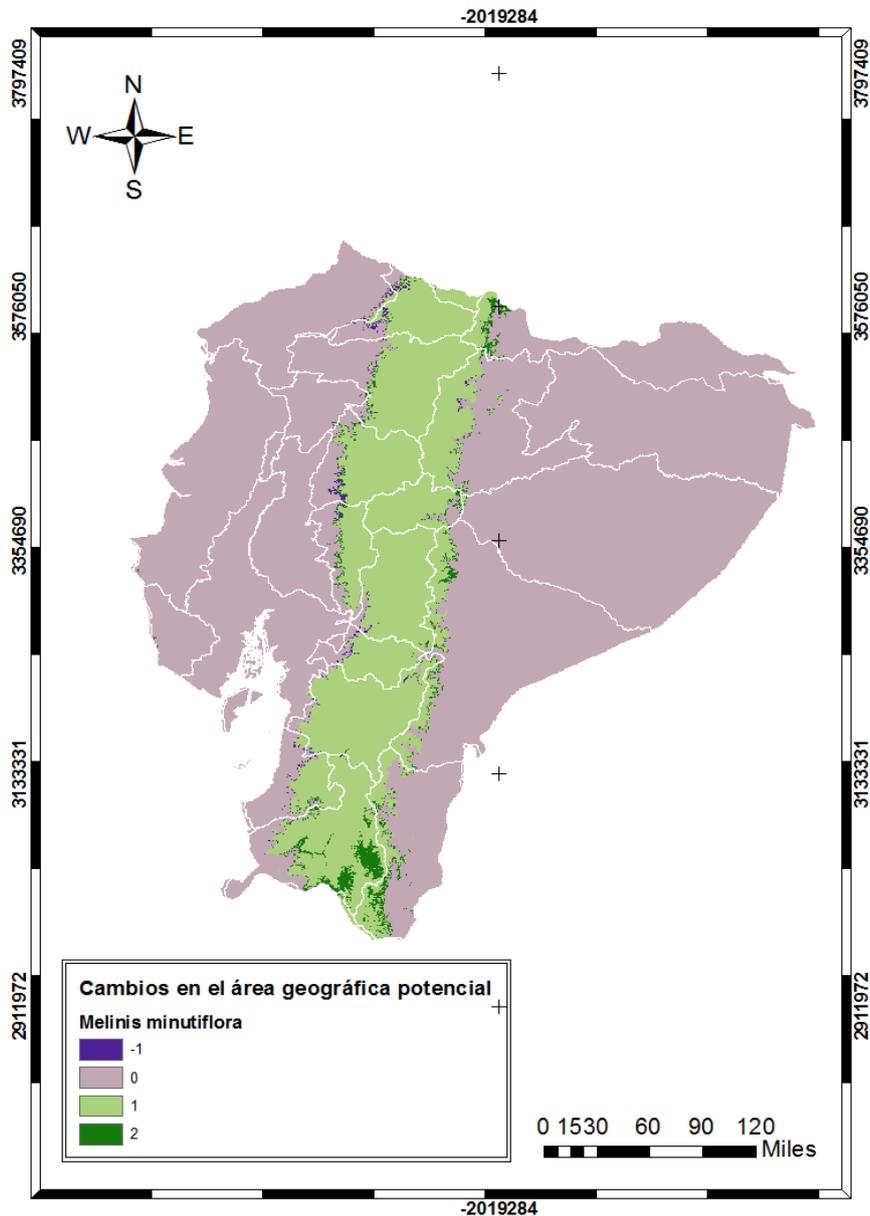


Figura 21. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie *Melinis minutiflora*, bajo escenario 8.5 con su escala evaluativa: **-1**= Rango de expansión; **0** = Sin ocupación; **1**= Sin cambios; y **2**= Contracción de rango.

Elaboración: Autora

Para el escenario 4.5 la mayor área con 160916,55 km² correspondió a estar sin ocupación entre el escenario actual y futuro año 2050, y el rango de expansión fue de 3933,79 km² (Tabla 9).

Tabla 9. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de *Melinis minutiflora* para el año 2050 (RCP4.5) en Ecuador continental.

Escala	Descripción	Área (km²)
-1	Rango de expansión	3933,79
0	Sin ocupación	160916,55
1	Ningún cambio	55819,22
2	Contracción de rango	1139,24

Elaboración: Autora

Para el escenario 8.5 la mayor área con 164265,60 km² correspondió a estar sin ocupación entre el escenario actual y futuro año 2050, y el rango de expansión fue de 654,75 km² (Tabla 10).

Tabla 10. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de *Melinis minutiflora* para el año 2050 (RCP8.5) en Ecuador continental.

Escala	Descripción	Área (km²)
-1	Rango de expansión	654,75
0	Sin ocupación	164265,60
1	Ningún cambio	53438,55
2	Contracción de rango	3494,53

Elaboración: Autora

En lo que respecta a la especie *Psidium guajava*, la mayor extensión del área geográfica potencial se mantuvo sin cambios en los escenarios de comparación presente y futuro para nuestro país; en toda la región Costa principalmente, y sin ocupación en casi toda la región Sierra y partes de la región Oriente. Siendo así el rango de expansión hacia áreas del Oriente como Orellana, Pastaza y Zamora Chinchipe (Fig. 22).

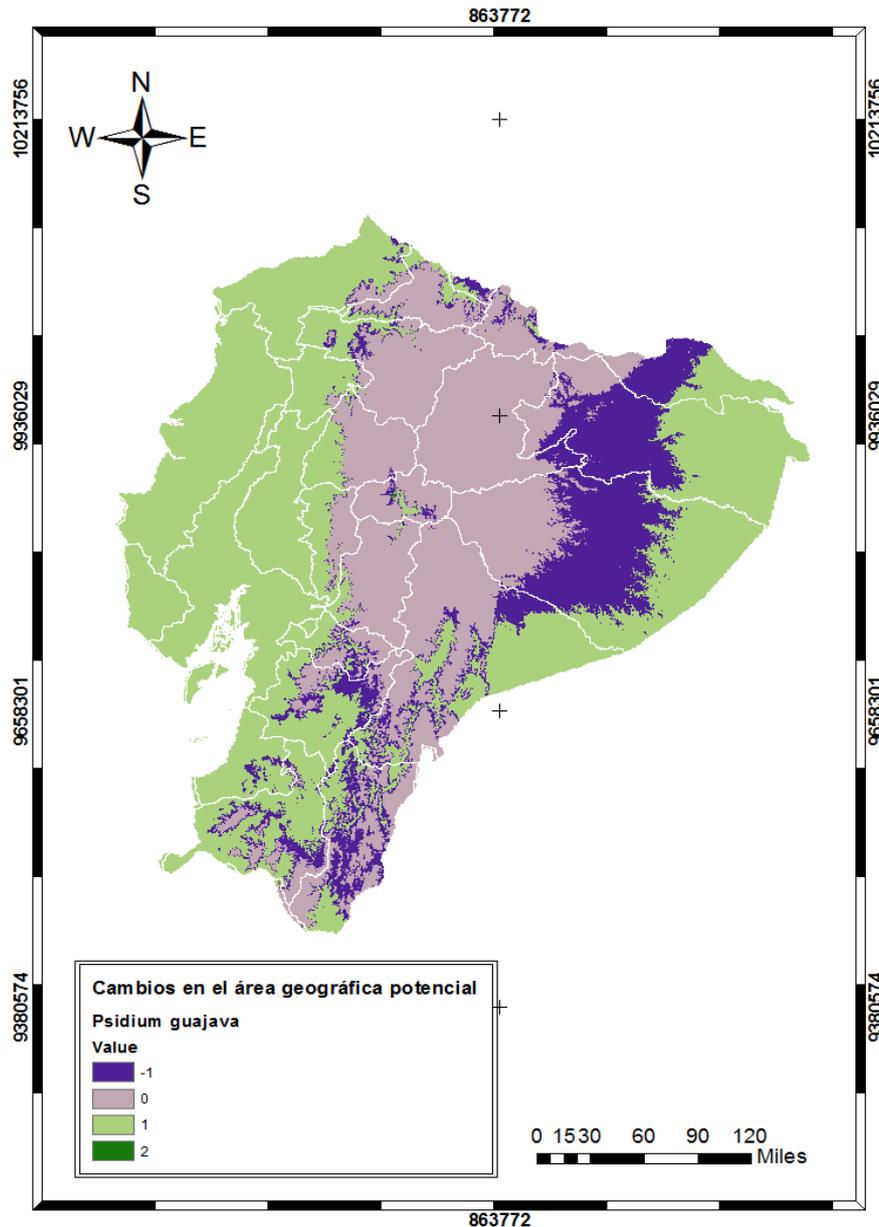


Figura 22. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie *Psidium guajava*, bajo escenario 4.5 con su escala evaluativa: **-1**= Rango de expansión; **0** = Sin ocupación; **1**= Sin cambios; y **2**= Contracción de rango.

Elaboración: Autora

La mayor extensión del área geográfica potencial se mantiene sin cambios en los escenarios de comparación presente y futuro para nuestro país; en toda la región Costa y determinadas áreas de la región Oriente, y sin ocupación casi toda la región Sierra. Siendo así el rango de expansión hacia áreas del Oriente y partes de la Sierra como Pichincha y Azuay (Fig. 23).

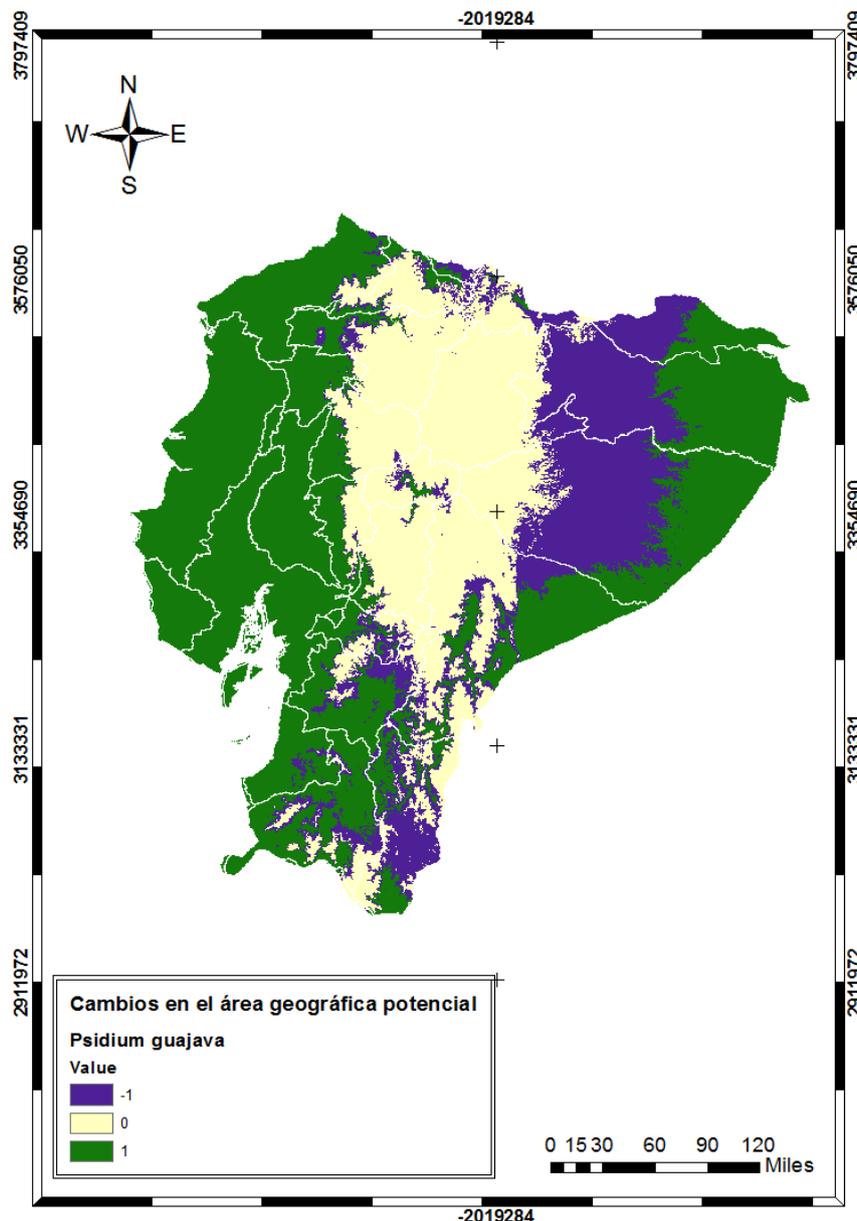


Figura 23. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie *Psidium guajava*, bajo escenario 8.5 con su escala evaluativa: -1= Rango de expansión; 0 = Sin ocupación; 1= Sin cambios; y 2= Contracción de rango.

Elaboración: Autora

Para el escenario 4.5 la mayor área con 113.88 km² correspondió a estar sin cambios entre el escenario actual y futuro año 2050, y el rango de expansión fue de 35.73 km² (Tabla 11).

Tabla 11. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de *Psidium guajava* para el año 2050 (RCP4.5) en Ecuador continental.

Escala	Descripción	Área (km ²)
-1	Rango de expansión	35.731,08
0	Sin ocupación	72.185,02
1	Ningún cambio	113.884,32
2	Contracción de rango	8,38

Elaboración: Autora

Para el escenario 8.5 la mayor área con 61380,08 km² correspondió a estar sin ocupación entre el escenario actual y futuro año 2050, y el rango de expansión fue de 46474,72 km² (Tabla 12).

Tabla 12. Variaciones en la extensión del área que ocupa la distribución potencial de *Psidium guajava* para el año 2050 (RCP8.5) en Ecuador continental.

Escala	Descripción	Área (km ²)
-1	Rango de expansión	46474,72
0	Sin ocupación	61380,08
1	Ningún cambio	113998,62

Elaboración: Autora

En lo que respecta a la especie *Asclepias curassavica*, la mayor extensión del área geográfica potencial se mantuvo sin cambios en los escenarios de comparación presente y futuro para nuestro país; en partes de las regiones Costa y Oriente principalmente, y notándose contracción de rango en varias provincias como Guayas, Los Ríos y Zamora Chinchipe. Siendo así el rango de expansión hacia áreas del Oriente como Pastaza, Napo y en dirección a pequeñas áreas e la Sierra como Tungurahua (Fig. 24).

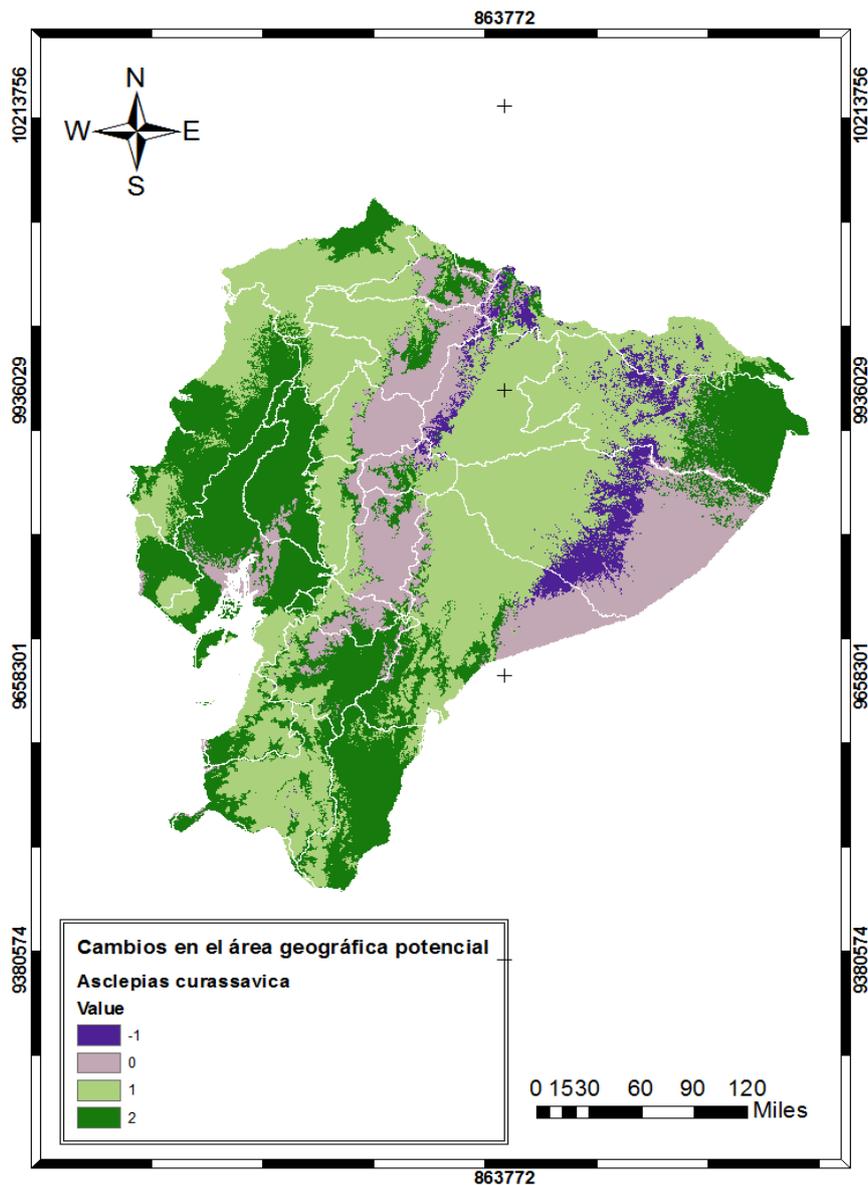


Figura 24. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie *Asclepias curassavica*, bajo escenario 4.5 con su escala evaluativa: **-1**= Rango de expansión; **0** = Sin ocupación; **1**= Sin cambios; y **2**= Contracción de rango.

Elaboración: Autora

La mayor extensión del área geográfica potencial se mantuvo sin cambios en los escenarios de comparación presente y futuro para nuestro país; en diferentes provincias de todas las regiones principalmente en las de la Costa y Oriente, y sin ocupación en áreas de la región Oriente y Sierra, notándose que existe rango de expansión hacia ellas; como en las provincias de Chimborazo, Pichincha y Napo (Fig. 25).

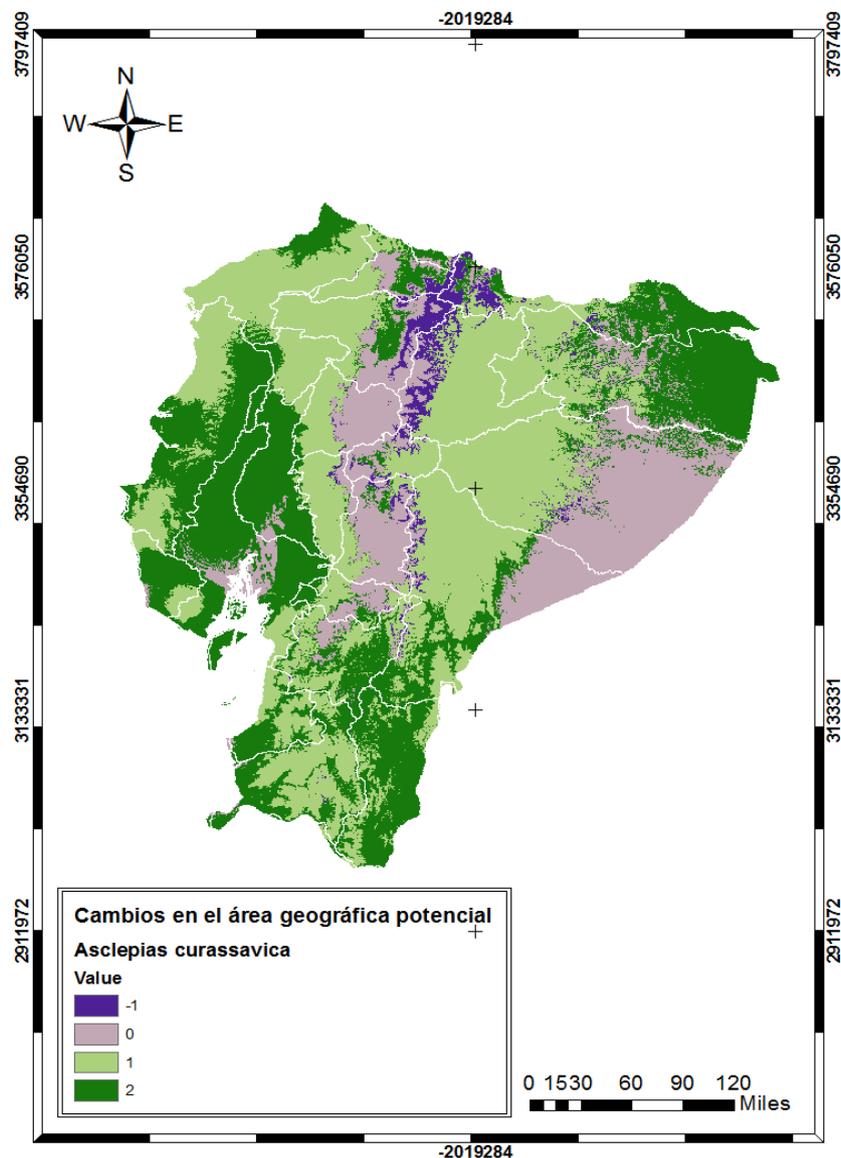


Figura 25. Mapa de cambios en el área geográfica potencial en Ecuador continental para el año 2050 de la especie *Asclepias curassavica*, bajo escenario 8.5 con su escala evaluativa: **-1**= Rango de expansión; **0** = Sin ocupación; **1**= Sin cambios; y **2**= Contracción de rango.

Elaboración: Autora

Para el escenario 4.5 la mayor área con 100.22 km² correspondieron a estar sin cambios entre el escenario actual y futuro año 2050, y el rango de expansión fue de 10.43 km² (Tabla 13).

Tabla 13. Variaciones en la distribución del área geográfica de *Asclepias curassavica* para Ecuador continental en un escenario futuro en condiciones de RCP4.5.

Escala	Descripción	Área (km²)
-1	Rango de expansión	10.434,83
0	Sin ocupación	39.741,25
1	Ningún cambio	100.225,50
2	Contracción de rango	71.407,20

Elaboración: Autora

Para el escenario 8.5 la mayor área con 94.26 km² correspondió a la ausencia de cambios entre el escenario actual y futuro año 2050, y el rango de expansión fue de 6.52 km² (Tabla 14).

Tabla 14. Variaciones en la distribución del área geográfica de *Asclepias curassavica* para Ecuador continental en un escenario futuro en condiciones de RCP8.5.

Escala	Descripción	Área (km²)
-1	Rango de expansión	6.529,85
0	Sin ocupación	43.685,40
1	Ningún cambio	94.257,68
2	Contracción de rango	77.380,49

Elaboración: Autora

Discusión

La introducción de especies exóticas representa un peligro para la biodiversidad, si bien algunas pueden ser controladas otras han significado una amenaza de muerte, para la fauna y flora endémicas y además se constituyen plagas agrícolas, problemas para la salud, económicos y medio ambientales en los países afectados (59). Como la presencia de la cascarilla en la Isla Santa Cruz cuya dispersión ha sido acelerada, enfrentando la invasión y dominación de esta especie cuya presencia cambia la estructura de la vegetación nativa dominada por pastos, helechos y arbustos a una estructura dominada por árboles, posiblemente cambiando los procesos de suelo (60).

La especie *Arachis pintoii* crece en zonas de frecuentes precipitaciones, siendo su hábitat al noroeste y al este del Amazonas, donde el clima es tropical húmedo, con lluvias durante todo el año y la precipitación mayor es de 2918.1mm (61) . Además puede tolerar las inundaciones periódicas y tiene grados de resistencia a sequías por lo que su expansión futura es hacia la región Sierra y parte de Manabí donde las condiciones climatológicas generan esta condición (62). *Melinis minutiflora* tiene un nicho potencial en las zonas Sierra y Costa principalmente debido a los climas húmedos y subhúmedos a los que esta especie prefiere, con variedades de suelos desde arena hasta arcilla y temperatura que rodea los 27°C (53). Temperaturas similares que van de 20 °C a 27 °C son óptimas condiciones bioclimáticas en el estudio de Herrera I. et al.; para el establecimiento de la palma exótica ornamental *R. Oleracea*, cuya presencia y naturalización se encuentra por primera vez en la distribución potencial realizada en Ecuador, debido a la susceptibilidad climática de la región, propiciando un proceso de invasión en humedales Ramsar como: Mataje, Laguna de Cube, Abras de Mantequilla, Isla Santay (4).

Psidium guajava por ser planta tropical se recomienda cultivarse y producirse óptimamente a temperaturas entre 16 y 34° C, con una precipitación anual entre 1000 y 1800 mm (63); por lo que se encuentra en los linderos del lado Oeste extendiéndose hacia cubrir mayores zonas de la región Costa en los escenarios futuros y tendiendo a ocupar partes del Oriente por su capacidad a crecer con un nivel freático alto, demasiado húmedo. Y la especie *Asclepias Curassavica* bajos escenarios futuros se propaga hacia la región Oriente debido a la temperatura de adecuación con variaciones en el mes más frío de entre menos 3 y no más de 18° C; y siendo entonces la

temperatura óptima de 15 °C para favorecer su presencia (64). Las respuestas individuales de las plantas serán variadas, y en este estudio hemos podido identificar sus cambios. En todo caso, los movimientos reales dependerán de la capacidad de dispersión de las especies y de las barreras de migración (65) y de la disponibilidad de hábitat (66), lo que confirmó nuestros resultados cuando comparamos las consecuencias bajo dos escenarios de CC una conservador y otro extremo.

Estudios por Hidalgo, Amador, Alfaro y Quesada en Centroamérica, estiman una reducción de la precipitación media entre 5 - 10 % para el periodo proyectado a futuro (entre 2050-2099), mientras que las temperaturas podrían cambiar hasta 4 °C en el mismo periodo, este último genera mayor impacto en las contribuciones de las variables para el modelado de las cinco especies estudiadas de la zona alta de Costa Rica (37). Teniendo similitud con los resultados del estudio realizado, donde la variable de temperatura es la de mayor influencia en tres de las cuatro especies modelizadas, y su variación es de valores entre 0.1°C y 2.0°C (61).

Los cambios en el área geográfica potencial de las especies estudiadas, demostraron variaciones ante los escenarios futuros sin ocupación, expansión, sin cambios y contracción de rango; Así como en la evolución de la diversidad vegetal en Ecuador, donde se modeliza 28 especies vegetales ante el cambio global, confirmando que a consecuencia del cambio climático unas especies incrementarán y otras disminuirán su área de ocupación. De las cuales 15 aumentan y 13 pierden áreas idóneas, siendo la proporción diferente en función de la especie (67). El no tener claro los sitios donde se debe concentrar los esfuerzos para la conservación de la biodiversidad resulta un obstáculo.

La vegetación juega en todo esto un papel fundamental, ya que es la forma en la que la biodiversidad puede ser más fácil y eficientemente caracterizada, identificada y cartografiada (66). Además de esto, las plantas son sensibles a las condiciones ambientales de acuerdo al estudio de Thuiller et al.(68) Y Arce et al.(69) , la interacción entre estructura del paisaje y cambio climático es más importante cuanto menos móviles son los organismos considerados (60).

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. El modelamiento de nicho ecológico aplicado en el software Maxent, generó mediante la correlación de datos entre los registros de presencia de cada especie y las variables bioclimáticas, una estadística de ajuste (AUC) mayormente con valores superiores a 0.7 lo que indica, que se obtuvieron buenos modelos de predicción para la distribución potencial de las especies exóticas invasoras *Arachis pintoii*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava* y *Asclepias curassavica*.
2. Los mapas que se generaron demostraron las variaciones en la distribución geográfica, indicando las zonas potenciales con mayor factibilidad de presencia actualmente para Ecuador continental y su proyección ante escenarios climáticos RCP 4.5 (conservador) y RCP 8.5 (extremo) de las especies *Arachis pintoii*, *Melinis minutiflora*, *Psidium guajava* y *Asclepias curassavica*.
3. En la descripción de las zonas de distribuciones geográficas potenciales actuales y futuras; se pudo observar que *Arachis pintoii* actualmente se encontró en la región Oriente, y en los mapas ante escenario climático su nicho ecológico disminuye ante el escenario He4.5 y aumenta su dispersión para la región Sierra en el escenario He8.5. La especie *Melinis minutiflora* obtuvo nicho ecológico actual en la Costa y Sierra, el cual disminuye ante los escenarios futuros. Para *Psidium guajava* se observa la expansión de su nicho en la región Costa. Y *Asclepias curassavica* se dispersa hacia el Oriente en los escenarios futuros.
4. De acuerdo a los cambios del área de expansión potencial de las especies se denotó su variabilidad ante los escenarios de cambio climáticos para el año 2050; siendo *Psidium guajava* con el mayor área de rango de expansión (-1) bajo RCP8.5; *Melinis minutiflora* con el mayor área de no ocupación (0) en ambos escenarios con mínima diferencia; *Psidium guajava* tiene la mayor área sin cambios (1) en ambos escenarios y *Arachis pintoii* con la mayor área en contracción de rango (2) bajo RCP8.5.

5.2. RECOMENDACIONES

- 1.** Incentivar a que los investigadores, trabajen en proyectos que logren identificar la presencia de especies exóticas invasoras en el país, y obtener sus registros con sus respectivas coordenadas de georreferenciación, ya que actualmente existen escasos registros de presencia para Ecuador Continental.
- 2.** Obtener previos conocimientos en el manejo de archivos Ascii. Los cuales son un requerimiento indispensable para quienes deseen trabajar en el software Maxent.
- 3.** Generar medidas de conservación para las zonas con mayor riesgo de invasión de las EEI, las cuales son potencialmente negativas para la biodiversidad.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

1. Zilletti B, Capdevila Argüelles L. Invasiones biológicas : una amenaza para la biodiversidad. Cuad Biodivers [Internet]. 2003;(12):11–4. Available from: <http://hdl.handle.net/10045/1125>
2. Capdevila-Argüelles L, Zilletti B, Suárez Álvarez VÁ. Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies Exóticas Invasoras Causes of biodiversity loss: Invasive Alien Species. Memorias la Real Soc Española Hist Nat. 2013;10:55–75.
3. Martínez Quintero Bedr. Distribucion potencial de *Oxysternon conspicillatum* (weber,1801) en diferentes escenarios de cambio climático en Colombia. 2017;(Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas.).
4. Herrera I, Hernández-Rosas JI, Suárez CF, Cornejo X, Amaya A, Goncalves E, et al. Reporte y distribución potencial de una palma exótica ornamental (*Roystonea oleracea*) en Ecuador. *Rodriguesia*. 2017;68(2):759–69.
5. Recursos, Condiciones y Nicho Ecológico. In 2017.
6. Arribas P, Abellán P, Velasco J, Bilton DT, Lobo JM, Millán A, et al. La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas* [Internet]. 2012;21(3):79–84. Available from: <http://arrecife.urjc.es/index.php/ecosistemas/article/view/701>
7. Mauchamp a. Threats from Alien Plant Species in the Galápagos Islands. *Conserv Biol*. 1997;11(1):260–3.
8. Zapata C. CD. CC. El sistema de inspección y cuarentena para Galápagos. [Internet]. Fundación Natura; 2000 [cited 2017 Nov 29]. Available from: <http://bibliotecafcd.yachay.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=9099>
9. Carrion V, Donlan CJ, Campbell K, Lavoie C, Cruz F. Feral donkey (*Equus asinus*) eradications in the Galápagos. *Biodivers Conserv* [Internet]. 2007 Feb [cited 2017 Nov 29];16(2):437–45. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10531-005-5825-7>
10. Morales S N. Modelos de distribución de especies : Software Maxent y sus aplicaciones en Conservación. *Rev Conserv Ambient*. 2012;2(1):1–3.
11. Abanades JC, Grimalt JO, Montes C, Ríos AF, Valladares F. Cambio global. 2009.
12. Lampis A. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Cuad geogr rev colomb geogr* [Internet]. 2013;22(2):17–33. Available from: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/37017>
13. Leguía E, Soudre M, Rognitz M. Predicción y evaluación del impacto del cambio climático sobre los sistemas agroforestales en la amazonia peruana y andina ecuatoriana. 2010;
14. Pliscoff P, Fuentes-Castillo T. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles 1. 2011;48:61–79.

15. El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC | ¿Qué implica para Latinoamérica? — i El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC ¿Qué implica para Latinoamérica?.Resumen Ejecutivo. [cited 2017 Dec 14]; Available from: <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>
16. Rodriguez E. Cambio climático 2013 : bases físicas Índice. X Semin "Respuestas desde la Comunidad y la Educación frente al cambio Clim [Internet]. 2013;15–6. Available from: www.climatechange2013.org
17. Beijing Climate Center [Internet]. [cited 2018 Jan 29]. Available from: <http://forecast.bccsm.ncc-cma.net/web/channel-43.htm>
18. Donner LJ, Wyman BL, Hemler RS, Horowitz LW, Ming Y, Zhao M, et al. The Dynamical Core, Physical Parameterizations, and Basic Simulation Characteristics of the Atmospheric Component AM3 of the GFDL Global Coupled Model CM3. J Clim [Internet]. 2011 Jul [cited 2018 Jan 29];24(13):3484–519. Available from: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2011JCLI3955.1>
19. Global Climate Monitor: Descarga de datos climáticos - MappingGIS [Internet]. [cited 2018 Jan 29]. Available from: https://mappinggis.com/2015/05/global-climate-monitor-descarga-de-datos-climaticos/#Global_Climate_Monitor
20. HadGEM2 — vERC [Internet]. [cited 2018 Jan 29]. Available from: <https://portal.enes.org/models/earthsystem-models/metoffice-hadley-centre/hadgem2-es>
21. Rosero AC, Vasquez P, Ganadería MDA. ANÁLISIS SITUACIONAL DE LAS OBERANÍAS ALIMENTARIAS EN EL CONTEXTO DE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ECUADOR. 2010;1–23.
22. Conde C, Saldaña-Zorrilla SO. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. Rev Ambient y Desarro. 2007;23(2):23–30.
23. Josep Peñuelas, Santi Sabaté IFYCG. CAPÍTULO 15 Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación*. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. 2004. 425-460 p.
24. Bañón Díaz R. Introducción al estudio de las especies exóticas marinas en Galicia. Rev Galegas dos Recursos Mariños [Internet]. 2012;3(December 2011):1–67. Available from: http://www.recmar-galicia.org/monografías/monografias3_Banon/EspeciesExoticasGalicia_Banon_2012.pdf
25. Gutiérrez F. Estado De Conocimiento De Especies Invasoras. Propuesta de lineamientos para el control de los impactos. 2006. 156 p.
26. Laura Capdevila Argüelles, Ángela Iglesias García, Jorge F. Orueta, Bernardo Zilletti. ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo. NATURALEZA Y PARQUES NACIONALES Serie técnica. 2006;
27. Ojasti J. Estudio sobre el estado actual de las especies exóticas. Quito, Ecuador Bibl Digit Andin [Internet]. 2001;220. Available from: <http://www.comunidadandina.org/bda/docs/CAN-BIO->

0012.pdf

28. Americana T, Carlos I, Iñiguez A. UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA Escuela de Ciencias Biológicas y Ambientales “ Predicción de la distribución geográfica potencial de la especie Rana Toro Americana en Ecuador. 2009;
29. Illoldi P, Escalante T. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía* [Internet]. 2008;3(January 2016):7–12. Available from: <http://scholar.google.com/scholar?q=intitle:De+los+modelos+de+nicho+ecol+gico+a+las+rea+s+de+distribuci+n+geogr+fica#0>
30. OSINFOR (Organismo Superior de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre Peru). Modelamiento espacial de nichos ecológicos para la evaluación de presencia de especies forestales maderables en la Amazonía Peruana. Ficha Tec [Internet]. 2013;81. Available from: http://www.osinfor.gob.pe/portal/data/destacado/adjunto/modelamiento_nichos_ecologicos.pdf
31. Nori J, Scientific N, Castaneda N, Global A, Diversity C. INTRODUCCION A LOS ANÁLISIS ESPACIALES. 2017;(June).
32. Burneo SF, Tirira DG. Murciélagos del Ecuador: un análisis de sus patrones de riqueza, distribución y aspectos de conservación. *Therya* [Internet]. 2014;5(1):197–228. Available from: <http://www.mastozoologiamexicana.org/doi/10.12933/therya-14-184/therya-14-184>
33. Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int J Climatol* [Internet]. 2005 Dec 1 [cited 2018 Feb 16];25(15):1965–78. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1276>
34. López G (1961-), López G (1961-). Atlas de las aves nidificantes en la provincia de Alicante [Internet]. Publicacions de la Universitat d’Alacant; 2015 [cited 2017 Dec 18]. Available from: https://www.google.com.ec/search?rlz=1C1CHBD_esEC750EC750&ei=SII4WonsL4L8mQHE2anYDw&q=Area+bajo+la+curva+AUC+en+modelizacion&oq=Area+bajo+la+curva+AUC+en+m odelizacion&gs_l=psy-ab.3...5064.9941.0.10438.18.15.1.0.0.0.823.3356.2-6j3j6-1.10.0...0...1c.1.64.psy-ab..7.9.2726...0i22i30k1j33i22i29i30k1j33i160k1.0.xSebysZdVmw
35. RJ Hijmans, S Cameron, J Parra, PG Jones, A Jarvis KR. *Worldclim*, versión 1.3. Univ California, Berkeley [Internet]. 2005 [cited 2018 Jan 30]; Available from: <https://scholar.google.es/citations?user=YRuNbUwAAAAJ&hl=es>
36. Simonetti J, Dirzo R. Conservación biológica : perspectivas desde América Latina [Internet]. Santiago de Chile, editor. 2012 [cited 2018 May 5]. 194 p. Available from: https://www.google.com/search?rlz=1C2CHBD_esEC750EC750&source=hp&ei=bh_uWsuBMsLt5gKYz4OgBw&q=Invasiones+biologicas+en+America+Latina+del+Caribe%3Atendencias+en+investigacion+para+la+conservacion+de+Anibal+Pauchard&oq=Invasiones+biologicas+en+Am erica+Latin
37. Quesada M, Acosta LG, Arias D. Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de Costa Rica. *Rev For Mesoam*. 2017;14(34):1–12.

38. Alkische AA, Peterson AT, Samy AM. Climate change influences on the potential geographic distribution of the disease vector tick *Ixodes ricinus* Climate change influences on the potential geographic distribution of the disease vector tick *Ixodes ricinus*. 2017;(December).
39. Kaslin Ulloa RJ. Distribución actual y potencial de las poblaciones del género *Latrodectus* (Araneae Theridiidae) en Ecuador. UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS. 2013.
40. Olson ME, Alvarado-Cárdenas LO. ¿Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleifera*, en México? Un análisis de su distribución potencial. *Rev Mex Biodivers* [Internet]. 2016;87(3):1089–102. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.007>
41. Alberto E, Sergio G, Jesús T, Aragón-noriega EA, Castillo-vargasmachuca SG, Ponce-palafox JT, et al. Distribución potencial de almeja de sifón *Panopea globosa* del Golfo de California en un escenario de cambio climático. 2017;
42. Andrés Carbajales Astapenco. “Modelos de Distribución de la acacia invasora *Gleditsia triacanthos* como herramientas para su manejo .” Univ la República Uruguay. 2013;
43. Comunicación Nacional. República del, Ecuador. CNC (Comité Nacional sobre el Clima) [Internet]. Convención Marco de las Naciones Unidas. Cambio Climático. 2001 [cited 2018 May 4]. p. 128. Available from: [https://www.google.com.ec/search?q=CNC+\(Comité+Nacional+sobre+el+Clima\)+\(2001\)+Comunicación+Nacional.+Republica+del+Ecuador.+Convención+Marco+de+las+Naciones+Unidas.+Cambio+Climático.&rlz=1C1CHBD_esEC750EC750&oq=CNC+\(Comité+Nacion](https://www.google.com.ec/search?q=CNC+(Comité+Nacional+sobre+el+Clima)+(2001)+Comunicación+Nacional.+Republica+del+Ecuador.+Convención+Marco+de+las+Naciones+Unidas.+Cambio+Climático.&rlz=1C1CHBD_esEC750EC750&oq=CNC+(Comité+Nacion)
44. Romero M. Informe de Ecuador. Recursos forestales y cambio en el uso de la tierra. [Internet]. Proyecto: Información y análisis para el manejo forestal sostenible: integrando esfuerzos nacionales e internacionales en 13 países tropicales en América Latina (GCP/RLA/133/EC)-FAO. p.1-25. 2001 [cited 2018 May 4]. Available from: [https://www.google.com.ec/search?q=Romero%2C+M.++\(2001\)+Informe+de+Ecuador.+Recursos+forestales+y+cambio+en+el+uso+de+la+tierra.+Proyecto%3A+Información+y+análisis+para+el+manejo+forestal+sostenible%3A+integrando+esfuerzos+nacionales+e+internacio](https://www.google.com.ec/search?q=Romero%2C+M.++(2001)+Informe+de+Ecuador.+Recursos+forestales+y+cambio+en+el+uso+de+la+tierra.+Proyecto%3A+Información+y+análisis+para+el+manejo+forestal+sostenible%3A+integrando+esfuerzos+nacionales+e+internacio)
45. UNIATMOS - UNAM [Internet]. 4to Reporte de evaluación del IPCC sobre el cambio climático . 2007 [cited 2018 Feb 19]. Available from: http://atlasclimatico.unam.mx/atlas/Docs/f_escenarios.html
46. En I. Distribución Actual Y Futura De Anfibios Y Reptiles Con Potencial Aproximacion Usando Modelos De. *Science* (80-). :65–71.
47. Norberto Martínez. Apuntes sobre nicho ecológico. 2010.
48. Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Modell* [Internet]. 2006 Jan [cited 2018 Jan 30];190(3–4):231–59. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030438000500267X>
49. Dud M, Schapire RE. Maximum Entropy Density Estimation with Generalized Regularization

- and an Application to Species Distribution Modeling. 2007;8:1217–60.
50. C. Rodríguez Salas. Renovación de pasturas degradadas de *Arachis pintoi* por medio de siembra asociada de *Brachiaria brizantha* cv. Toledo [Internet]. Instituto Tecnológico de Costa Rica sede regional San Carlos; 2011 [cited 2018 Mar 22]. Available from: [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3961/Renovación de pasturas degradadas de Arachis pintoi por medio de siembra asociada de Brachiaria brizantha cv. Toledo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3961/Renovación%20de%20pasturas%20degradadas%20de%20Arachis%20pintoi%20por%20medio%20de%20siembra%20asociada%20de%20Brachiaria%20brizantha%20cv.%20Toledo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
 51. Pedro J. Argel, Milton Villarreal M. Nuevo Maní Forrajero Perenne (*Arachis pintoi* Krap. y Greg. nom. nud., CIAT 18744). Agrónomos respectivamente del Cent Int Agric Trop y del Inst Tecnológico Costa Rica [Internet]. [cited 2018 Mar 22];23. Available from: https://www.google.com.ec/search?q=Rincón+C.,+A.%3B+Cuesta+M.,+P.+A.%3B+Perez+B.,+R.%3B+Lascano,+C.+E.+y+Ferguson,+J.+Maní+Forrajero+Perenne.+Arachis+pintoi+Krapovickas+y+Gregory.&rlz=1C1CHBD_esEC750EC750&ei=62e0WpPQH4_y5gKI1YCoCQ&start=10&sa=N&
 52. Hanelt P, Büttner R, Mansfeld R, Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben G. Mansfeld's encyclopedia of agricultural and horticultural crops (except ornamentals) [Internet]. Springer; 2001 [cited 2018 Mar 23]. Available from: https://www.google.com.ec/search?q=Melinis+minutiflora+P.+Beauv.%2C+1812&rlz=1C1CHBD_esEC750EC750&oq=Melinis+minutiflora+P.+Beauv.%2C+1812&aqs=chrome..69i57.1809j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8
 53. Claudio Melini Álvarez. “uso de 3 diferentes dosis de infusión de pasto gordura (*Melinis minutiflora*) vía oral, como nematocida gastrointestinal en pequeños rumiantes.” Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnia Escuela de “Medicina veterinaria”; 2013.
 54. Castaño J, Montes J. Estudio integral de *Psidium guajava* en un sistema silvopastoril en el municipio de Turbo Antioquía [Internet]. Universidad Nacional abierta y a distancia – UNAD Escuela de Ciencias Agrarias PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL TURBO; 2014 [cited 2018 Mar 23]. Available from: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/8569/1/71948313.pdf>
 55. Plants & Flowers » *Psidium guajava* var. *guajava* [Internet]. [cited 2018 Mar 23]. Available from: <http://www.plantsrescue.com/tag/psidium-guajava-var-guajava/>
 56. María Ponce Andrade. Estudio preliminar de la diversidad genética de la guayaba, *Psidium guajava*, en 6 localidades de la isla San Cristóbal, Ecuador [Internet]. Universidad San Francisco de Quito; 2014 [cited 2018 Mar 23]. Available from: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3171/1/000110306.pdf>
 57. Evelin Castillo Villalta, Mirna Cordova Ramos. Identificación de esteroides en *Asclepias curassavica* (Señorita viborana), *Calotropis procera* (Matacoyote), *Thevetia ahouai* (Huevos de gato) y *Thevetia peruviana* (Chilca). Universidad de el Salvador FACULTAD DE QUIMICA Y

- FARMACIA; 2015.
58. Rafael Salgado Garciglia. ¿SIN ASCLEPIAS NO HAY MONARCAS! [Internet]. 2016 [cited 2018 Mar 24]. Available from: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/227-numero-26/405-sin-asclepias-no-hay-monarcas.html>
 59. Correo Rodríguez M (Departamento DCDLTYDLC. Estrategia preliminar para evaluar y erradicar *Achatina fulica* (Gastropoda : Achatinaceae) en Ecuador. Bol Técnico - Ser Zoológica. 2006;6:45–52.
 60. Honnay O, Verheyen K, Butaye J, Jacquemyn H, Bossuyt B, Hermy M. Possible effects of habitat fragmentation and climate change on the range of forest plant species. *Ecol Lett* [Internet]. 2002 Jul [cited 2018 May 5];5(4):525–30. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1461-0248.2002.00346.x>
 61. Boletín Climatológico Semestral. Boletín de vigilancia climática del Ecuador [Internet]. Quito-Ecuador; 2016 [cited 2018 Apr 24]. Available from: https://www.google.com.ec/search?q=Datos+climaticos+en+Ecuador&rlz=1C1CHBD_esEC750EC750&oq=Datos+climaticos+en+Ecuador&aqs=chrome..69i57j0l2.7347j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8
 62. *Arachis Pinto* (Pinto Peanut) - Varieties Tropical Seeds Tropical Seeds [Internet]. [cited 2018 Apr 24]. Available from: <http://www.tropseeds.com/es/arachis-pinto/>
 63. Calderón Bran, F; Dardón, D; Liu, YM; Lin H. Cultivo de guayaba tailandesa (*Psidium guajava* L). Bárcenas, Villa Nueva, GT, ICTA. p. 6,14-18. *Rev Iberoam Tecnol Postcosecha* [Internet]. 2000 [cited 2018 Apr 24];6, número 002.:80. Available from: [https://www.google.com.ec/search?q=Calderón+Bran%2C+F%3B+Dardón%2C+D%3B+Liu%2C+YM%3B+Lin%2C+HL.+2000.+Cultivo+de+guayaba+tailandesa+\(Psidium+guajava+L\).+Bárcenas%2C+Villa+Nueva%2C+GT%2C+ICTA.+p.+6%2C14-18.+Castellano%2C+G%3B+Quijada%2C+O%3B](https://www.google.com.ec/search?q=Calderón+Bran%2C+F%3B+Dardón%2C+D%3B+Liu%2C+YM%3B+Lin%2C+HL.+2000.+Cultivo+de+guayaba+tailandesa+(Psidium+guajava+L).+Bárcenas%2C+Villa+Nueva%2C+GT%2C+ICTA.+p.+6%2C14-18.+Castellano%2C+G%3B+Quijada%2C+O%3B)
 64. clima del diagnóstico situacional de la región oriente [Internet]. [cited 2018 Apr 24]. Available from: <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2007/jdv/26.htm>
 65. Malcolm JR, Markham A, Neilson RP, Garaci M. Estimated migration rates under scenarios of global climate change. *J Biogeogr* [Internet]. 2002 Jul [cited 2018 May 5];29(7):835–49. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2699.2002.00702.x>
 66. Kazakis, G., Ghoson, D. & Vogiatzakis, I.N. & Papanastasis VP. Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Lefka Ori, Crete. *Biodivers Conserv*. 2006;
 67. Delgado Cueva T. Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global [Internet]. Universidad Complutense de Madrid.; 2008 [cited 2018 May 4]. Available from: [file:///F:/RGMateo/separatas/07_WILDLIFE MODELS/Delgado_2008_thesis.pdf](file:///F:/RGMateo/separatas/07_WILDLIFE%20MODELS/Delgado_2008_thesis.pdf)
 68. Thuiller W, Albert C, Araújo MB, Berry PM, Cabeza M, Guisan A, et al. Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspect Plant Ecol Evol Syst*

- [Internet]. 2008 Mar [cited 2018 May 5];9(3–4):137–52. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1433831907000376>
69. Arce-Romero AR, Monterroso-Rivas AI, Gómez-Díaz JD. Mexican plums (*Spondias* spp.): their current distribution and potential distribution under climate change scenarios for Mexico. *Rev Chapingo Ser Hortic* [Internet]. 2016;XXIII(1):5–19. Available from: http://chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido.php?id_articulo=2291&id_revistas=1&id_revista_numero=236
70. Richard Lyons Nursery I. *Arachis pintoi* (Perennial Peanut4) [Internet]. Rare & Unusual Tropical Trees & Plants, Flowering, Fruit, Native, Palm, Bamboo, Heliconia, Hummingbird, Butterfly. 2018 [cited 2018 May 18]. Available from: <http://www.richardlyonsnursery.com/>
71. Jaiswal U, Jaiswal VS. *Psidium guajava* Guava. In: *Biotechnology of Fruit and Nut Crops* [Internet]. 2005 [cited 2018 May 18]. p. 394–401. Available from: [https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Psidium_guajava_\(Guava\).htm](https://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/weeds/key/weeds/Media/Html/Psidium_guajava_(Guava).htm)
72. Centre for Agricultural Bioscience International. *Melinis minutiflora*. Noosa's Nativ Plants [Internet]. 2014 [cited 2018 May 18];365–71. Available from: http://noosasnativeplants.com.au/plants/776/*melinis-minutiflora
73. R. A. *Asclepias curassavica* - Algunas Malezas De Costa Rica y Mesoamerica [Internet]. University of Florida. 2011 [cited 2018 May 18]. Available from: http://international_extension.ifas.ufl.edu/LaFlor/weeds-of-costa-rica/MALEZAS/Asclepiadaceas/asclepias-curassavican.shtml

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Especie *Arachis pintoi*



Fuente: Lynous (70)

Anexo 2. Especie *Melinis minutiflora*



Fuente: Centre for Agricultural Bioscience International (71)

Anexo 3. Especie *Psidium guajava*



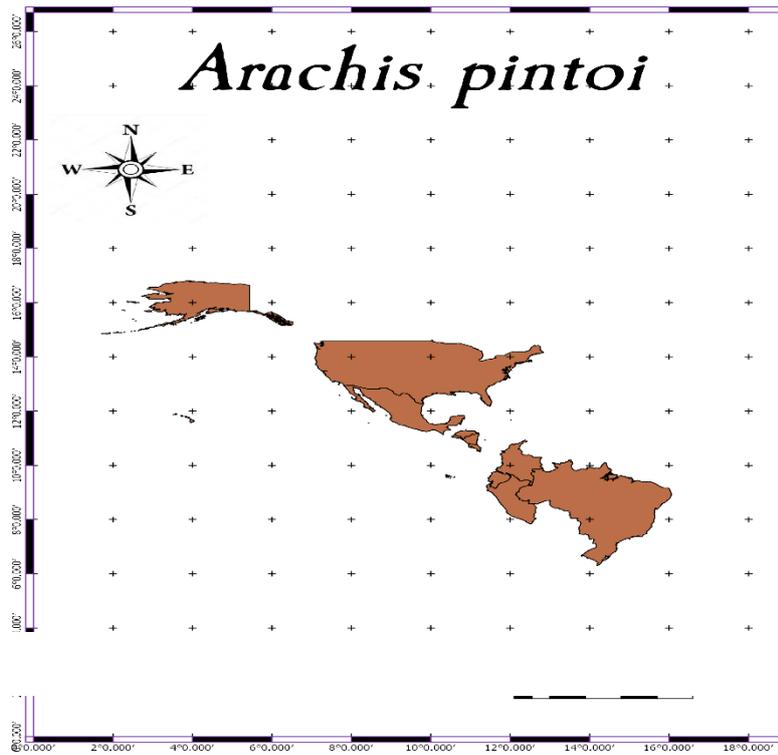
Fuente: Jaiswal (72)

Anexo 4. Especie *Asclepias curassavica*



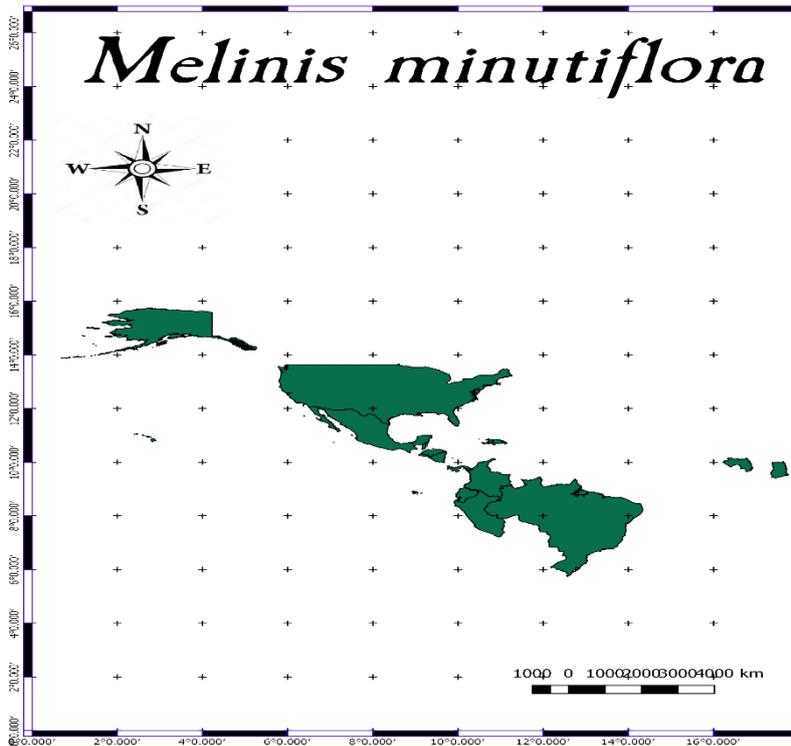
Fuente: Aguero (73)

Anexo 1. Países con registros de presencia de la especie *Arachis pintoii*



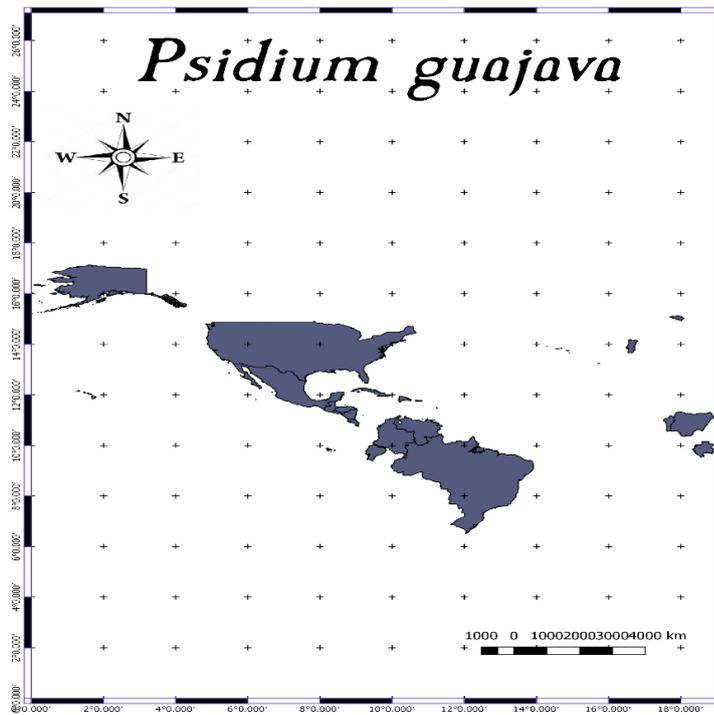
Elaboración: Autora

Anexo 2. Países con registros de presencia de la especie *Melinis minutiflora*



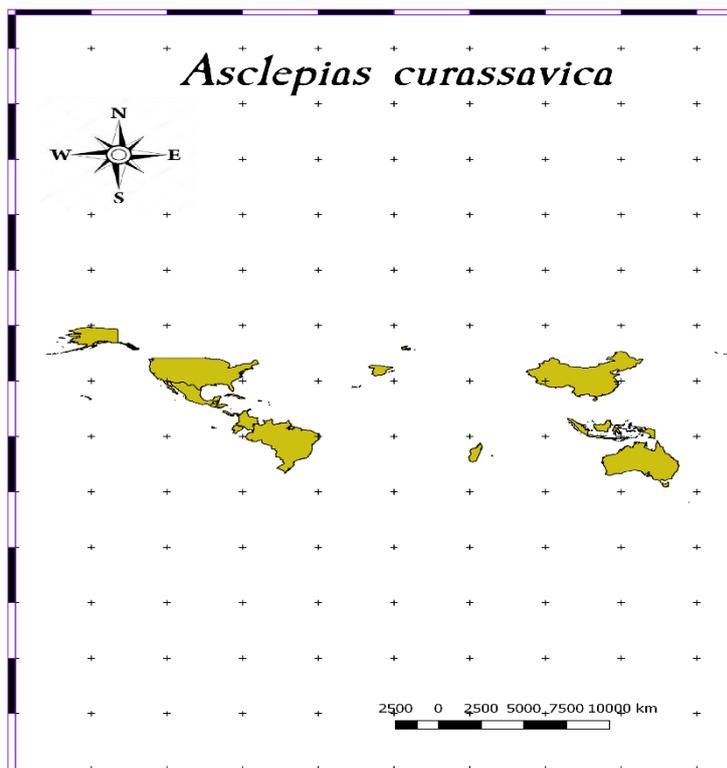
Elaboración: Autora

Anexo 3. Países con registros de presencia de la especie *Psidium guajava*



Elaboración: Autora

Anexo 4. Países con registros de presencia de la especie *Asclepias curassavica*



Elaboración: Autora