



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE LICENCIATURA EN GESTIÓN AMBIENTAL

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

Título del Proyecto de Investigación:

Riesgo de invasión de las áreas protegidas del Ecuador continental por especies exóticas en el
contexto de escenarios de cambio climático

Autora:

Carmen Elena Veloz Portillo

Directora del Proyecto de Investigación:

Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.

Quevedo – Los Ríos - Ecuador

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Veloz Portillo Carmen Elena**, 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.

Veloz Portillo Carmen Elena

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 **Carmen Elena Veloz Portillo** realizó el Proyecto de Investigación titulado **“RIESGO DE INVASIÓN DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS DEL ECUADOR CONTINENTAL POR ESPECIES EXÓTICAS EN EL CONTEXTO DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO”**, previo a la obtención del título de Licenciada en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....
Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.

DIRECTORA DE TESIS

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



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS- CARMEN VELOZ.docx (D98337443)
Submitted: 3/15/2021 2:42:00 AM
Submitted By: yferrer@uteq.edu.ec
Significance: 8 %

Sources included in the report:

MCTESIS_revision final.docx (D36525284)
TESIS.docx (D43319194)
Emilio_Vivas_EEI.docx (D40939038)
EMILIO_VIVAS_TESISURK.docx (D40618880)
alex_coveña_urkund_tesis.docx (D43249664)

.....

Blga. Yarelys Ferrer Sánchez, PhD.

DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE LICENCIATURA EN GESTIÓN AMBIENTAL
TÍTULO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

“Riesgo de invasión de las áreas protegidas del Ecuador continental por especies exóticas en el contexto de escenarios de cambio climático”

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

Aprobado por:

ING. OSCAR PRIETO

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS

DRA. LIDIA VLASSOVA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

ING. PEDRO LOZANO

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme regalado la vida para conseguir uno de mis más grandes anhelos, porque aunque el camino no ha sido fácil siempre ha estado conmigo guiando mis pasos y dirigiéndome por el camino correcto.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional, por haberme forjado como persona de bien, por ser siempre mi ejemplo de superación y por haberme inculcado valores que me motivaron a perseverar por mis sueños y anhelos.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo que me abrió las puertas y me permitió ser parte de tan prestigiosa institución, brindándome la oportunidad de poder culminar con mis estudios académicos.

A todos mis maestros, quienes con sus conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

A mi tutora de tesis, la Dra. Yarelys Ferrer Sánchez, por haberme otorgado la oportunidad de trabajar junto a ella, por brindarme su tiempo, paciencia y conocimiento científico para guiarme durante todo el proceso de elaboración del proyecto de investigación.

A mis compañeros y amigos con los que he compartido gratos momentos en el transcurso de estos años de formación académica.

Carmen Elena Veloz Portillo

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico con mucho amor y cariño a mis padres, quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional, por ser mi fuente de inspiración para poder superarme cada día y así poder luchar por mis sueños.

A mi hermana y a mi sobrina por siempre darme palabras de aliento para que siguiera adelante y perseverar por mis ideales.

A todas aquellas las personas que son parte fundamental en mi vida.

Carmen Elena Veloz Portillo

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático ha causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. Se prevé que el cambio climático provocará profundos cambios en los patrones de distribución de muchas especies. En Ecuador continental, la presencia de especies exóticas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, sumado a otros factores relacionados a actividades antropogénicas, incrementan el riesgo de afectación a la biodiversidad y funciones ecológicas de los ecosistemas poniendo en riesgo los valores de conservación propios de cada área protegida. Además, es evidente la limitada disponibilidad de información en cuanto a esta problemática. El objetivo de la investigación fue determinar el riesgo de invasiones biológicas en las áreas protegidas de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático, a través de la modelación de nicho ecológico. Se usó como método de modelación el de máxima entropía (MaxEnt) y como información datos de presencia nativa y en zonas invadidas a nivel mundial de 5 especies exóticas invasoras, obtenidos de Global Biodiversity Information Facility y la paquetería de Niche ToolBox además de la literatura existente. El resultado del análisis indica que las áreas protegidas en su mayoría no cuentan con parámetros para la identificación de especies exóticas invasoras, los planes de manejo y los planes de conservación de especies endémicas son los mecanismos más usados. Las condiciones ambientales de la región andina y amazónica son las idóneas para la distribución potencial de especies como *Wasmannia rochai* Forel, *Asclepias curassavica* y *Aphis fabae* Scopoli. Con la superposición de mapas se pudo identificar que la mayor expansión de la distribución potencial de las especies en las áreas protegidas ante el cambio climático ocurriría en escenarios extremos (RCP 8.5).

Palabras claves: Especies exóticas invasoras, cambio climático, áreas protegidas, modelo de nicho climático.

ABSTRACT

Climate change has caused impacts on natural and human systems on all continents and oceans. Climate change is expected to cause profound changes in the distribution patterns of many species. In continental Ecuador, the presence of exotic species in the National System of Protected Areas, added to other factors related to anthropogenic activities, increases the risk of affecting biodiversity and ecological functions of ecosystems, putting at risk the conservation values of each protected area. In addition, it is evident that there is limited information available on this problem. The objective of this research was to determine the risk of biological invasions in the protected areas of continental Ecuador under climate change scenarios, through ecological niche modeling. The maximum entropy (MaxEnt) modeling method was used as a modeling method and as information data of native presence and in invaded areas worldwide of 5 invasive alien species, obtained from the Global Biodiversity Information Facility and the Niche ToolBox package, in addition to existing literature. The result of the analysis indicates that most protected areas do not have parameters for the identification of invasive alien species, management plans and conservation plans for endemic species are the most used mechanisms. The environmental conditions of the Andean and Amazon regions are ideal for the potential distribution of species such as *Wasmannia rochai* Forel, *Asclepias curassavica* and *Aphis fabae* Scopoli. With the superposition of maps, it was possible to identify that the greatest expansion of the potential distribution of species in protected areas in the face of climate change would occur in extreme scenarios (RCP 8.5).

Keywords: Invasive alien species, climate change, protected areas, climate niche model.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
TÍTULO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	viii
ABSTRACT	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
CÓDIGO DUBLIN.....	xviii
Introducción.....	xix
CAPÍTULO I	21
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.1.Problema de la Investigación.....	22
1.1.1.Planteamiento del problema	22
1.1.2.Formulación del problema.....	23
1.1.3.Sistematización del problema.....	23
1.1.4.Hipótesis	24
1.2.Objetivos.....	24
1.2.1.Objetivo general	24
1.2.2.Objetivos específicos.....	24

1.3.Justificación	24
CAPÍTULO II.....	26
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	26
2.1. Marco conceptual	27
2.1.1. Cambio climático.....	27
2.1.2.Áreas protegidas	29
2.1.3.Invasiones biológicas.....	29
2.1.4.Especies exóticas	31
2.1.5.Nicho.....	32
2.1.6.Modelo de distribución potencial	33
2.1.7.Modelado de nicho ecológico.....	33
2.1.8.Herramientas para el modelado de nicho ecológico.....	35
2.2.Marco referencial.....	37
2.2.1. Análisis áreas protegidas	37
2.2.2.Análisis especies exóticas invasoras.....	37
2.2.3.Cambio climático y distribución de las especies	38
2.2.4.Consecuencias ecológicas provocadas por invasiones biológicas.....	38
2.2.5.Consecuencias económicas provocadas por invasiones biológicas.....	39
2.2.6.Herramientas para la modelación de nicho ecológico	39
2.2.7.Antecedentes sobre estudios de áreas protegidas y especies exóticas invasoras en Ecuador.....	40
CAPÍTULO III	41
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.1. Localización.....	42
3.1.1. Condiciones climáticas.....	43

3.1.2. Reservas Naturales	43
3.2. Tipo de investigación.....	43
3.2.1. Investigación exploratoria	43
3.3. Métodos de investigación	44
3.3.1. Método deductivo	44
3.3.2. Método analítico	44
3.4. Fuentes de recopilación de información	44
3.5. Diseño de la investigación.....	44
3.5.1. Selección de especies exóticas invasoras	44
3.5.2. Datos de presencia de especies	45
3.5.3. Variables climáticas.....	45
3.5.4. Modelación del nicho ecológico.....	47
3.6. Instrumentos de investigación	48
3.7. Tratamiento de los datos.....	49
3.8. Recursos humanos y materiales.....	49
3.8.1. Materiales	49
3.8.2. Software.....	49
CAPÍTULO IV	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1. Resultados.....	51
4.1.1. Describir la situación actual de invasiones biológicas en las áreas protegidas de Ecuador continental por categorías de manejo.	51
4.1.2. Modelar la distribución potencial de especies exóticas invasoras de Ecuador continental en el presente y en escenarios de cambio climático.	58
4.1.3. Identificar las contracciones y expansiones de las distribuciones potenciales de las especies en las áreas protegidas ante el cambio climático.....	88

4.2. Discusión	108
CAPÍTULO V.....	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
5.1. Conclusiones.....	112
5.2. Recomendaciones	113
CAPÍTULO VI	114
BIBLIOGRAFÍA	114
6.1. Referencias bibliográficas	115
CAPÍTULO VII	123
ANEXOS	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables bioclimáticas utilizadas en la modelación de nicho climático de 5 especies exóticas invasoras en Ecuador continental.	46
Tabla 2. Distribución de las áreas protegidas de Ecuador por categorías de manejo.	51
Tabla 3. Áreas protegidas consideradas como Reservas de Biósfera, humedales y áreas de importancia para la conservación de aves.	54
Tabla 4. Lista de parámetros establecidos para conocer la situación actual de las áreas protegidas.	55
Tabla 5. Cantidad de áreas protegidas por categoría de manejo que cumplen con los parámetros establecidos. 1: Planes de manejo; 2: Lista de especies exóticas invasoras; 3: Estrategia de erradicación de especies exóticas; 4: Estrategia de prevención de entrada de especies exóticas; 5: Plan de conservación de especies endémicas y/o amenazas; 6: Mecanismos financieros para la prevención, manejo y control de especies exóticas; 7: Programas de monitoreo; 8: Estrategias de control de especies exóticas invasoras; 9: Protocolo de detección temprana y respuesta rápida.	56
Tabla 6. Rendimiento del modelo para <i>Amaranthus hybridus</i> L.	59
Tabla 7. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje al modelo de nicho ecológico para <i>Amaranthus hybridus</i> L.	59
Tabla 8. Rendimiento del modelo para <i>Aphis fabae</i> Scopoli.	65
Tabla 9. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje al modelo de nicho ecológico para <i>Aphis fabae</i> Scopoli.	65
Tabla 10. Rendimiento del modelo para <i>Asclepias curassavica</i> L.	71
Tabla 11. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje al modelo de nicho ecológico para <i>Asclepias curassavica</i> L.	71
Tabla 12. Rendimiento del modelo para <i>Conium maculatum</i> L.	77
Tabla 13. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje al modelo de nicho ecológico para <i>Conium maculatum</i> L.	77
Tabla 14. Rendimiento del modelo para <i>Wasmannia rochai</i> F.	83
Tabla 15. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje al modelo de nicho ecológico para <i>Wasmannia rochai</i> F.	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama BAM.....	34
Figura 2. Dualidad de Hutchinson.....	35
Figura 3. Mapa base de Ecuador continental con sus respectivas regiones y áreas protegidas.	42
Figura 4. Distribución de las áreas protegidas de Ecuador continental por categoría de manejo.	53
Figura 5. Cumplimiento de los parámetros establecidos para la identificación de EEI en las áreas protegidas de Ecuador.	56
Figura 6. Cumplimiento de los parámetros de acuerdo a cada categoría de manejo.....	57
Figura 7. Registros de presencia de <i>Amaranthus hybridus</i> en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.	58
Figura 8. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de <i>Amaranthus hybridus</i> L en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).	60
Figura 9. Distribución geográfica potencial de <i>Amaranthus hybridus</i> L. en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 Y 8.5).....	63
Figura 10. Registros de presencia de <i>Aphis fabae</i> en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.	64
Figura 11. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de <i>Aphis fabae</i> Scopoli en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).	66
Figura 12. Distribución geográfica potencial de <i>Aphis fabae</i> Scopoli en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 y 8.5).....	69
Figura 13. Registros de presencia de <i>Asclepias curassavica</i> en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.	70
Figura 14. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de <i>Asclepias curassavica</i> en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).	72

Figura 15. Distribución geográfica potencial de <i>Asclepias curassavica</i> L. en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 Y 8.5).	75
Figura 16. Registros de presencia de <i>Conium maculatum</i> en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.	76
Figura 17. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de <i>Conium maculatum</i> en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).	78
Figura 18. Distribución geográfica potencial de <i>Conium maculatum</i> L. en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 y 8.5).	81
Figura 19. Registros de presencia de <i>Wasmannia rochai</i> en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.	82
Figura 20. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de <i>Wasmannia rochai</i> en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).	84
Figura 21. Distribución geográfica potencial de <i>Wasmannia rochai</i> F. en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 y 8.5).	87
Figura 22. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para <i>Amaranthus hybridus</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	89
Figura 23. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para <i>Amaranthus hybridus</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	91
Figura 24. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para <i>Aphis fabae</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	93
Figura 25. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para <i>Aphis fabae</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	95

Figura 26. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para <i>Asclepias curassavica</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	97
Figura 27. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para <i>Asclepias curassavica</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	99
Figura 28. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para <i>Conium maculatum</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	101
Figura 29. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para <i>Conium maculatum</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	103
Figura 30. . Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para <i>Wasmannia rochai</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	105
Figura 31. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para <i>Wasmannia rochai</i> ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.	107

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Riesgo de invasión de las áreas protegidas del Ecuador continental por especies exóticas en el contexto de escenarios de cambio climático.		
Autor:	Veloz Portillo Carmen Elena		
Palabras clave:	Especies exóticas invasoras	Cambio climático	Áreas protegidas
	Modelo de nicho ecológico		
Fecha de publicación:	Mayo 2021		
Editorial:	Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2021.		
Resumen:	El objetivo de la investigación fue determinar el riesgo de invasiones biológicas en las áreas protegidas de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático, a través de la modelación de nicho ecológico. Se usó como método de modelación el de máxima entropía (MaxEnt) y como información datos de presencia nativa y en zonas invadidas a nivel mundial de 5 especies exóticas invasoras, obtenidos de Global Biodiversity Information Facility y la paquetería de Niche ToolBox además de la literatura existente. El resultado del análisis indica que las áreas protegidas en su mayoría no cuentan con parámetros para la identificación de especies exóticas invasoras, los planes de manejo y los planes de conservación de especies endémicas son los mecanismos más usados. Las condiciones ambientales de la región andina y amazónica son las idóneas para la distribución potencial de especies como <i>Wasmannia rochai</i> Forel, <i>Asclepias curassavica</i> y <i>Aphis fabae</i> Scopoli. Con la superposición de mapas se logró identificar que la mayor expansión de la distribución potencial de las especies en las áreas protegidas ante el cambio climático ocurriría en escenarios extremos (RCP 8.5).		
Descripción:			
URI:			

Introducción

El cambio climático ha causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos, con evidencias sólidas en los últimos años (1). Estos cambios son atribuidos al ser humano por su contribución al aumento de emisión de gases de efecto invernadero, los que provocan una tendencia de aumento de la temperatura global (2). Se prevé que el cambio climático global también provocará profundos cambios en los patrones de distribución de muchas especies (3), éstas tenderían a modificar su distribución hacia latitudes y altitudes diferentes a las que se encuentran hoy en día (4). A pesar de que recientemente se han realizado numerosos estudios evaluando los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad, esta información apenas se ha traducido en propuestas de gestión concretas que permitan minimizar su impacto sobre las especies (5).

Las áreas protegidas, por su parte, tienen un rol muy importante en la mitigación y adaptación al cambio climático por cuanto ellas contribuyen a mantener la integridad de los ecosistemas, cumplen un efecto de amortiguación sobre el clima local, reducen los riesgos e impactos derivados de los eventos climáticos extremos tales como tormentas, sequías, elevación del nivel del mar. No obstante, su potencial es sólo parcialmente comprendido y su integridad permanece en riesgo (6), debido a las invasiones biológicas producidas por efectos del cambio climático.

Además, las áreas protegidas ofrecen un refugio excepcional para la conservación de las especies y hábitats más vulnerables. Sin embargo, su capacidad de proteger la biodiversidad ante el cambio climático es difícil de anticipar. Este no solo podría forzar la salida de especies nativas fuera de los límites protegidos, sino también facilitar la entrada de especies exóticas invasoras. En conjunto, el cambio climático y las especies exóticas invasoras representan graves amenazas para la conservación de la biodiversidad (7).

Las especies exóticas invasoras (EEI) en reservas naturales degradan ecosistemas protegidos y aumentan los costos de manejo. Además, las EEI pueden desplazar a las especies nativas de flora y fauna por competencia directa, depredación, transmisión de enfermedades, modificación del hábitat, alteración de la estructura trófica y de las condiciones biofísicas de los ambientes y por la alteración de los regímenes de fuego (8).

En los últimos años no se han realizado estudios suficientes sobre las EEI y el cambio climático como factores sinérgicos que actúan sobre los ecosistemas naturales de Ecuador continental. Se prevé que estos factores serán más severos hacia el futuro, siendo insuficiente la protección brindada por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP). Debido a la escasa información que se tiene al respecto, el presente proyecto de investigación tiene como finalidad determinar el riesgo de invasiones biológicas en las áreas protegidas de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático, a través de la modelación de la distribución potencial de especies exóticas. Estos resultados permiten establecer estrategias de protección y conservación de la biodiversidad ya que se identifican las regiones donde podrían ocurrir contracciones y expansiones de las distribuciones potenciales de las EEI.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de la Investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

Ecuador es reconocido como un país megadiverso a nivel mundial, cerca del 20% de su territorio continental está protegido por medio del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Un informe avalado por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), basado en una extensiva búsqueda de información, reporta la presencia de 511 especies vegetales introducidas en el país, de las cuales 144 podrían tener el potencial de invadir (9). Por otro lado, el MAE en el año 2011, registró 44 especies tanto animales como vegetales consideradas como exóticas invasoras.

En Ecuador continental, la presencia de especies exóticas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, sumada a otros factores relacionados a actividades antropogénicas, incrementa el riesgo de afectación a la biodiversidad y funciones ecológicas de los ecosistemas poniendo en riesgo los valores de conservación propios de cada área protegida. Además, es evidente la limitada disponibilidad de información en cuanto a esta problemática; únicamente es posible encontrar literatura específica para invasiones biológicas en las Islas Galápagos, denotando así los vacíos de información que este tema aborda.

1.1.1.1. Diagnóstico

Las Áreas Protegidas del Ecuador fueron creadas para la conservación de las especies florísticas y faunísticas de origen endémico. Además de albergar una biodiversidad única, son fuentes de servicios ambientales claves, particularmente aquellas relacionadas con las fuentes de agua dulce, la misma que es consumida en diferentes ciudades del país, utilizada en plantas hidroeléctricas y en la agricultura (10). Sin embargo, la protección y cuidado de las Áreas Protegidas de Ecuador continental se han visto afectados por diferentes causas entre ellas las especies exóticas invasoras (EEI), actividades antropogénicas, deforestación, cambio climático, entre otras; dando como resultado la migración y extinción de un sinnúmero de especies endémicas, además de afectar la composición genética de dichas poblaciones.

Por otro lado, el aumento acelerado del cambio climático en los últimos años agrava el proceso de distribución de las especies, esto implica que ellas busquen lugares con mejores condiciones

para su supervivencia, siendo las áreas protegidas una buena opción para las invasiones biológicas, puesto que ofrecen un refugio excepcional para la conservación de las especies.

1.1.1.2. Pronóstico

Se prevé que el cambio climático tendrá efectos directos sobre los organismos individuales, sobre las poblaciones y sobre los ecosistemas. En cuanto a los individuos, se ha encontrado que el cambio climático podría afectar su desarrollo, fisiología y sus comportamientos durante las fases de crecimiento, reproducción y migración. Por otra parte, es probable también que la modificación en los patrones de precipitación y el aumento de la temperatura afecten la distribución, tamaño, estructura y abundancia de las poblaciones de algunas especies (11). En este contexto, al no identificarse lugares idóneos para la expansión de EEI se pronostica que la invasión biológica masiva llevará a la destitución y extinción de especies endémicas dentro y fuera de los límites de las Áreas Protegidas en la zona de Ecuador continental.

Además, si no se realizan estudios relacionados al potencial de invasión por especies exóticas invasoras en áreas protegidas en el contexto de escenarios de cambio climático, no se podrá desarrollar estrategias de prevención, mitigación y recuperación, por lo que el daño ocasionado por invasiones biológicas podría ser irreversible en los ecosistemas.

1.1.2. Formulación del problema

Considerando que el Ecuador es un país megadiverso y que la invasión por EEI ha ganado gran territorio en los últimos años, surge la siguiente duda ¿Son las áreas protegidas de Ecuador continental propensas a la invasión por EEI, tomando en cuenta la influencia del cambio climático en el futuro?

1.1.3. Sistematización del problema

¿Cuál es la situación actual de las áreas protegidas de Ecuador continental en relación a las invasiones biológicas?

¿Cómo influirá el cambio climático en la distribución potencial de especies exóticas invasoras en la zona de Ecuador continental?

¿Habrá expansión y contracción de las distribuciones potenciales de las EEI en las áreas protegidas ante el cambio climático?

1.1.4. Hipótesis

Las especies exóticas invasoras expanden su distribución hacia las áreas protegidas de Ecuador continental en escenarios pesimistas de cambio climático.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el riesgo de invasiones biológicas en las áreas protegidas de Ecuador continental ante escenarios de cambio climático.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Describir la situación actual de invasiones biológicas en las áreas protegidas de Ecuador continental por categorías de manejo.
- ✓ Modelar la distribución potencial de especies exóticas invasoras de Ecuador continental en el presente y en escenarios de cambio climático.
- ✓ Identificar las contracciones y expansiones de las distribuciones potenciales de las especies en las áreas protegidas ante el cambio climático.

1.3. Justificación

La importancia de las EEI como causa de disminución y extinción de especies endémicas en áreas protegidas ha sido analizada a nivel mundial. Actualmente se considera que las invasiones biológicas por EEI es la principal causa de pérdida de biodiversidad en el mundo, por detrás de la destrucción de hábitats y la fragmentación del paisaje (12). A esto se le suma la intensidad del cambio climático que ha ido en aumento en los últimos años, lo que contribuye al proceso antes mencionado.

Por otro lado, la escasa información sobre los efectos que tienen las EEI sobre los ecosistemas en la zona de Ecuador continental agrava este proceso, puesto que la mayoría de estudios se centran en las Islas Galápagos. Es por ello, que la importancia del presente proyecto de investigación radica en generar datos actuales que permitan establecer estrategias para la conservación de ecosistemas y especies que se vean amenazadas por la distribución de las EEI.

Además, la presente investigación contribuye con uno de los objetivos establecidos en la Agenda Nacional de Investigación sobre la Biodiversidad, que menciona la importancia de estudiar el impacto de las especies exóticas en la salud de los ecosistemas y biodiversidad nativa a una escala local, nacional y regional. Este objetivo hace referencia a la identificación de las principales especies invasivas que afectan a la biodiversidad nativa, la salud humana y las actividades productivas. Además, va direccionado a la modelación de hábitat de especies invasoras con la finalidad de identificar potenciales zonas de invasión y colonización (13).

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Cambio climático

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables (14).

Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el término como tal denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos (14).

2.1.1.1. Factores responsables del cambio climático

Hay tres factores fundamentales que generan los problemas que ahora vemos sobre el cambio climático; el primero de ellos es el crecimiento poblacional de nuestra especie, que ha mantenido una tasa exponencial hasta la actualidad; el segundo factor, tanto o más importante que el anterior es la demanda de energía y recursos que cada habitante del planeta presenta, y que a partir de mediados del siglo XX ha aumentado también en forma exponencial y seguirá haciéndolo en el futuro; el tercero de los factores es el tipo de tecnologías usadas para el desarrollo económico e industrial del mundo moderno, que en muchos casos ha tenido y continúa teniendo efectos negativos sobre el ambiente (15).

2.1.1.2. Consecuencias del cambio climático

Las consecuencias del cambio climático están obviamente en el clima, un sistema complejo de variables interrelacionadas que nunca habríamos debido alterar. Una de ellas será el incremento de temperatura antes comentado y que según los diferentes escenarios previstos puede oscilar entre 1,4°C y 5,8°C en los próximos cien años (16).

En ese contexto podemos dividir los impactos esperados del cambio climático en cuatro grandes grupos: geológicos, meteorológicos, biológicos y, como caso particular de estos últimos, humanos. Entre los primeros destaca el retroceso de los glaciares, en los que se ha producido

una reducción del 10% de nieve desde 1960, las consecuencias sobre el ser humano podrían ser importantes si consideramos que más del 60% de la población mundial vive en las costas, incluidas algunas de las ciudades más importantes en número de población. Finalmente, la humedad del suelo se reduciría en algunas zonas por evaporación, incrementando la aridez y propiciando fenómenos de desertización (16).

En cuanto a los impactos meteorológicos, destaca, en primer lugar, la mayor intensidad de esta clase de fenómenos, como vientos, precipitaciones o huracanes. La frecuencia en las precipitaciones torrenciales ha aumentado entre el 2 y el 4% a lo largo del siglo XX; en lo que se refiere a los impactos biológicos, dependerá del ritmo de adaptación de las especies, que verán sus condiciones alteradas. Cambiará también el comportamiento, como las migraciones o la reproducción, y el riesgo será mayor para las consideradas como más vulnerables. El ser humano también padecerá todos estos cambios ambientales, que indirectamente afectarán a sus cultivos y ganados, así como a sus hábitats y ciudades. Como consecuencia, se generará una nueva clase de refugiados, los llamados ambientales, cuyo número se estima en 150 millones de personas para el año 2050 (16).

2.1.1.3. Efectos del cambio climático sobre la biodiversidad

El cambio climático tendería a aumentar la tasa de pérdida de recursos biológicos; y sus efectos serían particularmente severos en aquellos ecosistemas que ya se encuentran significativamente alterados por efecto de las actividades humanas. El cambio climático podría entonces inducir cambios en los ecosistemas y acelerar la pérdida de especies. Esto conduciría a una disminución de la oferta de los bienes y servicios que los ecosistemas proporcionan a la sociedad (17).

2.1.1.4. 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 (18):

- ✓ 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 (18).

2.1.2. Áreas protegidas

Las áreas protegidas son esenciales para la conservación de la biodiversidad. Son la piedra angular de prácticamente todas las estrategias nacionales e internacionales de conservación, están destinadas a mantener ecosistemas naturales operativos, actuar como refugios para las especies y mantener procesos ecológicos incapaces de sobrevivir en los entornos terrestres y marítimos con un mayor nivel de intervención. Las áreas protegidas actúan como indicadores que nos permiten entender las interacciones humanas con el mundo natural. Frecuentemente constituyen la última esperanza con la que contamos para impedir la extinción de muchas especies amenazadas o endémicas (19).

2.1.3. Invasiones biológicas

Las invasiones biológicas son consideradas como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad y del cambio ecológico global provocado por el ser humano. En particular, la introducción de mamíferos en sistemas insulares afecta las especies nativas, llevando a la extinción local o global de algunas de ellas (20).

2.1.3.1. Impactos ambientales de las invasiones biológicas

Las especies exóticas invasoras afectan la riqueza y abundancia de especies nativas y han descompuesto dominios biogeográficos, dificultan el funcionamiento de los ecosistemas y la

provisión de servicios ecosistémicos. Pueden aumentar el riesgo de extinción de especies nativas, afectar la composición genética de las poblaciones nativas, modificar la diversidad filogenética y funcional de las comunidades invadidas y las redes tróficas y alterar la productividad del ecosistema, el ciclo de nutrientes y contaminantes, la hidrología y los regímenes de perturbación. Los impactos de las especies exóticas varían mucho entre especies, regiones y ecosistemas y dependen de la abundancia de las especies exóticas y sus niveles tróficos en relación con los de las especies nativas afectadas (21).

2.1.3.2. Impactos en el bienestar y los medios de vida humanos

Los impactos de las invasiones en los servicios de los ecosistemas constituyen una gran amenaza para el bienestar humano, particularmente en los países en desarrollo donde las opciones para prevenir y manejar las especies invasoras son limitadas. Las especies exóticas invasoras pueden afectar los activos materiales e intangibles en la medida en que las personas deben abandonar la agricultura o la pesca y emigrar de sus áreas. La salud humana puede verse amenazada de diversas formas, incluida la propagación de infecciones y enfermedades por patógenos extraños (21).

2.1.3.3. Invasiones en áreas protegidas

Las áreas protegidas cubren aproximadamente el 13% del mundo terrestre y el agua dulce a menudo se incluye entre la cifra de las áreas terrestres, y el 7.7% del océano. Son un componente clave de la respuesta social a la degradación ambiental. Sin embargo, las áreas protegidas siguen siendo vulnerables a las invasiones: sufren impactos a nivel de especies y comunidades, a través de la alteración de hábitats, cambios de régimen y diversos efectos no deseados en la abundancia, diversidad y riqueza de especies nativas. Pocas áreas protegidas están completamente libres de plantas exóticas, y las plantas exóticas pueden invadir áreas naturales que no han experimentado perturbaciones antropogénicas (21).

2.1.3.4. Distribución espacial de las especies

La dispersión espacial permite identificar mecanismos y factores que promueven la coexistencia inter e intraespecífica y la diversidad vegetal de los ecosistemas. El análisis del patrón de distribución espacial es una acción importante para determinar las condiciones microambientales requeridas por cada uno de los taxa que conforman una comunidad y, así,

explicar la capacidad de establecimiento y renovación, la habilidad de desarrollo y crecimiento, la probabilidad de mortandad y competencia de las especies (22).

2.1.4. Especies exóticas

Las especies exóticas son definidas como especies, subespecies o taxones inferiores introducidos fuera de su área de distribución normal, en el pasado o en el presente; incluye partes, gametos, semillas, huevos o propágulos que pudieran sobrevivir y subsecuentemente reproducirse. Cabe destacar que algunas de estas especies pueden convertirse en invasoras siendo graves sus consecuencias; por esta razón son consideradas como la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel global después de la destrucción del hábitat, y la primera causa en islas (23).

2.1.4.1. Especies exóticas invasoras

Las especies exóticas (a diferencia de las nativas) son aquellas cuya presencia en una región es atribuible a acciones humanas, deliberadas o inadvertidas, que les permitieron superar las barreras biogeográficas. Otra definición, apoyada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Organización Mundial del Comercio, clasifica como “invasoras” solo aquellas especies exóticas que tienen un efecto nocivo en la economía, el medio ambiente o la salud (21).

2.1.4.2. Criterios para la identificación de EEI

La definición básica de la UICN de EEI: “Especie exótica invasora: especie exótica que se establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural; es un agente de cambio y amenaza la diversidad biológica nativa” da la clave para la identificación de las EEI: 1) “agente de cambio” y 2) “amenaza para la diversidad biológica nativa”. Sin embargo, y pese a la claridad de este enunciado, merece la pena profundizar en los protocolos que se han propuesto para la determinación del carácter invasor o no de una especie (24).

En primer lugar, se debe señalar que la definición de los efectos (“cambio” y “amenaza”) no siempre está clara para la mayoría de las especies. Algunas especies exóticas nunca han manifestado su invasividad, por diversas razones. Puede ocurrir que el hábitat en el que se han introducido no sea el óptimo, que no existan vectores para su dispersión, que los individuos introducidos no sean suficientes o bien que sus características individuales no sean las ideales.

Muchas especies exóticas nunca llegan a naturalizarse y sólo algunas llegan a considerarse invasoras. En promedio, el 10 % de las especies introducidas se adaptan lo suficiente para sobrevivir sin asistencia humana, por tanto, se naturalizan. De las especies naturalizadas, aproximadamente un 10 % se expanden de tal modo que comienzan a ejercer una presión sobre otras especies y se convierten en invasoras (24).

2.1.5. Nicho

Hutchinson (1957), concibe al nicho como una abstracción y se refiere al lugar en donde el organismo interacciona con distintos factores de su ambiente y se ve influido por éstos, y en donde él mismo es parte del nicho de otros organismos (25).

2.1.5.1. Nicho ecológico

De acuerdo a Hutchinson (1957), nicho ecológico es el hipervolumen (hiperespacio multidimensional) determinado por variables bióticas y físicas del ambiente, dentro del cual existen especies. La morfología y la biología de las diversas especies pueden ser consideradas como dimensiones del nicho. Si un hábitat no está ocupado en relación con los hospedadores, se dice que es un nicho vacante, es decir, los nichos ecológicos están disponibles para ser colonizados; es donde puede ocurrir la especiación (26).

2.1.5.2. Nicho fundamental

Es el espacio que está constituido por las variables biológicas y funcionales de una comunidad donde una especie puede vivir con éxito. Se puede considerar como un punto en el espacio multidimensional, es un nicho en ausencia de competidores (26).

2.1.5.3. Nicho realizado

Es el conjunto de condiciones ambientales (alimentación y espacio) dentro de las cuales un organismo existe en una comunidad. Algunas especies están sujetas a presiones de competencia por requerimientos, obligándoles a desplazarse del hipervolumen del nicho fundamental; el espacio que ocupan dichas especies, en el cual están bien adaptadas, se llama nicho realizado. Es el nicho con presencia de competidores (26).

2.1.6. Modelo de distribución potencial

En la investigación para la conservación biológica, la estimación de las áreas de distribución potencial y actual de las especies mediante el modelado del nicho ecológico se ha convertido en una actividad importante (27).

Dentro de una comunidad, cada especie tiene un lugar propio en el espacio y tiempo que puede representarse en un mapa. La distribución espacial de las especies no es aleatoria, sino que obedece al intervalo o capacidad de tolerancia que cada especie tiene a factores ambientales como altitud, posición topográfica, temperatura, humedad y precipitación que Chapman (1976) definió como amplitud ecológica. En el caso específico de las plantas, su distribución se asocia principalmente a los factores climáticos y edáficos (27).

2.1.7. Modelado de nicho ecológico

El modelado de nicho ecológico (MNE) es probablemente el método más adecuado que actualmente existe para estimar la distribución geográfica real y potencial de las especies. Este enfoque se utiliza cada vez más en la toma de decisiones en materia de conservación, restauración y contaminación ambiental. A pesar de la probada eficacia de este método para la delimitación de las distribuciones geográficas de las especies terrestres, su aplicabilidad en el ámbito acuático ha sido poco explorada. Esto es particularmente cierto para los ecosistemas de agua dulce, donde la escala geográfica es grande, y la información de los datos ambientales, para la mayor parte del mundo no es de calidad; esta información es necesaria para la generación de los modelos de nicho (28).

2.1.7.1. Diagrama BAM

Entre los factores que determinan causalmente el área de distribución de una especie, se encuentran sus tolerancias ambientales (su nicho fundamental), la presencia o ausencia de otras especies (polinizadoras, dispersoras, competidoras, depredadoras, etc.) y las posibilidades de dispersión en períodos de tiempo y desde áreas originales relevantes. Dicho en otras palabras, un área de distribución, en general, depende de muchos factores, más que el simple nicho fundamental de la especie. Una manera muy simplificada de expresar lo anterior es el llamado “diagrama BAM” (Figura 1) (29).

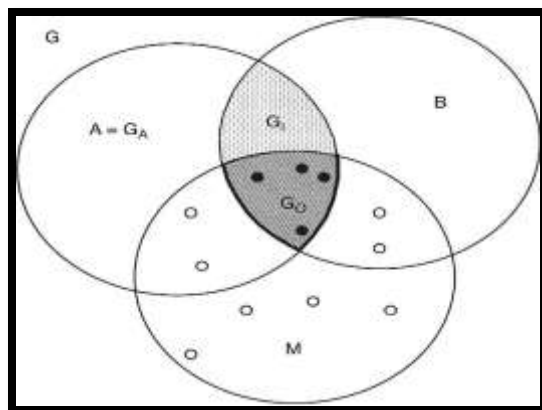


Figura 1. Diagrama BAM.

Fuente: Soberón, 2017.

El diagrama BAM muestra que una especie tiene altas probabilidades de ser observada en aquellas regiones del planeta donde: i) existan las condiciones abióticas necesarias, simbolizadas por “A”; ii) existan las condiciones bióticas favorables “B”), en otras palabras, el medio biótico de la especie y iii) hayan estado accesibles a la dispersión de la especie desde la región de su origen histórico, o bien desde alguna región definida en un momento temporal relevante (“M”), esto es, la región del planeta accesible a la dispersión, lo cual es un asunto esencialmente histórico. La zona denotada por G_0 , o área ocupada es la intersección de favorabilidad biótica y abiótica, y de accesibilidad histórica. La especie puede ser observada/recolectada en esa región (29).

Por definición, las variables ambientales en G_0 constituyen el nicho realizado (NR). La zona G_I es una región con condiciones favorables pero que se ha mantenido fuera de las capacidades de dispersión de la especie. La región A es favorable a la especie si se hace abstracción de las interacciones y por lo tanto su medio ambiente corresponde a la idea de “nicho fundamental” (29).

2.1.7.2. Dualidad de Hutchinson

Una forma clara y gráfica de discutir la diferencia entre modelación de nicho ecológico y modelación de áreas de distribución es utilizar la llamada “dualidad de Hutchinson” (Figura 2), que es una hipótesis propuesta por Hutchinson (1957) sobre la correspondencia entre el espacio geográfico y el espacio de nicho, abstracto y multidimensional. Esta correspondencia se hace

evidente y se puede operacionalizar cuando se impone una retícula de resolución dada, con una proyección específica, sobre la región de interés y se procede a obtener los valores de las variables usadas para el espacio de nicho mediante coberturas ambientales en formato raster (29).

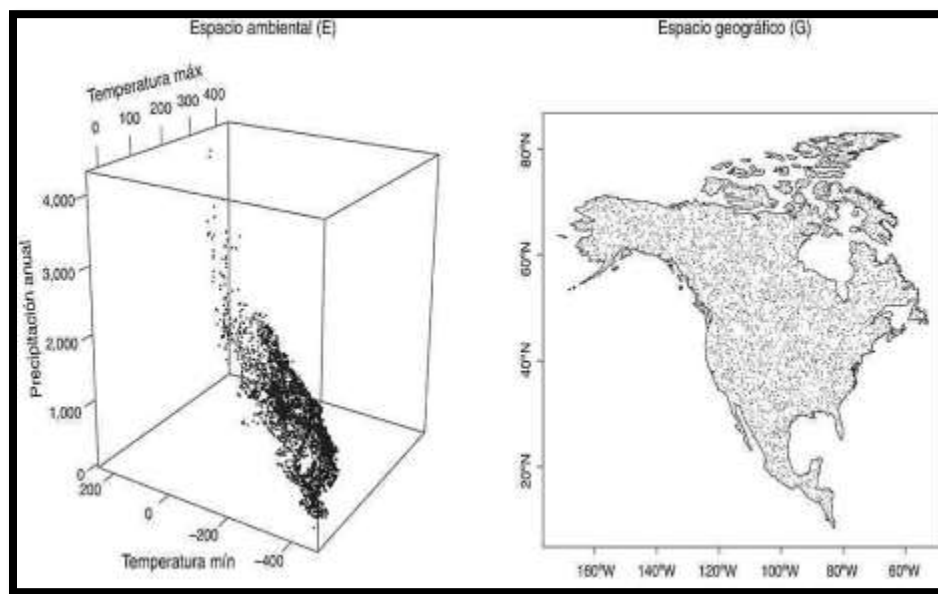


Figura 2. Dualidad de Hutchinson.

Fuente: Soberón, 2017.

Si bien a cada punto de la retícula geográfica (que llamaremos G) corresponde un único punto del espacio ambiental (que llamaremos E), lo contrario no es verdad necesariamente porque puede haber 2 regiones del planeta con valores de las variables ambientales iguales o similares. Esta posibilidad en la práctica desaparece cuando se usan suficientes variables, con la precisión adecuada. En este caso se establece una relación 1:1 entre los puntos del espacio G y los del espacio E. La modelación correlativa de nichos permite entonces crear un objeto en E que es posteriormente “proyectado” a G. Es importante reconocer, no obstante, que estos espacios tienen topologías muy diferentes, que puntos muy lejanos en el espacio geográfico pueden ser muy similares en el espacio ambiental y que puntos muy cercanos en el espacio geográfico pueden ser muy diferentes en el ambiental (29).

2.1.8. Herramientas para el modelado de nicho ecológico

Existe una amplia gama de herramientas para la modelación de nicho ecológico, entre las más utilizadas se destacan las siguientes:

2.1.8.1. MaxEnt

Actualmente se pueden encontrar varios programas para el modelado de especies por distintos métodos y datos para desarrollar las predicciones. Dentro de estos programas se encuentra MaxEnt, el cual permite proyectar las variaciones en la distribución de una especie o un grupo de especies frente a cambios ambientales de temperatura, humedad y precipitación. MaxEnt ofrece ventajas en comparación con otros programas, ya que solo necesita datos de reportes georreferenciados, puede utilizar datos continuos o categorizados y sus algoritmos son eficientes, garantizando la óptima distribución de la probabilidad de máxima entropía (2).

2.1.8.2. SIG

Los Sistemas de Información geográfica datan de hace unos 25 años, concretamente del año 1962, fecha en la que fue diseñado en Canadá el primer sistema de estas características con objeto de inventariar los recursos naturales existentes a escala nacional. Sin embargo, ha sido en los diez últimos años y tras la caída en desuso de términos o conceptos tales como base de datos georreferenciados o base de datos espaciales, cuando se generalizó de forma definitiva la utilización del término Sistema de Información Geográfica (Geographic Information Systems, más comúnmente GIS) como base de datos computarizada que contiene información espacial (30).

La realización de un estudio medioambiental implica el desarrollo de una serie de etapas que de forma progresiva permiten la caracterización de un territorio en base a los objetivos de partida. Es precisamente en la etapa de almacenamiento de la información donde radica la importancia y utilidad de los Sistemas de Información Geográfica en los Estudios Medioambientales. Así, los datos “geográfico-espaciales” obtenidos de la fase de inventario son clasificados, codificados y, posteriormente, introducidos almacenados de forma adecuada en dichos sistemas, constituyéndose una base de datos que permite el posterior tratamiento y procesamiento de los mismos (30).

2.2. Marco referencial

2.2.1. Análisis áreas protegidas

De acuerdo a la literatura revisada las áreas protegidas están destinadas a proporcionar a la biodiversidad y los hábitats nativos un refugio contra los impactos del cambio climático, actuando como filtros naturales contra las invasiones biológicas. Sin embargo, se desconoce cuán efectivas serán las áreas protegidas para preservar a las especies nativas de las invasiones biológicas ante escenarios de cambio climático (31). En algunos casos, las especies nativas o amenazadas están saliendo de las áreas protegidas mientras que las especies invasoras están ocupando gran parte de este territorio (32). Por otro lado, estudios realizados en América Latina y el Caribe sobre la invasión por especies exóticas en áreas protegidas se ha evidenciado una gran amenaza biológica por *Neovison vison* (33) y *Rhus succedanea* (34). Estos estudios fueron realizados por medio de la modelación de nicho ecológico con la finalidad de conocer la distribución geográfica potencial de las especies, siendo Chile y Cuba los países más propensos a las invasiones biológicas puesto que estas áreas protegidas presentan condiciones apropiadas para la invasión por parte de dichas especies. Sin embargo, hasta el momento no se han realizado estudios que demuestren el riesgo que presentan las áreas protegidas ante la invasión por EEI en escenarios de cambio climático en el futuro.

2.2.2. Análisis especies exóticas invasoras

En cuanto a especies exóticas invasoras, éstas son consideradas a nivel mundial como la segunda causa responsable de la pérdida de biodiversidad dado que afectan a las especies autóctonas y a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. En este contexto, estudios realizados a nivel mundial se han orientado en determinar cuáles son los grupos de especies exóticas invasoras más problemáticas o los que causan perjuicios ambientales y pérdidas económicas de consideración (35). En dichos estudios se ha logrado determinar al grupo de los vertebrados como las especies exóticas invasoras con impactos negativos más altos para la conservación de la biodiversidad (36). Además, diversos autores han demostrado que la mayor parte de la introducción de especies exóticas invasoras es intencional (37).

2.2.3. Cambio climático y distribución de las especies

Varios autores afirman que el cambio climático puede alterar la estructura y composición de las comunidades nativas y como consecuencia, el funcionamiento de los ecosistemas, actuando como un régimen de perturbación que acrecentará el riesgo de invasiones biológicas. Si por un lado algunas especies exóticas e invasoras podrán sucumbir bajo los efectos del cambio climático, otras podrán volverse capaces de sobrevivir y colonizar zonas donde actualmente no pueden sobrevivir debido a las limitaciones impuestas por el clima. Así mismo, especies exóticas establecidas podrán volverse invasoras si el cambio climático incrementa su capacidad competitiva o su tasa de propagación mientras que otras ya invasoras podrán expandir su área de distribución (38). Estudios realizados sobre la distribución de diferentes especies bajo escenarios de cambio climático han manifestado la importancia de la dispersión, puesto que si las especies no pueden dispersarse se prevé que la mayoría de las especies perderán su distribución o en el peor de los casos se convertirán en especies en peligro de extinción (39). Por otra parte, se han desarrollado estudios para conocer los cambios en la distribución de especies frente a escenarios de cambio climático (40). Así mismo, mediante estudios se confirma que si el cambio climático sigue en aumento en los próximos años, se prevé que exista una disminución de zonas aptas para el crecimiento de ciertas especies de plantas (41).

2.2.4. Consecuencias ecológicas provocadas por invasiones biológicas

En los últimos años se ha reconocido a las especies exóticas invasoras como la segunda causa de pérdida de biodiversidad después de la degradación del hábitat. Por ejemplo, el pez león (*Pterois volitans*) se ha convertido en una seria amenaza para los deteriorados arrecifes colombianos y es considerado altamente perjudicial (42). En el caso de *Xylella fastidiosa*, ésta es altamente dañina para un gran número de cultivos leñosos y especies arbóreas, y está considerada como una de las bacterias fitopatógenas más peligrosas del mundo (43). Para *Acacia dealbata* se han encontrado resultados en los que se demuestra que esta especie es la causante de la pérdida de la biodiversidad vegetal y la alteración de las comunidades de microorganismos en algunos ecosistemas (44).

2.2.5. Consecuencias económicas provocadas por invasiones biológicas

Mediante estudios realizados a nivel mundial se ha demostrado que las especies exóticas invasoras también pueden causar importantes pérdidas económicas relacionadas principalmente a los costes de gestión y a los sistemas de producción. Así lo confirman estudios realizados en Estados Unidos en los que se estiman en \$ 120 mil millones los costos anuales devengados por las especies exóticas invasoras (36), mientras que en España los costos de gestión por especies invasoras son de 50.5 millones de euros durante los últimos años (45). Por otra parte, entre las consecuencias económicas relacionadas a los sistemas de producción se encuentra el caso de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) el cual constituye un cultivo de mayor importancia socio-económica para los agricultores de Perú. Sin embargo, este cultivo se encuentra afectado por insectos-plaga, principalmente polillas del género *Eurysacca* que afectan fuertemente sus rendimientos provocando severas pérdidas económicas (46). Por el contrario, otros autores mencionan que en México no se han realizado estudios sobre las pérdidas económicas que ocasionan las especies exóticas invasoras, causando un desconocimiento pleno sobre los daños y pérdidas económicas producidos por estos factores bióticos (47).

2.2.6. Herramientas para la modelación de nicho ecológico

Los modelos de nicho ecológico han sido utilizados para entender de qué manera las especies pueden cambiar o persistir en un espacio ambiental y geográfico a lo largo del tiempo (48). Además, estos modelos constituyen una herramienta esencial para estimar la distribución de especies permitiendo identificar las áreas prioritarias para la conservación, principalmente de aquellos ambientes amenazados por la distribución de dichas especies (49). Estos modelos se realizan empleando datos de presencia de las especies a modelar y una serie de variables bioclimáticas que al ser proyectadas a un espacio geográfico aportan información sobre la distribución geográfica de las especies (41). Aunque en la actualidad existen un sinnúmero de programas para generar modelos de nicho ecológico, mediante estudios se ha confirmado que el más utilizado por varios autores es el algoritmo de Máxima Entropía (MAXENT), puesto que ofrece ventajas en comparación a otros programas ya que solo necesita datos de reportes georreferenciados, puede utilizar datos continuos o categorizados y sus algoritmos son eficientes. Además, permite proyectar las variaciones en la distribución de las especies frente a cambios ambientales de temperatura, humedad y precipitación (2).

2.2.7. Antecedentes sobre estudios de áreas protegidas y especies exóticas invasoras en Ecuador

Las áreas protegidas constituyen uno de los pilares fundamentales para la conservación de la biodiversidad, puesto que ofrecen un refugio excepcional para la conservación de especies y hábitats más vulnerables. Sin embargo, las áreas protegidas están siendo afectadas por la presencia de especies exóticas invasoras que junto con el cambio climático que ha venido en aumento durante los últimos años constituyen un peligro para la conservación de especies endémicas, ya que las especies exóticas invasoras expanden su distribución hacia lugares con condiciones óptimas para su supervivencia. En este contexto, estudios realizados a nivel mundial se han enfocado en analizar cómo podría afectar el cambio climático en la distribución de las especies (50). En Ecuador la situación es diferente, pues aun siendo un país megadiverso existe un déficit de información relacionada al estudio de la ecología y distribución de las especies. La mayoría de los trabajos se centran en la conservación de nicho ecológico (51) y estudios realizados con la finalidad de generar inventarios sobre las especies exóticas invasoras dentro de las áreas protegidas (52). Sin embargo, estudios en los que se analicen cual podría ser el papel de las áreas protegidas en el futuro ante escenarios de cambio climático para analizar el comportamiento o la distribución de las especies exóticas invasoras no se han realizado hasta el momento, pues la mayor parte de esta información para Ecuador se encuentra en informes de proyectos y boletines (53) pero en estudios científicos existen pocos trabajos que aborden estas temáticas (54).

Por ello la importancia de realizar el presente trabajo de investigación en el cual se pretende determinar el riesgo que presentan las áreas protegidas de Ecuador continental ante la presencia de invasiones biológicas producidas por el cambio climático, a través de la modelación de la distribución potencial de especies exóticas. Los resultados obtenidos constituyen información actualizada que servirá de base para futuras investigaciones más rigurosas referente a esta problemática. Además, estos resultados ayudarán para establecer estrategias de protección y conservación de la biodiversidad ya que se han identificado las regiones donde podrían ocurrir contracciones y expansiones de las distribuciones potenciales de las especies en las áreas protegidas ante el cambio climático.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

Ecuador se encuentra ubicado en América del Sur, limita al norte con Colombia, al sur y este con Perú y al Oeste con el Océano Pacífico. La parte continental está ubicada entre los paralelos 01°30' N y 03°23.5' S y los meridianos 75°12' W y 81°00' W. El Ecuador cuenta con las siguientes extensiones: Continental 262.826 km² y región Insular 7.844 km², totalizando una extensión territorial de 270.670 km². Por el paso de la Cordillera de los Andes que atraviesa el territorio continental de norte a sur y la presencia de las Islas Galápagos, el Ecuador tiene cuatro regiones que son: región Litoral o Costa, Región Interandina o Sierra, Región Oriental o Amazonía y la Región Insular o islas Galápagos (55).

El presente trabajo de investigación se realizó en la parte continental de Ecuador, que comprende las regiones naturales de la Costa, Sierra y Amazonía. De la misma manera, Ecuador continental cuenta con una variedad de áreas protegidas tal como se muestra en la siguiente figura (Figura 3).

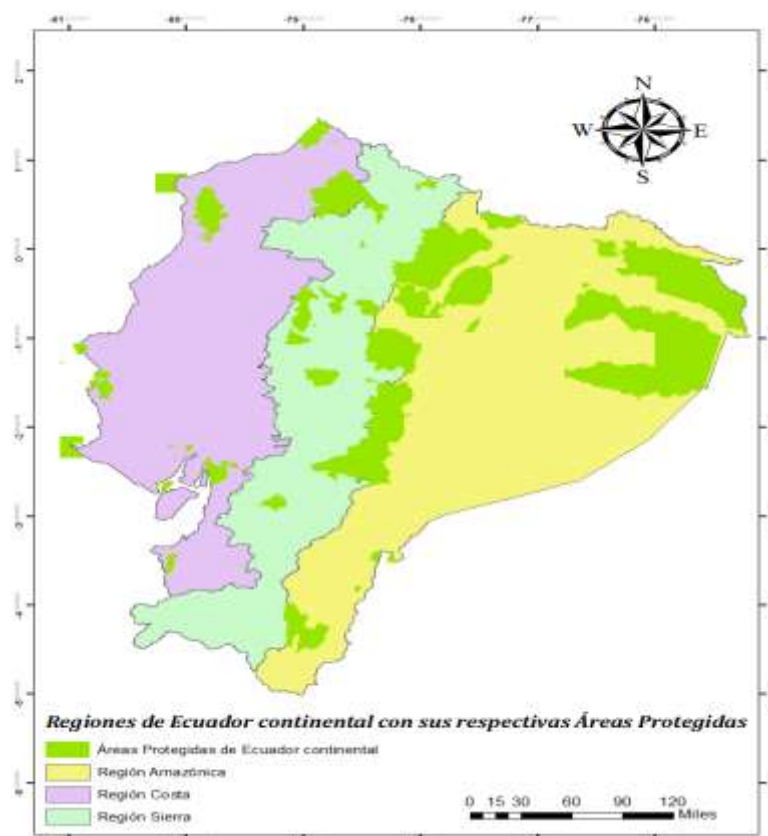


Figura 3. Mapa base de Ecuador continental con sus respectivas regiones y áreas protegidas.

Elaborado: Autora

3.1.1. Condiciones climáticas

El clima varía mucho en las diferentes regiones del país: en la Costa Norte la precipitación promedio puede superar los 6.000 mm por año, debido a la influencia de la corriente cálida de Panamá, mientras que en la Costa Centro y Sur la precipitación anual alcanza unos 355 mm, debido a la influencia de la corriente fría de Humboldt. En la Región Andina el clima es muy variable, con lluvias promedio de 1.500 mm por año, en esta región la fluctuación diaria de temperatura puede superar los 20°C, especialmente en los páramos. Por otro lado, en la Amazonía la precipitación fluctúa entre 2.000 y 5.000 mm por año, la temperatura es uniforme, de 24°C a lo largo del año. En la Región Insular o Galápagos hay dos estaciones, una caliente y lluviosa que se prolonga de enero a mayo y una estación más fría con una leve precipitación el resto del año (56).

3.1.2. Reservas Naturales

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) abarca cuatro regiones del país y alberga 51 reservas naturales que se extienden en aproximadamente el 20% de la superficie del Ecuador. El SNAP está distribuido en las siguientes categorías de manejo: 11 parques nacionales, 10 reservas ecológicas, una reserva geobotánica, 4 reservas biológicas, 6 reservas marinas, 3 reservas de producción de fauna, 9 refugios de vida silvestre, 6 áreas nacionales de recreación y un área ecológica de conservación municipal (57).

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Investigación exploratoria

La presente investigación es de tipo exploratoria, puesto que la información existente acerca del riesgo de invasiones biológicas en las áreas protegidas en la zona continental de Ecuador es relativamente escasa. Es exploratoria porque además nos permitió conocer la realidad que enfrenta el Ecuador ante invasiones biológicas en el contexto de escenarios de cambio climático, temas que en la actualidad no han sido analizados a profundidad. Con el desarrollo de este estudio también nos permitió generar información actualizada, que servirá de base para poder continuar con un tipo de investigación más rigurosa e implementar medidas de mitigación en un futuro.

3.3. Métodos de investigación

Los métodos utilizados para el desarrollo del presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

3.3.1. Método deductivo

En el presente estudio se empleó el método deductivo puesto que se encuentra basado en otras instigaciones realizadas a nivel internacional, mismas que contribuyeron con la búsqueda de registros existentes de presencia de especies exóticas invasoras a nivel mundial que, en correlación con las variables bioclimáticas permitieron determinar la distribución geográfica potencial de las especies en la zona de Ecuador continental. De esta manera se determinó las posibles causas que traerán consigo las invasiones biológicas en el área de estudio.

3.3.2. Método analítico

Este método se utilizó para el análisis de la distribución potencial de especies exóticas invasoras y determinar las variables bioclimáticas que más influyen en su distribución dentro de la zona de Ecuador continental para de esta manera determinar el riesgo de invasiones biológicas en las áreas protegidas.

3.4. Fuentes de recopilación de información

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizaron fuentes de información secundaria, tales como: artículos científicos, revistas científicas, libros, informes, documentos de sitios web e informes relacionados al tema de estudio. Para la obtención de registros de presencia de las especies en estudio se realizó la búsqueda en las bases de datos internacionales como Global Biodiversity Information Facility (GBIF), TROPICOS (trópicos.org) y Niche ToolBox.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. Selección de especies exóticas invasoras

Para realizar la selección de las 5 EEI a modelar se tomaron en cuenta los siguientes criterios: (1) que fuesen terrestres, puesto que facilita el uso de variables bioclimáticas, además de que no

existen escenarios climáticos a futuro en las zonas marinas; (2) que el riesgo que representan al ser especies invasoras sea extendido a una porción importante de Ecuador, y no solo en determinadas regiones; y (3) que existan por lo menos 100 registros únicos de la presencia de la especie en su área de distribución nativa y en lugares donde ya se ha demostrado que es una especie invasora. Las especies seleccionadas fueron: *Amaranthus hybridus* L., *Aphis fabae* Scopoli, *Conium maculatum* L., *Wasmannia rochai* Forel y *Asclepias curassavica* L.

3.5.2. Datos de presencia de especies

Se buscó cada especie en las bases Global Biodiversity Information Facility (data.gbif.org) y TROPICOS (tropicos.org) para obtener registros (coordenadas geográficas) de presencia en su rango nativo, en el área invadida a nivel mundial y en Ecuador. Para esto se utilizó la librería Spocc (58) del programa R Core Team (2015), la cual permite acceder a diferentes repositorios en línea. Los datos duplicados dentro de un tamaño de pixel de 1 km² fueron removidos de la base de datos a través de la librería NicheToolBox (59), para minimizar la autocorrelación espacial. En esta fase se obtuvo la base de registros históricos y actualizados de EEI en Ecuador continental.

3.5.3. Variables climáticas

Para la modelación del nicho climático de las EEI se usaron los registros de presencia de las especies y las 19 variables bioclimáticas disponibles en el WorldClim 1.4 (Tabla 1), con una resolución de 30 arc-segundos (~1 km²) (60). Se excluyeron cuatro de estas variables (cuatrimestre más lluvioso, temperatura media del cuatrimestre más seco, precipitación del cuatrimestre más seco, precipitación del cuatrimestre más cálido), puesto que estas variables se consideran artificios matemáticos que no tienen relación con las especies. WorldClim tiene una cobertura temporal de 1961-1990 para el presente. La información climática se extrajo de cada punto de presencia de las especies con el uso del sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS v10.5 (61).

La selección de variables se realizó mediante el análisis de correlación de Spearman, análisis de componentes principales (PCA) en el cual se identificaron valores (> 0,7) y se eligió las variables con mayor significado ecológico para cada una de las especies. Con la integración de estos métodos y el análisis específico de cada especie en conjunto con los aspectos ecológicos,

se seleccionaron las variables finales que se incluyeron en el modelo final para obtener la predicción del nicho climático de cada una de las EEI.

Tabla 1. Variables bioclimáticas utilizadas en la modelación de nicho climático de 5 especies exóticas invasoras en Ecuador continental.

Siglas	Variables	Descripción
BIO1	Temperatura media anual (°C)	Temperatura promedio de cada mes, son las entradas totales de energía de un ecosistema.
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)	Diferencia entre la temperatura máxima y mínima de un mes, fluctuación de la temperatura para cada especie.
BIO3	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)	Cuantifica temperaturas de día y noche en relación con las oscilaciones de verano-invierno, es la división de BIO2 y BIO7.
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)	Cantidad de variación de la temperatura durante un determinado año (o años promedio) basado en la desviación estándar (variación) de los promedios mensuales de temperatura.
BIO5	Temperatura máxima media del periodo más cálido (°C)	Temperatura máxima mensual durante un tiempo, año o periodo promedio de años.
BIO6	Temperatura mínima media del periodo más frío (°C)	Temperatura mínima mensual durante un tiempo, año o periodo promedio de años.
BIO7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)	Variación de temperatura durante un periodo determinado. Es la resta de BIO5 y BIO6.
BIO10	Temperatura media del cuatrimestre más cálido (°C)	Índice trimestral de aproximación a temperaturas medias que prevalecen durante el trimestre más cálido.
BIO11	Temperatura media del cuatrimestre más frío (°C)	Índice trimestral de aproximación a temperaturas medias que prevalecen durante el trimestre más frío.
BIO12	Precipitación anual (mm)	Suma de todos los valores totales mensuales de precipitación.
BIO13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	Precipitación total que prevalece durante el mes más lluvioso.
BIO14	Precipitación del periodo más seco (mm)	Precipitación total que prevalece durante el mes más seco.

BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	Variaciones totales mensuales de precipitación a lo largo del año.
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)	Precipitación total que prevalece en el trimestre más húmedo.
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	Precipitación total que prevalece en el trimestre más frío.

Elaborado: Autora

3.5.4. Modelación del nicho ecológico

Para realizar el modelo de nicho ecológico se utilizó los datos de 15 variables bioclimáticas tanto para el presente, como para escenarios climáticos futuros, uno cercano con su centro en el año 2050 y otro lejano con su centro en el año 2070, 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 ArcGIS, se subieron los registros de presencia de las especies y el mapa mundial, en el cual se seleccionaron 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.

Para modelar los nichos ecológicos (climáticos) de las especies se utilizó el algoritmo de máxima entropía Maxent 3.4.1 (62). Este es un método correlativo que sólo requiere de información sobre la presencia de las especies y una serie de parámetros climáticos actuales para generar un modelo de las condiciones que favorecen la presencia de una especie (i.e., un modelo de su nicho ecológico). Los modelos fueron calibrados con los datos de presencia en la región nativa y fueron proyectados (en el espacio geográfico) hacia la región de invasión. Se usó el *bootstrap* como método de remuestreo. El 80% de los datos de presencia por especie fueron utilizados para calibrar el modelo de la especie y el otro 20% para validarlo. Los modelos fueron evaluados y validados internamente a través del AUC (*Área Bajo la Curva*) y de forma externa con la prueba *Receiver Operating Characteristic* (ROC) parcial (59). El análisis del ROC parcial se realizó considerando como parámetros una tasa de omisión de (0.05) y un

porcentaje de puntos aleatorios del 50%. Además, se realizaron 500 iteraciones de *bootstrap* para confirmar la validación del modelo.

Para conocer el potencial invasivo actual y futuro de estas especies en Ecuador, cada modelo fue proyectado a un escenario climático actual para el país (1961-1990; a una resolución de 1 km²) y a escenarios climáticos futuros, uno cercano con su centro en 2050 (2041-2060) y otro lejano centrado en 2070 (2061-2080), bajo dos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno cauteloso (RCP 4.5) y otro extremo (RCP 8.5).

Se transformaron los mapas continuos de adecuación a mapas binarios de presencia-ausencia, utilizando como umbral de corte el *10mo percentil* de los datos de calibración. Los mapas binarios permiten la identificación de amplias regiones geográficas con condiciones climáticas adecuadas que pueden facilitar el establecimiento de una especie.

Se realizaron comparaciones de los mapas binarios de las especies para identificar los cambios potenciales (expansión, contracción del rango, no cambio y ausencia) en las condiciones favorables que podría generar el cambio climático a futuro. Para esto se empleó el complemento *Distribution Changes Between Binary SDM* en *Maxent Tools* de la herramienta SDMTToolBox v2.4 de ArcGIS 10.5. A partir de este análisis se obtuvo la extensión del área en km² por cada especie para visualizar el rango de expansión/contracción o si la especie no presenta cambios.

Para conocer la expansión y contracción dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental, se realizó la superposición de capas de las áreas protegidas en los mapas de comparación de cada una de las EEI, para posteriormente realizar el recorte de las zonas donde se evidenció la presencia de las especies y de esta manera obtener la extensión del área en km² por cada especie para visualizar el rango de expansión contracción o si la especie no presenta cambios. Para esto se empleó la herramienta *extract by mask* de ArcGIS.

3.6. Instrumentos de investigación

Como instrumento de investigación se utilizó diferentes páginas para la búsqueda de información necesaria para cada una de las EEI. A continuación, se presentan las páginas utilizadas para la obtención de registros de presencia de especies (coordenadas geográficas):

- ✓ Global Biodiversity Information Facility (data.gbif.org)

- ✓ TROPICOS (trópicos.org)
- ✓ Librería Spocc (Repositorios en Línea)
- ✓ NicheToolBox (Biblioteca de información)

3.7. Tratamiento de los datos

Una vez obtenida la información a procesar se la analizó e interpretó en los siguientes programas:

- ✓ **ArcGis:** Visualización de mapas y ubicación de los registros de presencia de las especies para identificar zonas o áreas de afectación.
- ✓ **Maxent:** Modelación de nichos ecológicos.
- ✓ **XLSTAT:** Análisis estadístico de los datos.

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. Materiales

Para el desarrollo del presente estudio se usaron: lista de especies exóticas invasoras, artículos científicos, mapas de áreas protegidas del Ecuador, laptop.

3.8.2. Software

- ✓ MaxEnt 3.4.1
- ✓ ArcGis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de acuerdo a cada objetivo planteado para el desarrollo de la presente investigación:

4.1.1. Describir la situación actual de invasiones biológicas en las áreas protegidas de Ecuador continental por categorías de manejo.

Las áreas protegidas están destinadas a la conservación y protección de la biodiversidad. En Ecuador el Sistema Nacional de Áreas Protegidas se encuentra distribuido por categorías de manejo (Tabla 2).

Tabla 2. Distribución de las áreas protegidas de Ecuador por categorías de manejo.

ÁREAS PROTEGIDAS POR CATEGORÍAS DE MANEJO	
<i>Parques Nacionales</i>	
✓ Parque Nacional Cajas	✓ Parque Nacional Podocarpus
✓ Parque Nacional Cotopaxi	✓ Parque Nacional Sangay
✓ Parque Nacional Galápagos	✓ Parque Nacional Sumaco Napo
✓ Parque Nacional Llanganates	Galeras
✓ Parque Nacional Machalilla	✓ Parque Nacional Yasuní
✓ Parque Nacional Río Negro – Sopladora	✓ Parque Nacional Yacuri
	✓ Parque Nacional Cayambe Coca
<i>Reservas Marinas</i>	
✓ Reserva Marina de Galápagos	✓ Reserva Marina El Pelado
✓ Reserva Marina Galera San Francisco	✓ Reserva Marina Cantagallo Machalilla
	✓ Reserva Marina Bajo Cope
<i>Reservas Ecológicas</i>	
✓ Reserva Ecológica Antisana	✓ Reserva Ecológica Cotacachi
✓ Reserva Ecológica Arenillas	Cayapas
✓ Reserva Ecológica El Ángel	✓ Reserva Ecológica los Illinizas
✓ Reserva Ecológica Cayapas Mataje	✓ Reserva Ecológica Mache Chindul
✓ Reserva Ecológica Cofán Bermejo	✓ Reserva Ecológica Manglares Churute
<i>Reservas Biológicas</i>	

✓ Reserva Biológica Limoncocha	✓ Reserva Biológica El Quimi
✓ Reserva Biológica Cerro Plateado	✓ Reserva Biológica Colonso
✓ Reserva Biológica El Cóndor	Chalupas
Reservas de Producción Fauna	
✓ Reserva de Producción de Fauna Puntilla Santa Elena	✓ Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno
✓ Reserva de Producción de Fauna Chimborazo	✓ Reserva de Producción de Fauna Manglares El Salado
Refugios de vida silvestre	
✓ Refugio de Vida Silvestre Samama Mumbes	✓ Refugio de Vida Silvestre La Chiquita
✓ Refugio de vida silvestre El pambilar	✓ Refugio de Vida Silvestre Isla Santa Clara
✓ Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Rio Esmeraldas	✓ Refugio de Vida Silvestre Isla Corazón e Islas Fragatas
✓ Refugio de Vida Silvestre Pacoche	✓ Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Rio Muisne
✓ Refugio de Vida Silvestre Manglares El Morro	✓ Refugio de Vida Silvestre Pasochoa
✓ Refugio de Vida Silvestre El Zarza	
Área Nacional de Recreación	
✓ Área Nacional de Recreación El Boliche	✓ Área Nacional de Recreación Playas de Villamil
✓ Área Nacional de Recreación Parque-Lago	✓ Área Nacional de Recreación Quimsacocha
✓ Área Nacional de Recreación Isla Santay	✓ Área Nacional de Recreación Los Samanes
Reserva Geobotánica	
✓ Reserva Geobotánica Pululahua	
Áreas ecológicas de conservación	
✓ Área ecológica de conservación Municipal Siete Iglesias	✓ Área ecológica de conservación La Bonita – Cofanes – Chingual
Área protegida comunitaria	
✓ Área protegida comunitaria Tambillo	

Elaborado: Autora

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador está compuesto por 56 áreas protegidas distribuidas en las siguientes categorías de manejo: parque nacional (12), reserva ecológica (9), reserva marina (6), reserva biológica (5), reserva de producción de fauna (4), reserva geobotánica (1), área nacional de recreación (6), refugio de vida silvestre (10), área ecológica de conservación (2) y área protegida comunitaria (1) (Figura 4).

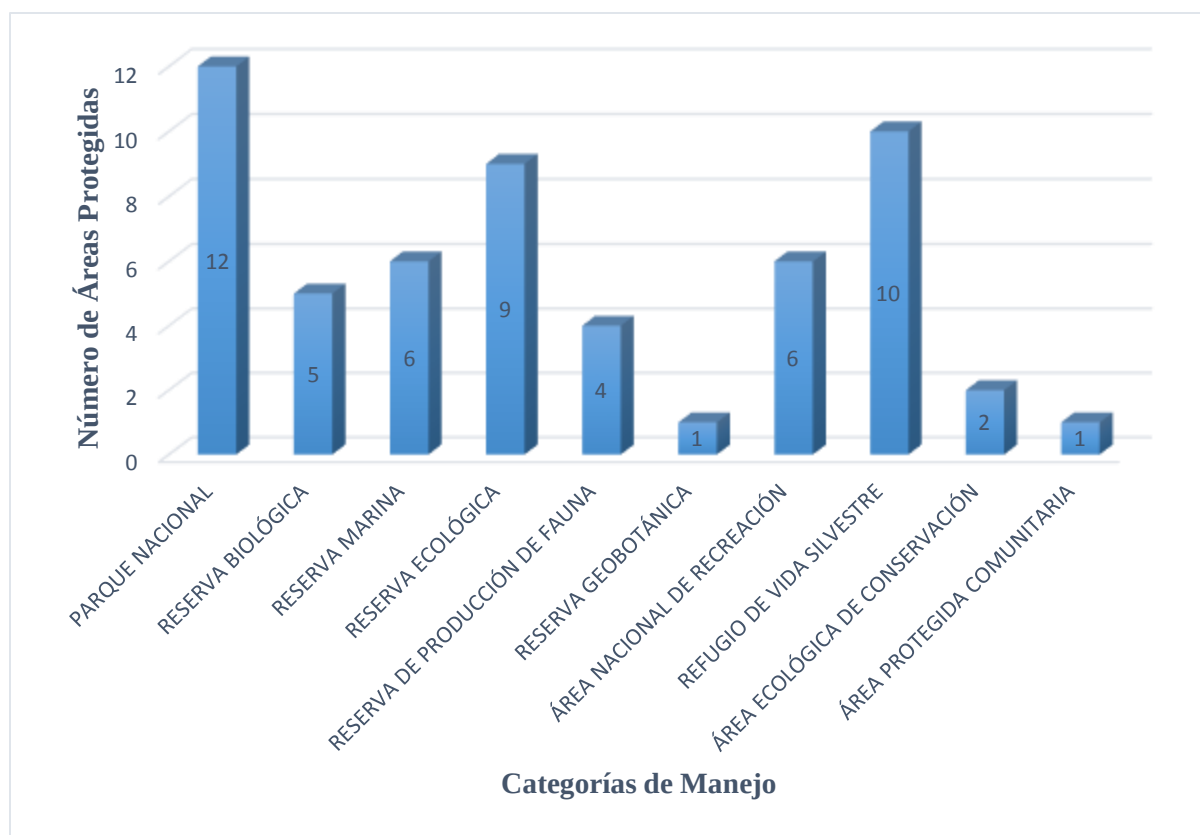


Figura 4. Distribución de las áreas protegidas de Ecuador continental por categoría de manejo.

Elaborado: Autora

Del total de áreas protegidas que posee Ecuador, es importante mencionar que 5 son consideradas como Reservas de Biósfera reconocidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Además, 8 de estas áreas protegidas están catalogadas en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención para la Conservación y Uso Sustentable de los Humedales, conocida como Ramsar. Por otro lado, 20 áreas protegidas son consideradas como Áreas Importantes para la conservación de Aves (IBAs del inglés Important Bird Areas) (Tabla 3).

Tabla 3. Áreas protegidas consideradas como Reservas de Biósfera, humedales y áreas de importancia para la conservación de aves.

<i>Reservas de Biósfera</i>	
✓ Parque Nacional Cajas	✓ Parque Nacional Yasuní
✓ Parque Nacional Galápagos	✓ Parque Nacional Sumaco Napo Galeras
✓ Parque Nacional Podocarpus	
<i>Humedales</i>	
✓ Área Nacional de Recreación Isla Santay	✓ Reserva Biológica Limoncocha
✓ Refugio de Vida Silvestre Isla Santa Clara	✓ Reserva Ecológica El Ángel
✓ Reserva Ecológica Manglares Churute	✓ Parque Nacional Machalilla
✓ Reserva Ecológica Cayapas Mataje	✓ Parque Nacional Cajas
<i>Áreas Importantes para la Conservación de Aves</i>	
✓ Reserva Ecológica los Illinizas	✓ Reserva Ecológica Cofán Bermejo
✓ Reserva Ecológica Antisana	✓ Parque Nacional Sumaco Napo Galeras
✓ Refugio de Vida Silvestre Pasochoa	✓ Parque Nacional Sangay
✓ Parque Nacional Cotopaxi	✓ Parque Nacional Podocarpus
✓ Parque Nacional Llanganates	✓ Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno
✓ Parque Nacional Yasuní	✓ Refugio de Vida Silvestre Isla Corazón e Islas Fragatas
✓ Reserva Ecológica Cayapas Mataje	✓ Reserva Ecológica Arenillas
✓ Reserva Ecológica Mache Chindul	✓ Refugio de Vida Silvestre Isla Santa Clara
✓ Parque Nacional Machalilla	✓ Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas
✓ Área Nacional de Recreación Isla Santay	
✓ Reserva Ecológica El Ángel	

Elaborado: Autora

Para conocer la situación actual sobre invasiones biológicas dentro de las áreas protegidas del Ecuador se estableció una serie de parámetros para determinar cuántas de las áreas protegidas cumplen o no con estas medidas (Tabla 4).

Tabla 4. Lista de parámetros establecidos para conocer la situación actual de las áreas protegidas.

N°	PARÁMETROS
1	Planes de manejo
2	Lista de especies exóticas invasoras
3	Estrategia de erradicación de especies exóticas
4	Estrategia de prevención de entrada de especies exóticas
5	Plan de conservación de especies endémicas y/o amenazas
6	Mecanismos financieros para la prevención, manejo y control de especies exóticas
7	Programas de monitoreo
8	Estrategias de control de especies exóticas invasoras
9	Protocolo de detección temprana y respuesta rápida

Elaborado: Autora

De acuerdo a la literatura revisada para verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos en cada una de las áreas protegidas, se evidenció que todas cumplen con la presentación de planes de manejo. Sin embargo, la mayor parte de ellas no cuentan con programas de monitoreo para evidenciar la presencia de especies exóticas invasoras, tampoco cuentan con sistemas de detección temprana y respuesta rápida ante invasiones biológicas. Otro aspecto importante que se evidenció es que a pesar de contar con estrategias de prevención y control de especies exóticas invasoras no es suficiente para contrarrestar esta situación, pues los mecanismos financieros juegan un papel muy importante a la hora de combatir problemas sobre invasiones biológicas. En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en cuanto al cumplimiento de los parámetros y la cantidad de áreas protegidas por categoría de manejo.

Tabla 5. Cantidad de áreas protegidas por categoría de manejo que cumplen con los parámetros establecidos. 1: Planes de manejo; 2: Lista de especies exóticas invasoras; 3: Estrategia de erradicación de especies exóticas; 4: Estrategia de prevención de entrada de especies exóticas; 5: Plan de conservación de especies endémicas y/o amenazas; 6: Mecanismos financieros para la prevención, manejo y control de especies exóticas; 7: Programas de monitoreo; 8: Estrategias de control de especies exóticas invasoras; 9: Protocolo de detección temprana y respuesta rápida.

Categoría de manejo	Parámetros								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Parque Nacional	12	11	9	4	12	4	6	7	4
Reserva Biológica	5	2	3	1	5	2	3	3	2
Reserva Marina	6	3	2	2	6	2	4	3	1
Reserva Ecológica	9	6	6	3	9	3	4	5	1
Reserva de Producción de Fauna	4	3	4	2	4	1	1	1	1
Reserva Geobotánica	1	1	1	1	1	1	0	1	0
Área Nacional de Recreación	6	1	1	3	6	2	0	1	1
Refugio de vida silvestre	10	7	3	6	10	4	2	2	2
Área ecológica de conservación	2	1	1	1	2	1	0	1	0
Área protegida comunitaria	1	1	1	1	1	1	0	1	0

Elaborado: Autora

Los resultados de los análisis indican que los parámetros de mayor cumplimiento para la identificación de especies exóticas invasoras por parte de las áreas protegidas son la presentación o elaboración de planes de manejo (56) y planes de conservación de especies endémicas (56), mientras que los parámetros que no cumplen son los programas de detección temprana y respuesta rápida (44) y programas de monitoreo (36) (Figura 5).

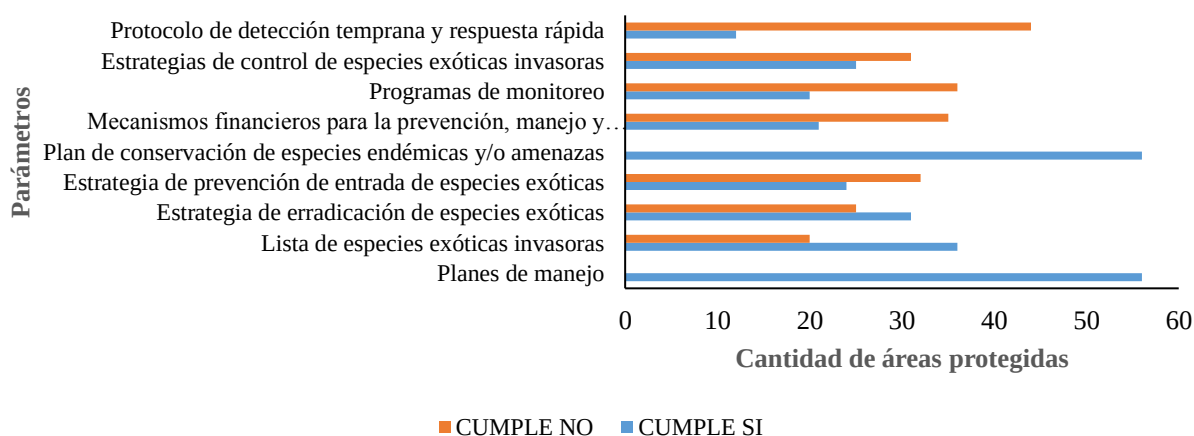


Figura 5. Cumplimiento de los parámetros establecidos para la identificación de EEI en las áreas protegidas de Ecuador.

Elaborado: Autora

De acuerdo a cada categoría de manejo se identificó que los parques nacionales, reservas ecológicas, reservas biológicas y reservas de producción de fauna son las categorías de manejo que mayormente cumplen con dichos parámetros, mientras que aquellas que no cuentan con mecanismos de identificación de especies exóticas invasoras son las reserva geobotánica, área ecológica de conservación y el área protegida comunitaria (Figura 6).

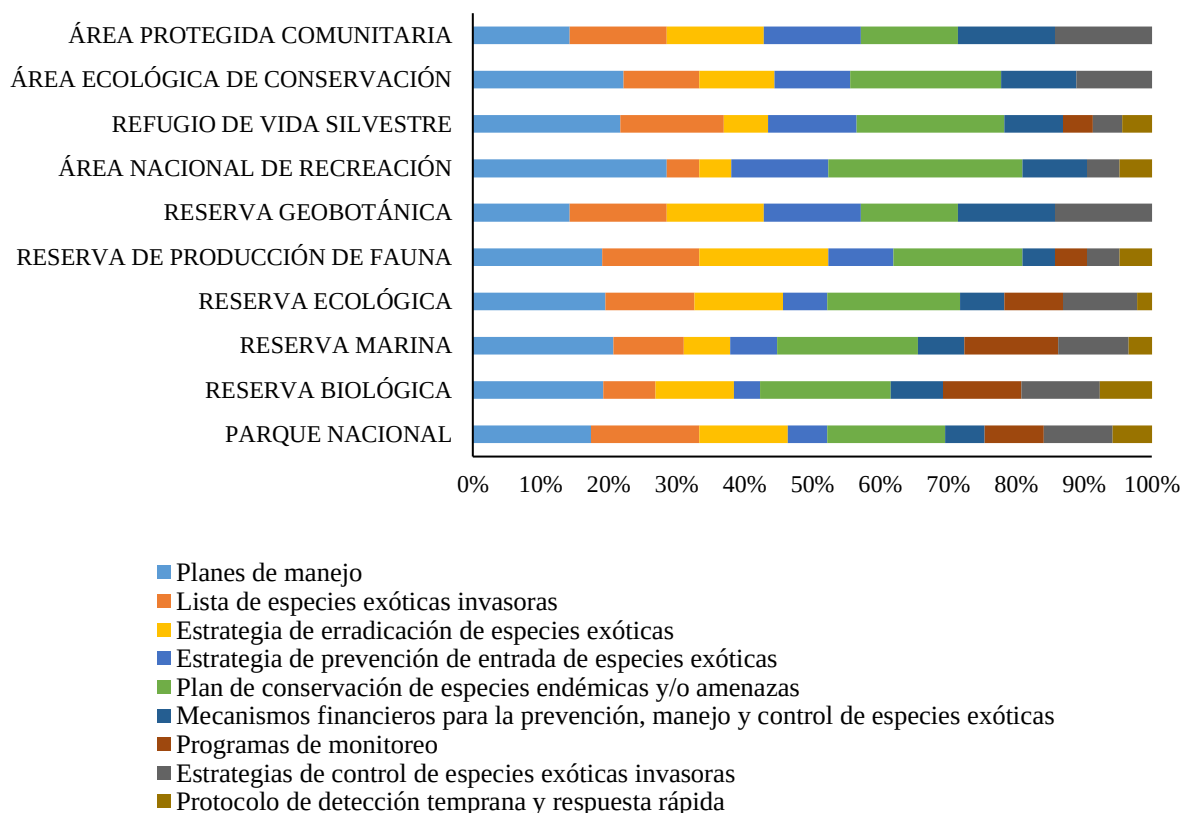


Figura 6. Cumplimiento de los parámetros de acuerdo a cada categoría de manejo.

Elaborado: Autora

4.1.2. Modelar la distribución potencial de especies exóticas invasoras de Ecuador continental en el presente y en escenarios de cambio climático.

✓ *Amaranthus hybridus* L.

Amaranthus hybridus L. conocida como bledo, quelite o quintonil, etc., es una especie de origen americano que actualmente se encuentra distribuida en América, Europa y África, especialmente en regiones templadas y subtropicales (Figura 7) (63) .

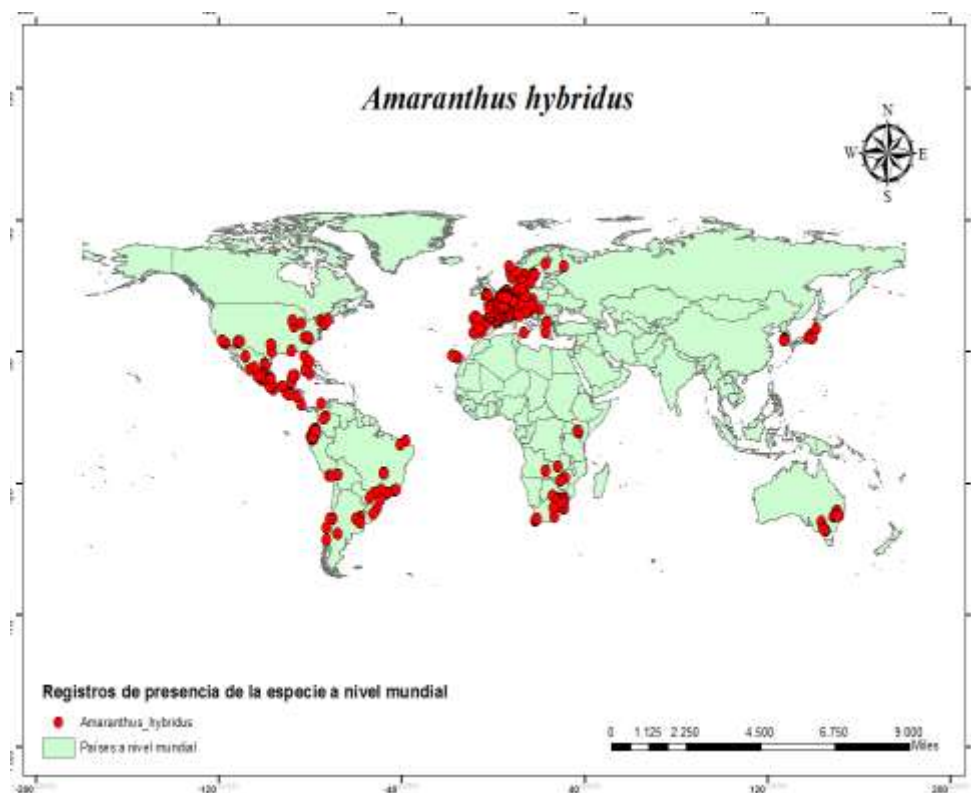


Figura 7. Registros de presencia de *Amaranthus hybridus* en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.

Elaborado: Autora

El modelo de distribución potencial de *A. hybridus* calibrado en el área nativa e invasora y proyectado a Ecuador continental, obtuvo un buen desempeño con un valor de AUC= 0.87 para los datos de calibración y para los datos de validación AUC=0.88 respectivamente. La curva ROC parcial obtuvo un valor promedio de 1.6 ± 0.16 lo que indica que el modelo tuvo una buena predicción de las condiciones climáticas adecuadas para la especie, teniendo en cuenta las variables empleadas, lo que valida que no es un modelo al azar (Tabla 6).

Tabla 6. Rendimiento del modelo para *Amaranthus hybridus* L.

<i>Amaranthus hybridus</i> L.	
AUC _{training}	0.875
AUC _{test}	0.881
AUC _{parcial}	1.6
p	0.02

Elaborado: Autora

Las variables de temperatura mínima media del periodo más frío, temperatura media del cuatrimestre más frío y precipitación del periodo más seco tuvieron mayor porcentaje de contribución al modelo de nicho ecológico de *A. hybridus* L. (Tabla 7).

Tabla 7. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje de contribución al modelo de nicho ecológico para *Amaranthus hybridus* L. en Ecuador continental.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Temperatura mínima media del periodo más frío (BIO6)	43.3	41.8
Precipitación del periodo más seco (BIO14)	40.4	6.9
Temperatura media del cuatrimestre más frío (BIO11)	16.3	51.3

Elaborado: Autora

Según el comportamiento del modelo para *Amaranthus hybridus* se encontró que, en áreas donde la precipitación del periodo más seco se encuentra en los 50 mm aumenta la probabilidad de presencia predicha de la especie, por encima de este valor la predicción de presencia de la especie disminuye. En el caso de la temperatura media del cuatrimestre más frío, la probabilidad de presencia predicha de *Amaranthus hybridus* se mantuvo constante en temperaturas que van desde (-15°C a 5 °C) aproximadamente, a partir de esos valores su predicción fue baja. Para la temperatura mínima media del periodo más frío sucede lo contrario, a medida que aumenta la temperatura también aumenta la probabilidad de presencia de la especie hasta alcanzar un valor constante que va desde (5°C a 27°C) (Figura 8).

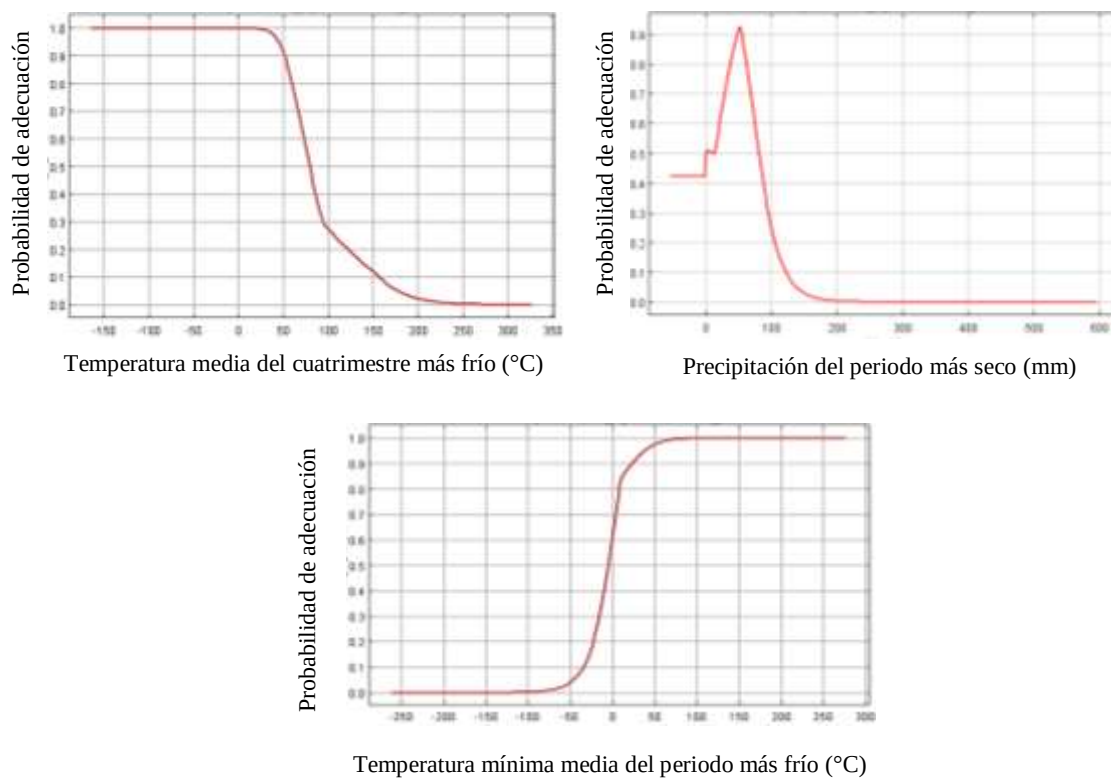


Figura 8. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de *Amaranthus hybridus* L en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).

Elaborado: Autora

Mediante la proyección del modelo de *A. hybridus* al espacio geográfico de Ecuador continental se identificaron las zonas con condiciones favorables para la presencia de la especie en el presente y bajo escenarios climáticos futuros, uno cercano (2050) y otro lejano (2070), bajo dos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno cauteloso RCP (4.5) y otro extremo RCP (8.5) (Figura 9). Se presentó una combinación de colores para definir las áreas de presencia o ausencia de la especie según las condiciones climáticas, el color rojo representa las zonas con condiciones favorables mientras que las zonas de verdes se consideran poco favorables, de la misma manera se identificaron las áreas protegidas que presentan condiciones favorables para la presencia de *A. hybridus* (Figura 9).

De acuerdo a los resultados del modelo en Ecuador continental, para el presente se identificó un área de 76553 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia potencial de *A. hybridus* (Figura 9), abarcando las provincias de Azuay, Cañar, Chimborazo, Tungurahua, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi, zonas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie. Las zonas menos favorables se localizaron en las provincias de Guayas, Santa Elena, Manabí, Pastaza y Orellana. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Illinizas, Mache Chindul, Cofán Bermejo, Refugio de vida silvestre Pasochoa y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2050 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se encontró un área de 68365 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. hybridus* (Figura 9). Cotopaxi, Bolívar, Pichincha, Imbabura, Carchi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar y Azuay son las provincias con mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor favorabilidad comprenden las provincias de Los Ríos, Guayas, Santa Elena, Manabí, Pastaza y Orellana. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Illinizas, Refugio de vida silvestre Pasochoa y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2070 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se identificó un área de 66913 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. hybridus* (Figura 9). Cotopaxi, Bolívar, Pichincha, Imbabura, Carchi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay son las provincias con mayores índices de favorabilidad para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor favorabilidad comprenden las provincias de Guayas, Santa Elena, Los Ríos, Manabí, Orellana y Pastaza. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Illinizas, Refugio de vida silvestre Pasochoa y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2050 bajo un escenario extremo (RCP 8.5) se encontró un área de 63971 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. hybridus* (Figura 9). Cotopaxi, Bolívar,

Pichincha, Imbabura, Carchi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar, Napo y Azuay son las provincias con mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor favorabilidad comprenden las provincias de Guayas, Santa Elena, Manabí, Pastaza, Orellana y Sucumbíos. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Illinizas, Refugio de vida silvestre Pasochoa y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2070 bajo un escenario extremo (RCP 8.5), se identificó 60045 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. hybridus* (Figura 9). Las provincias de Cotopaxi, Bolívar, Pichincha, Imbabura, Carchi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar, Napo y Azuay presentan mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor favorabilidad comprenden las provincias de Los Ríos, Guayas, Santa Elena, Manabí, Pastaza y Orellana. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Illinizas y el Refugio de vida silvestre Pasochoa.

Amaranthus hybridus L.

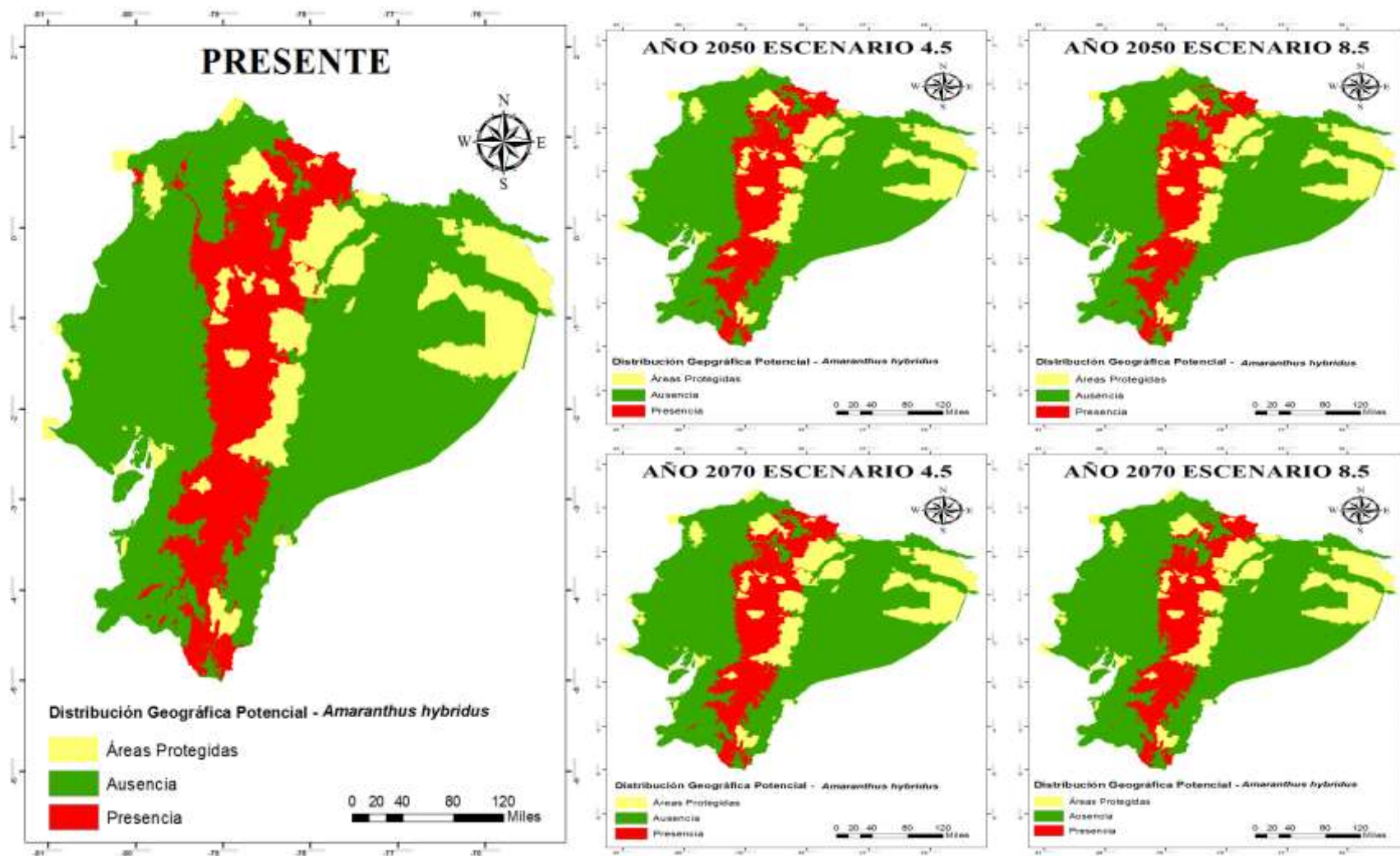


Figura 9. Distribución geográfica potencial de *Amaranthus hybridus* L. en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 Y 8.5).

✓ *Aphis fabae* Scopoli

Aphis fabae Scopoli, conocido como pulgón negro es una especie de origen europeo que actualmente presenta una distribución mundial. Afecta a numerosos cultivos, siendo su principal huésped las plantas de habas y se encuentra distribuido en regiones templadas de Europa, Asia y Norteamérica y en regiones frescas de África, el Medio Oriente y Sudamérica (Figura 10) (64).

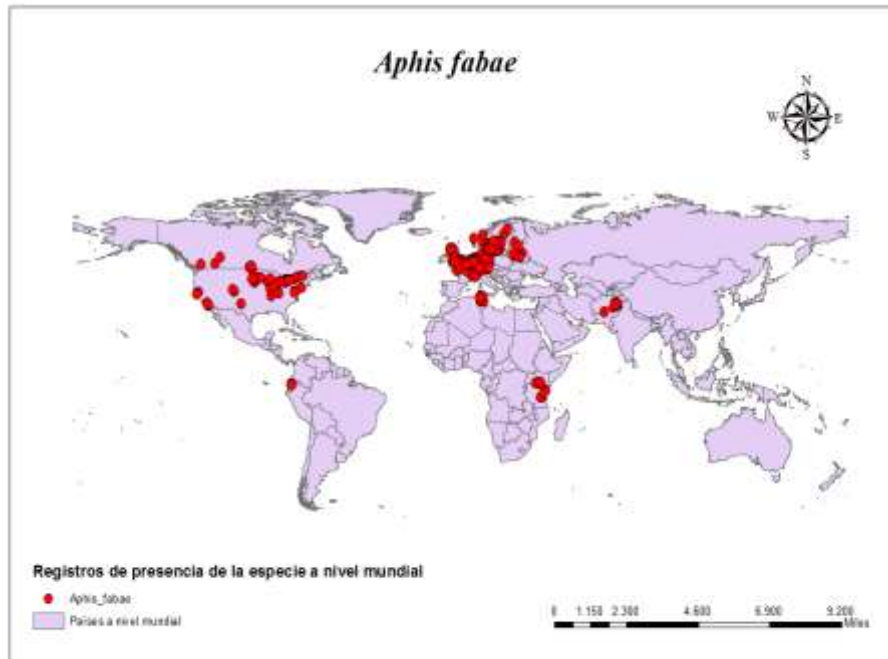


Figura 10. Registros de presencia de *Aphis fabae* en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.

Elaborado: Autora

El modelo de distribución potencial de *A. fabae* calibrado en el área nativa e invasora y proyectado a Ecuador continental, obtuvo un buen desempeño con un valor de AUC= 0.87 para los datos de entrenamiento y para los datos de validación AUC=0.85 respectivamente. La curva ROC parcial obtuvo un valor promedio de 1.61 ± 0.1 lo que indica que el modelo tuvo una buena predicción de las condiciones climáticas adecuadas para la especie, teniendo en cuenta las variables empleadas, lo que valida que no es un modelo al azar (Tabla 8).

Tabla 8. Rendimiento del modelo para *Aphis fabae* Scopoli.

<i>Aphis fabae</i> Scopoli	
AUC _{training}	0.869
AUC _{test}	0.855
AUC _{parcial}	1.61
p	0.001

Elaborado: Autora

Las variables correspondientes a la oscilación anual de la temperatura, temperatura media del cuatrimestre más cálido y temperatura mínima media del periodo más frío tuvieron mayor porcentaje de contribución al modelo de nicho ecológico de *A. fabae* Scopoli. (Tabla 9).

Tabla 9. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje de contribución al modelo de nicho ecológico para *Aphis fabae* Scopoli.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Oscilación anual de la temperatura (BIO7)	59.1	60.2
Temperatura media del cuatrimestre más cálido (BIO10)	29.6	19.5
Temperatura mínima media del periodo más frío (BIO6)	11.3	20.3

Elaborado: Autora

Según el comportamiento del modelo para *Aphis fabae* se encontró que, en áreas con temperatura media del cuatrimestre más cálido de 28 °C aumenta la probabilidad de presencia predicha de la especie, por encima de este valor la predicción se mantiene constante. En el caso de la temperatura mínima media del periodo más frío la probabilidad se mantiene constante en temperaturas desde (-40°C a -10°C) aproximadamente, a partir de estos valores la probabilidad de presencia tiende a disminuir. De la misma manera en las condiciones de la oscilación anual de temperatura con valores de 5°C a 22°C aproximadamente, la probabilidad se mantiene constante, por encima de estos valores la probabilidad de presencia predicha de la especie tiende a disminuir (Figura 11).

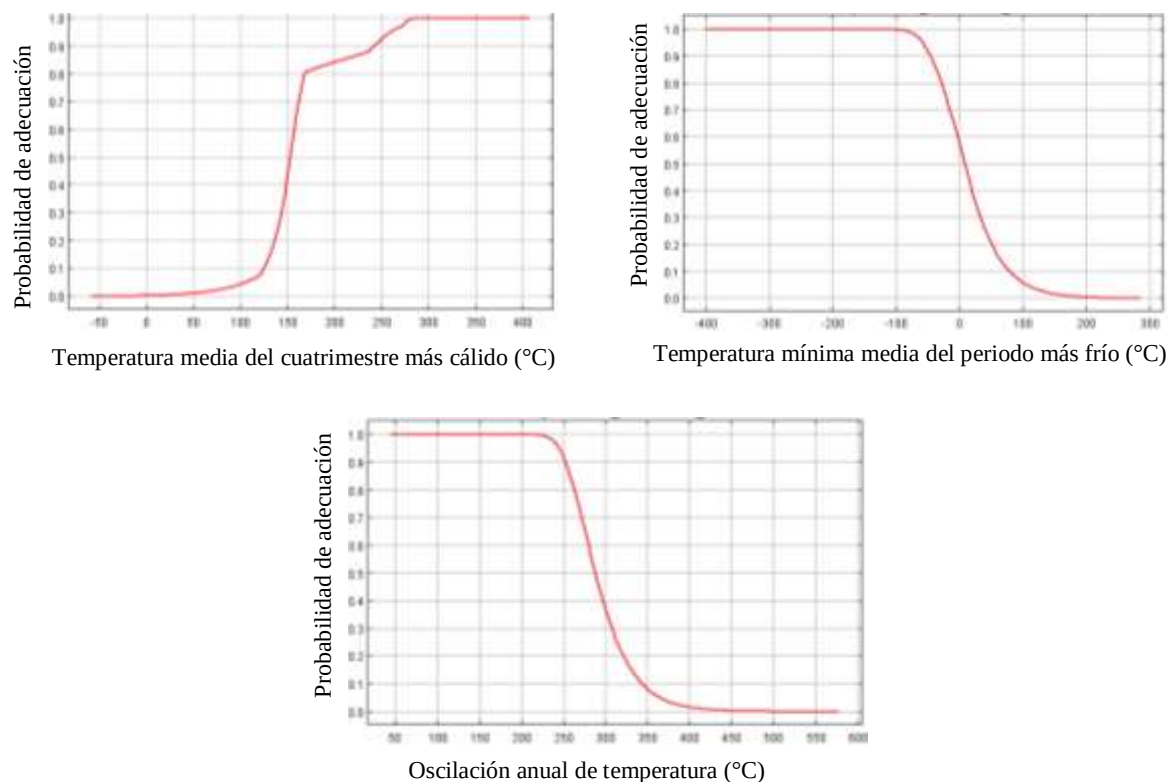


Figura 11. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de *Aphis fabae* Scopoli en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).

Elaborado: Autora

Mediante la proyección del modelo de *A. fabae* al espacio geográfico de Ecuador continental se identificaron las áreas con condiciones favorables para la presencia de la especie en el presente y bajo escenarios climáticos futuros, uno cercano (2050) y otro lejano (2070), bajo dos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno cauteloso RCP (4.5) y otro extremo RCP (8.5), tal como se muestra en la Figura 12. Se presentó una combinación de colores para definir las áreas de presencia o ausencia de la especie según las condiciones climáticas, el color rojo representa las áreas con condiciones favorables mientras que las zonas de verdes se consideran poco favorables, de la misma manera se identificaron las áreas protegidas que presentan condiciones favorables para la presencia de *A. fabae* (Figura 12).

De acuerdo a los resultados del modelo en Ecuador continental, para el presente se identificó un área de 115583 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia potencial de *A.*

fabae (Figura 12), abarcando las provincias de Azuay, Cañar, Chimborazo, Bolívar, Tungurahua, Cotopaxi, Napo, Pichincha, Imbabura, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Loja y Carchi como las zonas con mayor índice de adecuación para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en las provincias de Guayas, Los Ríos y Santa Elena. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie, éstas incluyen: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Machalilla, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Antisana, Illinizas, Cofán Bermejo, Mache Chindul; Refugio de vida silvestre Pasochoa, Pacoche, el Zarza; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2050 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se encontró un área de 93941 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. fabae* (Figura 12). Esta zona incluye las provincias de Carchi, Cañar, Bolívar, Tungurahua, Cotopaxi, Napo, Pichincha, Imbabura y Chimborazo como las zonas con mayor índice de adecuación para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en las provincias de Los Ríos, Guayas, Pastaza y Orellana. En cuanto a las áreas protegidas, las de mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Machalilla, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Antisana, Illinizas, Cofán Bermejo, Mache Chindul; Refugio de vida silvestre Pasochoa, el Zarza; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Mientras que para el año 2070 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se identificó 91365 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. fabae* (Figura 12). Cañar, Bolívar, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Chimborazo, Esmeraldas, Loja y Zamora Chinchipe se presentan como las zonas con mayor índice de adecuación para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en las provincias de Guayas, Los Ríos, Santa Elena y Orellana. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Machalilla, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Antisana, Illinizas, Cofán

Bermejo; Refugio de vida silvestre Pasochoa, el Zarza; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2050 bajo un escenario extremo (RCP 8.5) se encontró un área de 88557 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. fabae* (Figura 12). Esta zona abarca las provincias de Cañar, Bolívar, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Chimborazo, Esmeraldas, Loja, Zamora Chinchipe, Morona Santiago y El Oro como las zonas con mayor índice de adecuación para la distribución de la especie, mientras que la zonas con menor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentra en las provincias de Guayas, Los Ríos, Santa Elena, Orellana y Pastaza. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Machalilla, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Antisana, Illinizas, Cofán Bermejo; Refugio de vida silvestre Pasochoa, el Zarza; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Mientras que para el año 2070 bajo un escenario extremo (RCP 8.5), se identificó 82186 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia *A. fabae* (Figura 12). Esta zona abarca las provincias de Carchi, Imbabura, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, Chimborazo, Loja, Zamora Chinchipe y Morona Santiago como las zonas con mayor índice de adecuación para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí, Pastaza y Orellana. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, El Ángel, Antisana, Illinizas, Cofán Bermejo; Refugio de vida silvestre Pasochoa; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Aphis fabae Scopoli

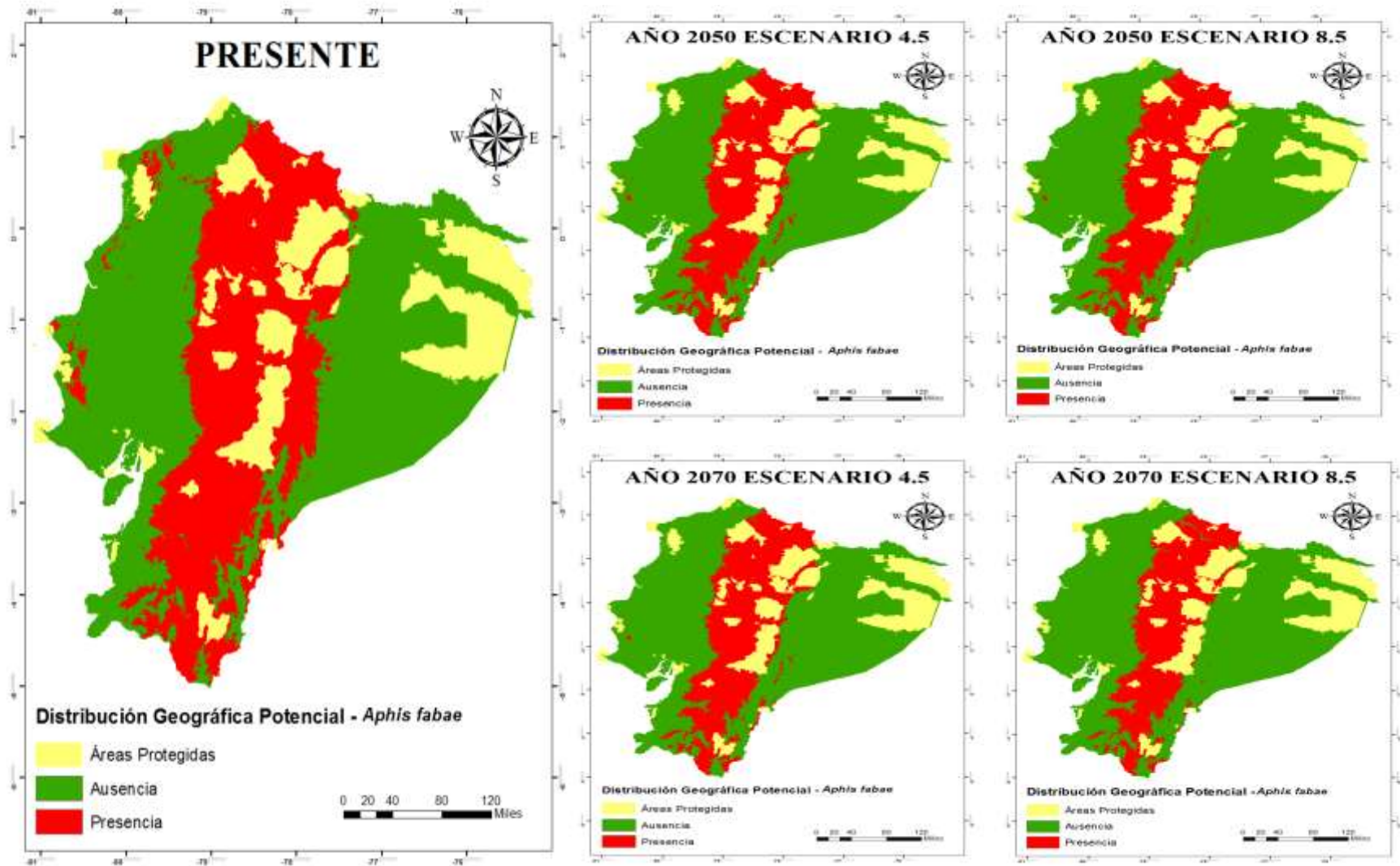


Figura 12. Distribución geográfica potencial de *Aphis fabae* Scopoli en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 y 8.5).

✓ *Asclepias curassavica* L.

Asclepias curassavica L., conocida como flor de sangre, hierba María y burladora, es originaria de zonas tropicales americanas y en muchos lugares del trópico se considera una amenaza invasora (Figura 13). Esta especie es aprovechada para uso medicinal a partir de la recolección de ejemplares silvestres. Presenta registros de presencia en diferentes países del continente Americano, Europa, Asia y África (Figura 13) (65).

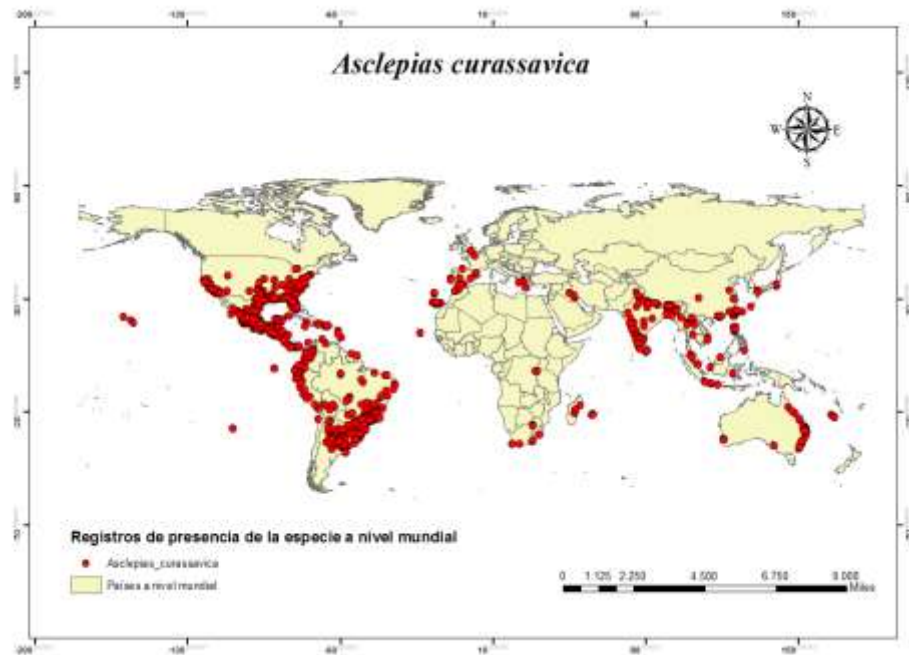


Figura 13. Registros de presencia de *Asclepias curassavica* en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.

Elaborado: Autora

El modelo de distribución potencial de *A. curassavica* calibrado en el área nativa e invasora y proyectado a Ecuador continental, obtuvo un buen desempeño con un valor de AUC= 0.798 para los datos de entrenamiento y para los datos de validación AUC=0.806 respectivamente. La curva ROC parcial obtuvo un valor promedio de 1.37 ± 0.08 lo que indica que el modelo tuvo una buena predicción de las condiciones climáticas adecuadas para la especie, teniendo en cuenta las variables empleadas, lo que valida que no es un modelo al azar (Tabla 10).

Tabla 10. Rendimiento del modelo para *Asclepias curassavica* L.

<i>Asclepias curassavica</i> L.	
AUC _{training}	0.798
AUC _{test}	0.806
AUC _{parcial}	1.37
p	0.001

Elaborado: Autora

Las variables temperatura media del cuatrimestre más frío, estacionalidad de la temperatura y Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación) tuvieron mayor porcentaje de contribución al modelo de nicho ecológico de *A. curassavica* L. (Tabla 11).

Tabla 11. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje al modelo de nicho ecológico para *Asclepias curassavica* L.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Temperatura media del cuatrimestre más frío (BIO11)	73.3	66.3
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	16.4	20.8
Estacionalidad de la precipitación (BIO15)	10.3	12.9

Elaborado: Autora

Según el comportamiento del modelo para *Asclepias curassavica* se encontró que, en áreas con temperatura media del cuatrimestre más frío de 18 °C aumenta la probabilidad de presencia predicha de la especie, por encima de este valor la predicción disminuye. En el caso de la estacionalidad de la temperatura con valores de (-18°C) aproximadamente, la probabilidad de presencia predicha de la especie aumenta (Figura 14).

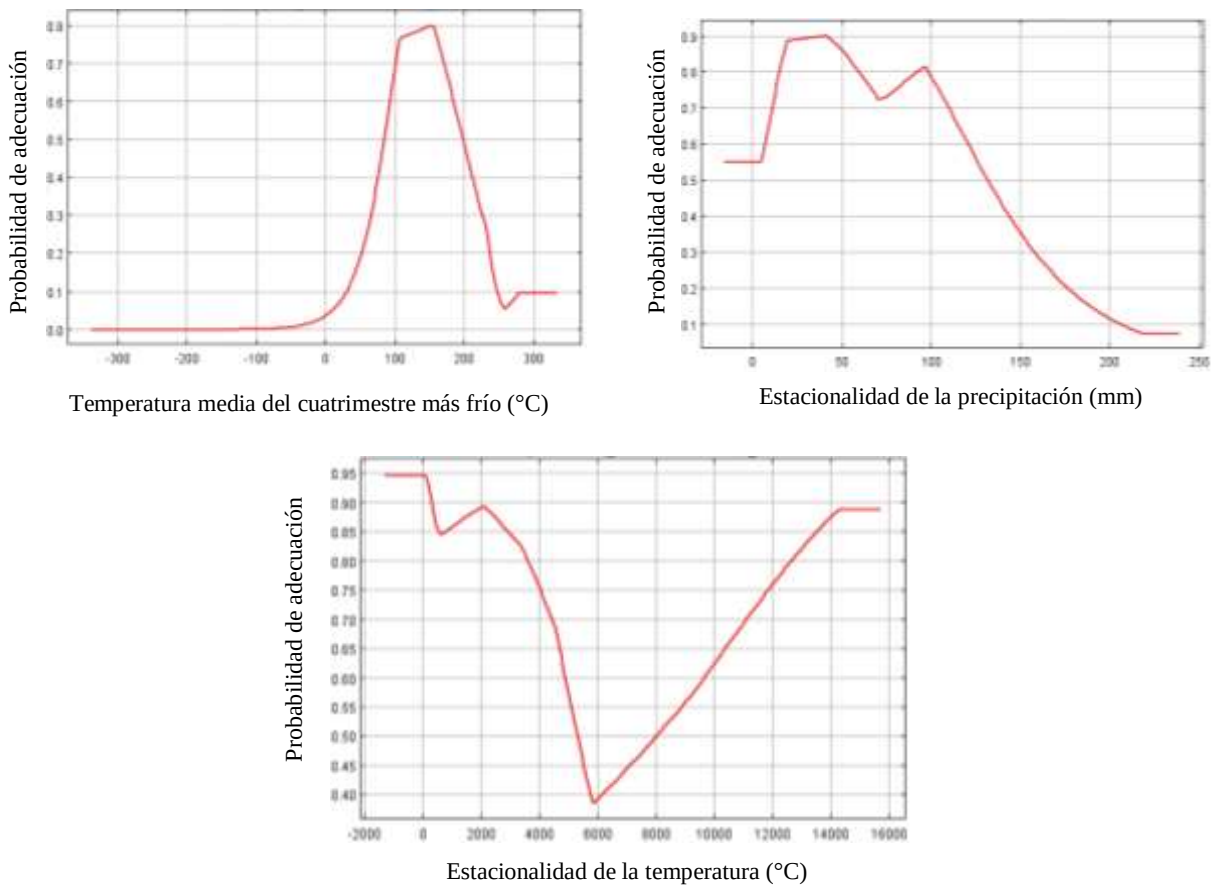


Figura 14. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de *Asclepias curassavica* en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).

Elaborado: Autora

Mediante la proyección del modelo de *A. curassavica* al espacio geográfico de Ecuador continental se identificaron las áreas con condiciones favorables para la presencia de la especie en el presente y bajo escenarios climáticos futuros, uno cercano (2050) y otro lejano (2070), bajo dos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno cauteloso RCP (4.5) y otro extremo RCP (8.5), tal como se muestra en la Figura 15. Se presentó una combinación de colores para definir las áreas de presencia o ausencia de la especie según las condiciones climáticas, el color rojo representa las áreas con condiciones favorables mientras que las zonas de verdes se consideran poco favorables, de la misma manera se identificaron las áreas protegidas que presentan condiciones favorables para la presencia de *A. curassavica* (Figura 15).

De acuerdo a los resultados del modelo en Ecuador continental, para el presente se identificó un área de 127682 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia potencial de *A. curassavica* (Figura 15). Las provincias de Loja, Pichincha, Imbabura, Bolívar, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas, Santa Elena, Manabí, Carchi, Cañar, Azuay, El Oro, Cotopaxi, Napo, Morona Santiago, Zamora Chinchipe y parte del Guayas son las zonas con mayor índice de adecuación para la distribución de la especie, mientras que las zonas menos favorables se encuentran en las provincias de Orellana y Pastaza. Entre las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Podocarpus, Machalilla, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas, Macho Chindul; Refugio de vida silvestre Pasochoa, Pacoche, El Zarza; Reserva Biológica El Quimi, El Cóndor; Reserva de Producción de Fauna Puntilla Santa Elena y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2050 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se encontró un área de 97216 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. curassavica* (Figura 15). Las provincias de Loja, El Oro, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Napo, Azuay, Cañar, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Pichincha, Carchi e Imbabura son las zonas con mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor índice de adecuación para la especie se encuentran en las provincias de Pastaza, Orellana, Guayas y Santa Elena. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie incluyen: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Machalilla, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas; Refugio de vida silvestre Pasochoa, Pacoche, El Zarza; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2070 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se identificó 94461 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. curassavica* (Figura 15). Las zonas con mayor índice de favorabilidad se encuentran en las provincias de Imbabura, Pichincha, Azuay, Cañar, Bolívar, Cotopaxi, Loja, El Oro, Zamora Chinchipe, Morona Santiago y Napo, mientras que las zonas menos favorables para la distribución de *A. curassavica* se encuentran en las provincias de Orellana, Pastaza, Guayas y Los Ríos. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Cajas,

Podocarpus, Machalilla, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas; Refugio de vida silvestre Pasochoa; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2050 bajo un escenario extremo (RCP 8.5) se encontró un área de 92936 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. curassavica* (Figura 15). Entre las zonas con mayor adecuación para la distribución de la especie se encuentran las provincias de Imbabura, Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo, Azuay, Cañar, Loja, El Oro, Zamora Chinchipe y Morona Santiago, mientras que las zonas menos favorables se encuentran en las provincias de Guayas, Los Ríos, Pastaza y Orellana. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Machalilla, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica El Ángel, Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas; Refugio de vida silvestre Pasochoa; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

En el año 2070 bajo un escenario extremo (RCP 8.5), se identificó 86910 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia de *A. curassavica* (Figura 15). Entre las provincias con mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Azuay, Cañar, Chimborazo, Bolívar, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Napo, Loja, Morona Santiago y Zamora Chinchipe, mientras que las zonas menos favorables se encuentran en las provincias de Guayas, Los Ríos, Santa Elena, Orellana y Pastaza. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Cajas, Podocarpus, Machalilla, Cotopaxi, Llanganates, Sangay, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca; Reserva Ecológica El Ángel, Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas; Refugio de vida silvestre Pasochoa; Reserva Biológica El Quimi y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Asclepias curassavica L.

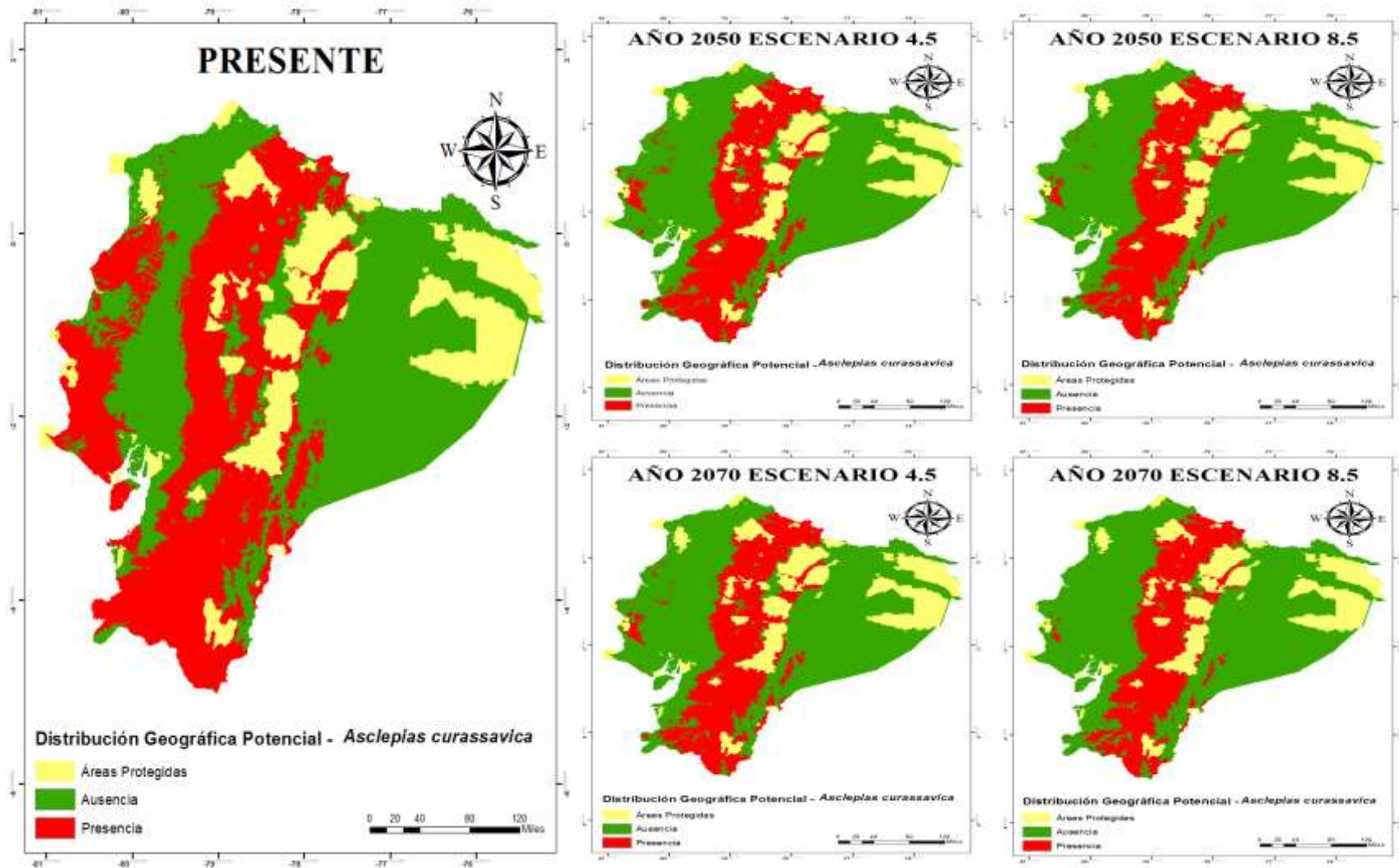


Figura 15. Distribución geográfica potencial de *Asclepias curassavica* L. en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 Y 8.5).

✓ *Conium maculatum* L.

Conium maculatum, conocida como cicuta es una hierba muy venenosa que se puede confundir con otras plantas, nativa de Eurasia pero se encuentra distribuida por toda América y Europa (Figura 16). Crece en climas templados, en sitios con disturbio, orillas de caminos, campos de cultivo, especialmente acompañando a canales de riego (63).

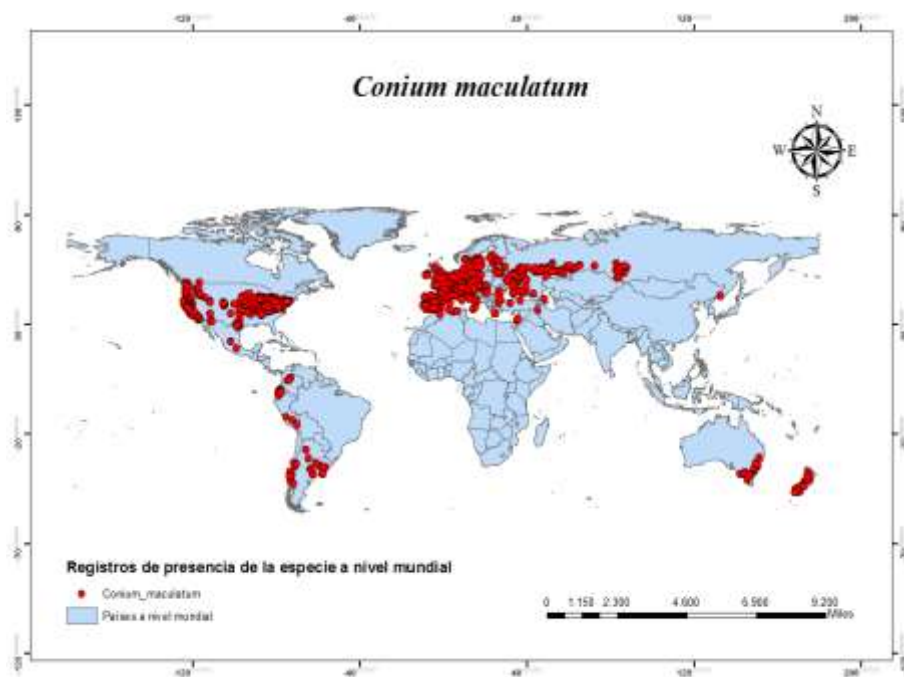


Figura 16. Registros de presencia de *Conium maculatum* en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.

Elaborado: Autora

El modelo de distribución potencial de *C. maculatum* calibrado en el área nativa e invasora y proyectado a Ecuador continental, obtuvo un buen desempeño con un valor de AUC= 0.856 para los datos de entrenamiento y para los datos de validación AUC=0.844 respectivamente. La curva ROC parcial obtuvo un valor promedio de 1.76 ± 0.18 lo que indica que el modelo tuvo una buena predicción de las condiciones climáticas adecuadas para la especie, teniendo en cuenta las variables empleadas, lo que valida que no es un modelo al azar (Tabla 12).

Tabla 12. Rendimiento del modelo para *Conium maculatum* L.

<i>Conium maculatum</i> L.	
AUC _{training}	0.856
AUC _{test}	0.844
AUC _{parcial}	1.76
p	0.001

Elaborado: Autora

Las variables temperatura media del cuatrimestre más frío, temperatura media del cuatrimestre más cálido y la precipitación del cuatrimestre más lluvioso tuvieron mayor porcentaje de contribución al modelo de nicho ecológico de *Conium maculatum* L. (Tabla 13).

Tabla 13. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje al modelo de nicho ecológico para *Conium maculatum* L.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Temperatura media del cuatrimestre más frío (BIO11)	64.7	58.2
Temperatura media del cuatrimestre más cálido (BIO10)	21.2	22.8
Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (BIO16)	14.1	19

Elaborado: Autora

Según el comportamiento del modelo para *Conium maculatum* se encontró que, en áreas con temperatura media del cuatrimestre más frío de 10 °C aumenta la probabilidad de presencia predicha de la especie, por encima de este valor la predicción disminuye. En el caso de la temperatura media del cuatrimestre más cálido a 17°C aproximadamente, la probabilidad aumenta, por encima de este valor la probabilidad disminuye. Mientras que en condiciones de la precipitación hasta 100 mm aproximadamente la probabilidad aumenta, por encima de este valor la predicción disminuye (Figura 17).

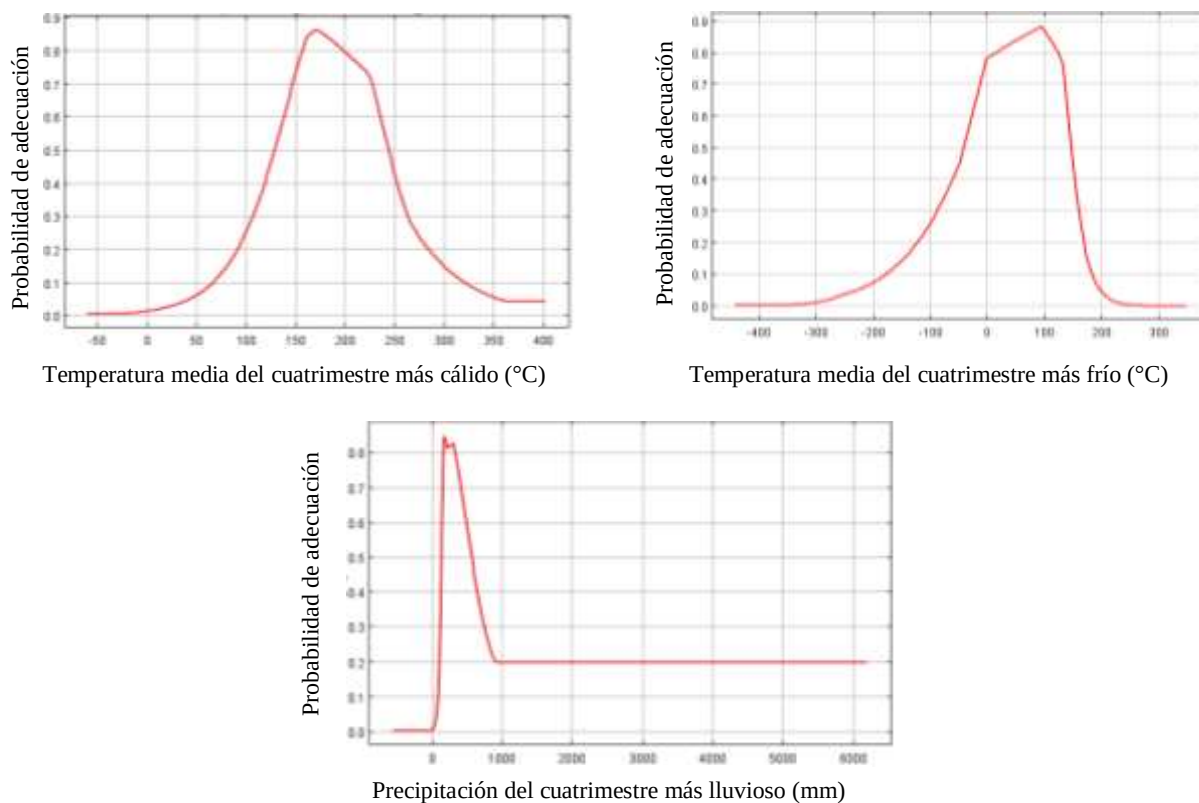


Figura 17. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de *Conium maculatum* en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).

Elaborado: Autora

Mediante la proyección del modelo de *C. maculatum* al espacio geográfico de Ecuador continental se identificaron las áreas con condiciones favorables para la presencia de la especie en el presente y bajo escenarios climáticos futuros, uno cercano (2050) y otro lejano (2070), bajo dos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno cauteloso RCP (4.5) y otro extremo RCP (8.5), tal como se muestra en la Figura 18. Se presentó una combinación de colores para definir las áreas de presencia o ausencia de la especie según las condiciones climáticas, el color rojo representa las áreas con condiciones favorables mientras que las zonas de verdes se consideran poco favorables, de la misma manera se identificaron las áreas protegidas que presentan condiciones favorables para la presencia de *C. maculatum* (Figura 18).

De acuerdo a los resultados del modelo en Ecuador continental, para el presente se identificó un área de 29951 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia potencial de *C. maculatum* (Figura 18). Esta zona incluye a las provincias de Loja, Azuay, Cañar, Chimborazo, Imbabura, Carchi, Pichincha, Bolívar, Cotopaxi y Tungurahua, mientras que las zonas menos favorables se encuentran en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Los Ríos, Guayas, Orellana, Pastaza y Santo Domingo de los Tsáchilas. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2050 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se encontró un área de 26623 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *C. maculatum* (Figura 18). Las provincias de Loja, Azuay, Cañar, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha, Carchi, Napo e Imbabura se consideran como las zonas con mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor índice de adecuación para la especie se encuentran en las provincias de Manabí, Esmeraldas, Los Ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas, Guayas, Pastaza y Orellana. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2070 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se identificó 25592 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia de la especie (Figura 18). Las zonas con mayor índice de favorabilidad se encuentran en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Azuay, Cañar, Bolívar, Cotopaxi, Loja y Napo, mientras que las zonas menos favorables para la distribución de *C. maculatum* son las provincias de Manabí, Los Ríos, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas, Guayas, Pastaza y Orellana. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica El Ángel, Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2050 bajo un escenario extremo (RCP 8.5) se encontró un área de 28223 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *C. maculatum* (Figura 18). Entre las zonas con mayor adecuación para la distribución de la especie se encuentran las provincias de

Imbabura, Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Loja, Bolívar, Chimborazo, Azuay, Cañar, Napo, El Oro y Sucumbíos, mientras que las zonas menos favorables se encuentran en las provincias de Manabí, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas, Guayas, Los Ríos, Pastaza y Orellana. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Parque Nacional Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica El Ángel, Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Para el año 2070 bajo un escenario extremo (RCP 8.5), se identificó 27618 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia de *C. maculatum* (Figura 18). Entre las provincias con mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran: Loja, Azuay, Cañar, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Carchi, Sucumbíos y Zamora Chinchipe, mientras que las zonas menos favorables se encuentran en las provincias de Pastaza, Orellana, Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena y Santo Domingo de los Tsáchilas. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca; Reserva Ecológica El Ángel, Cotacachi Cayapas, Antisana, Illinizas y la Reserva Geobotánica Pululahua.

Conium maculatum L.

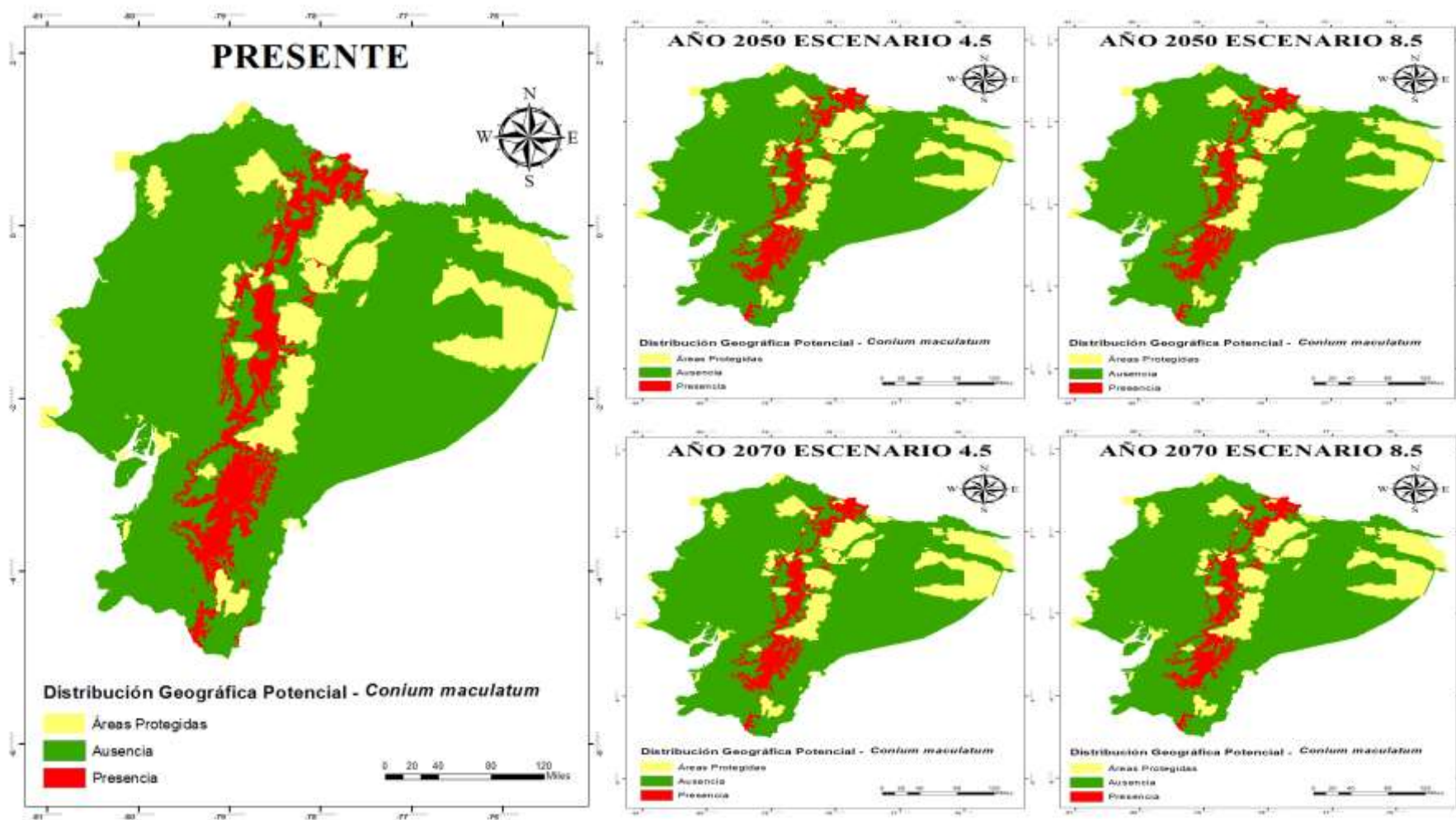


Figura 18. Distribución geográfica potencial de *Conium maculatum* L. en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 y 8.5).

✓ ***Wasmannia rochai* Forel**

Wasmannia rochai Forel, conocida como hormiga roja es una especie originaria de América Tropical que se encuentra ampliamente distribuida en el Neotrópico continental (Figura 19). Esta especie puede ser encontrada en bosques tropicales, tierras bajas, plantaciones de cacao, bosque húmedo montano, entre otros (66).

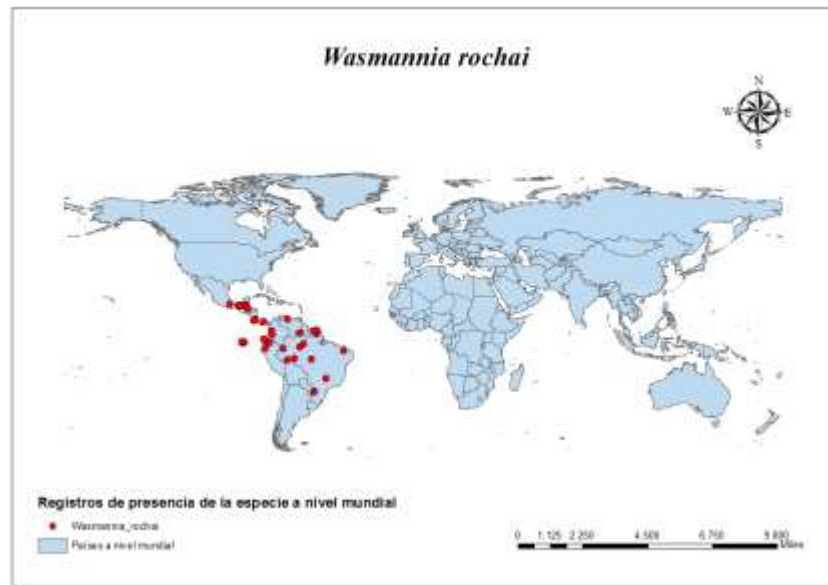


Figura 19. Registros de presencia de *Wasmannia rochai* en su rango nativo y de invasión a nivel mundial.

Elaborado: Autora

El modelo de distribución potencial de *W. rochai* calibrado en el área nativa e invasora y proyectado a Ecuador continental, obtuvo un buen desempeño con un valor de AUC= 0.855 para los datos de entrenamiento y para los datos de validación AUC=0.739 respectivamente. La curva ROC parcial obtuvo un valor promedio de 1.34 ± 0.01 lo que indica que el modelo tuvo una buena predicción de las condiciones climáticas adecuadas para la especie, teniendo en cuenta las variables empleadas, lo que valida que no es un modelo al azar (Tabla 14).

Tabla 14. Rendimiento del modelo para *Wasmannia rochai* F.

<i>Wasmannia rochai</i> F.	
AUC _{training}	0,855
AUC _{test}	0,739
AUC _{parcial}	1.34
p	0.001

Elaborado: Autora

Las variables de precipitación del periodo más seco, temperatura mínima media del periodo más frío y estacionalidad de la temperatura tuvieron mayor porcentaje de contribución al modelo de nicho ecológico de *Wasmannia rochai* F. (Tabla 15).

Tabla 15. Variables bioclimáticas de mayor porcentaje al modelo de nicho ecológico para *Wasmannia rochai* F.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Precipitación del periodo más seco (BIO14)	61.5	54.6
Temperatura mínima media del periodo más frío (BIO6)	19.4	12.1
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	19.1	33.4

Elaborado: Autora

Según el comportamiento del modelo para *Wasmannia rochai* se encontró que, en áreas con temperatura mínima media del periodo más frío de 15 °C aumenta la probabilidad de presencia predicha de la especie, por encima de este valor la predicción disminuye. En el caso de la estacionalidad de la temperatura a partir de los 10°C a 20°C aproximadamente, la probabilidad se mantiene constante, por encima de esos valores la probabilidad de presencia disminuye. Mientras que, en condiciones en que la precipitación se encuentra a 200 mm aproximadamente, la probabilidad de presencia predicha de *Wasmannia rochai* aumenta, por encima de este valor la predicción disminuye (Figura 20).

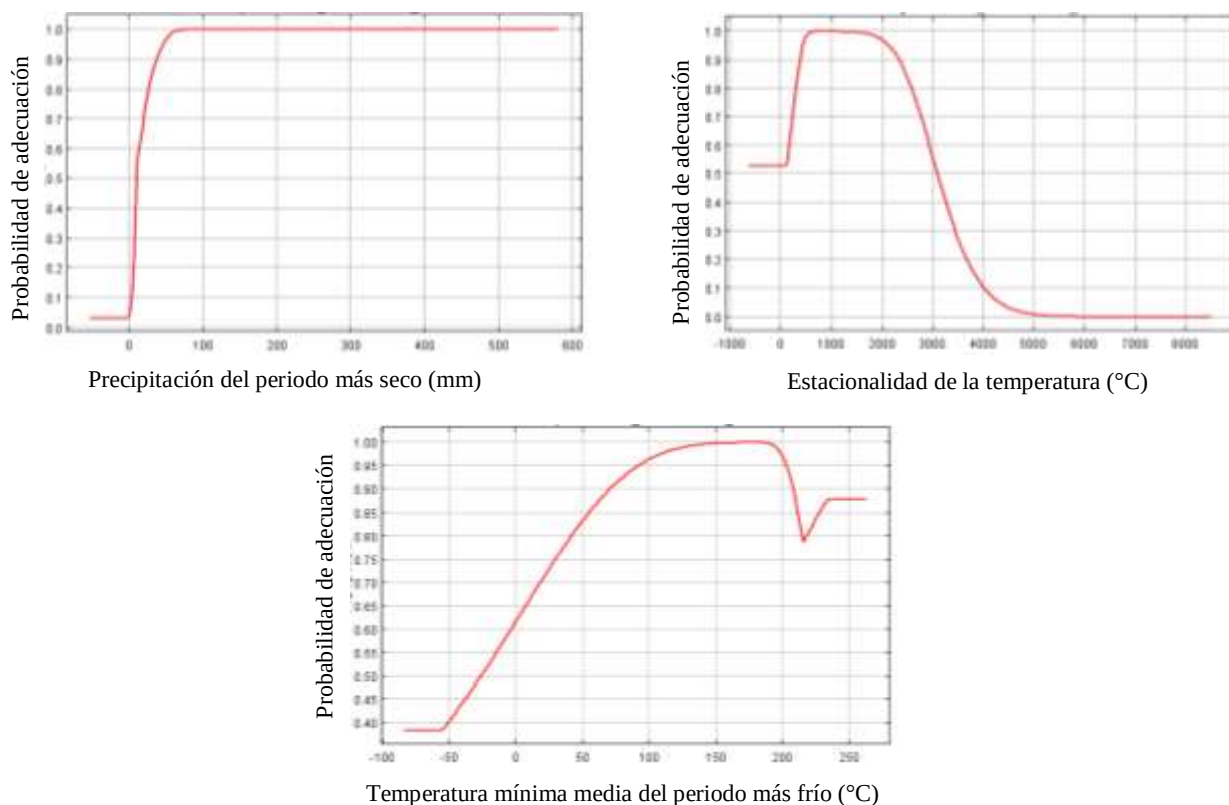


Figura 20. Comportamiento de la probabilidad relativa de presencia predicha de *Wasmannia rochai* en función de variación de predictores climáticos. (Los valores de la temperatura se encuentran multiplicados por 10).

Elaborado: Autora

Mediante la proyección del modelo de *W. rochai* al espacio geográfico de Ecuador continental se identificaron las áreas con condiciones favorables para la presencia de la especie en el presente y bajo escenarios climáticos futuros, uno cercano (2050) y otro lejano (2070), bajo dos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, uno cauteloso RCP (4.5) y otro extremo RCP (8.5), tal como se muestra en la Figura 21. Se presentó una combinación de colores para definir las áreas de presencia o ausencia de la especie según las condiciones climáticas, el color rojo representa las áreas con condiciones favorables mientras que las zonas de verdes se consideran poco favorables, de la misma manera se identificaron las áreas protegidas que presentan condiciones favorables para la presencia de *W. rochai* (Figura 21).

De acuerdo a los resultados del modelo en Ecuador continental, para el presente se identificó un área de 188757 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia potencial de *W. rochai* (Figura 21). Esta zona incluye a las provincias de Sucumbíos, Orellana, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Napo, Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí, Los Ríos Tungurahua, Azuay y El Oro, mientras que las zonas menos favorables se encuentran en la provincia de Guayas, Santa Elena y Loja. En cuanto a las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie, éstas incluyen: Parque Nacional Yasuní, Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca, Sumaco Napo Galeras, Machalilla; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Cofán Bermejo, Cayapas Mataje, Reserva Biológica Limoncocha, El Quimi, El Cóndor; Refugio de vida silvestre Manglares Estuario Río Muisne, La Chiquita y la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno.

Para el año 2050 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se encontró un área de 183582 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *W. rochai* (Figura 21). Esta zona incluye las provincias de Zamora Chinchipe, Morona Santiago, Pastaza, Orellana, Sucumbíos, Napo, Tungurahua, Azuay, Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí y Esmeraldas como las zonas con mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie, mientras que las zonas con menor índice de adecuación para la especie se encuentran en las provincias de Guayas y Santa Elena. En cuanto a las áreas protegidas, las de mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Yasuní, Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca, Sumaco Napo Galeras; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Cofán Bermejo, Cayapas Mataje, Reserva Biológica Limoncocha, El Quimi, El Cóndor; Refugio de vida silvestre Manglares Estuario Río Muisne, La Chiquita y la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno.

Para el año 2070 bajo un escenario cauteloso (RCP 4.5), se identificó 184617 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia de *W. rochai* (Figura 21). Las zonas con mayor índice de favorabilidad se encuentran en las provincias de Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Pastaza, Orellana, Sucumbíos, Napo, Esmeraldas, Manabí, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Tungurahua, mientras que las zonas menos favorables para la distribución de *W. rochai* son las provincias de Guayas y Santa Elena. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional

Yasuní, Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca, Sumaco Napo Galeras; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Cofán Bermejo, Cayapas Mataje, Mache Chindul; Reserva Biológica Limoncocha, El Quimi, El Cóndor; Refugio de vida silvestre Manglares Estuario Río Muisne, La Chiquita y la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno.

Para el año 2050 bajo un escenario extremo (RCP 8.5) se encontró un área de 169103 km² con condiciones climáticas favorables para la presencia de *W. rochai* (Figura 21). Entre las zonas con mayor adecuación para la distribución de la especie se encuentran todas las provincias de la región amazónica, mientras que las zonas menos favorables siguen siendo Guayas y Santa Elena. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Yasuní, Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca, Sumaco Napo Galeras; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Cofán Bermejo; Reserva Biológica Limoncocha, El Quimi, El Cóndor; Refugio de vida silvestre La Chiquita y la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno.

Para el año 2070 bajo un escenario extremo (RCP 8.5), se identificó 171440 km² de área con condiciones climáticas favorables para la presencia de *W. rochai* (Figura 21). Entre las zonas con mayor índice de favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran toda la región amazónica incluida las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Tungurahua, Cañar y Azuay, mientras que las zonas menos favorables para la distribución de *W. rochai* se encuentran en las provincias de Guayas y Santa Elena. Las áreas protegidas con mayor favorabilidad para la distribución de la especie se encuentran en: Parque Nacional Yasuní, Podocarpus, Llanganates, Sangay, Cayambe Coca, Sumaco Napo Galeras; Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Antisana, Cofán Bermejo, Mache Chindul; Reserva Biológica Limoncocha, El Quimi, El Cóndor; Refugio de vida silvestre La Chiquita y la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno.

Wasmannia rochai F.

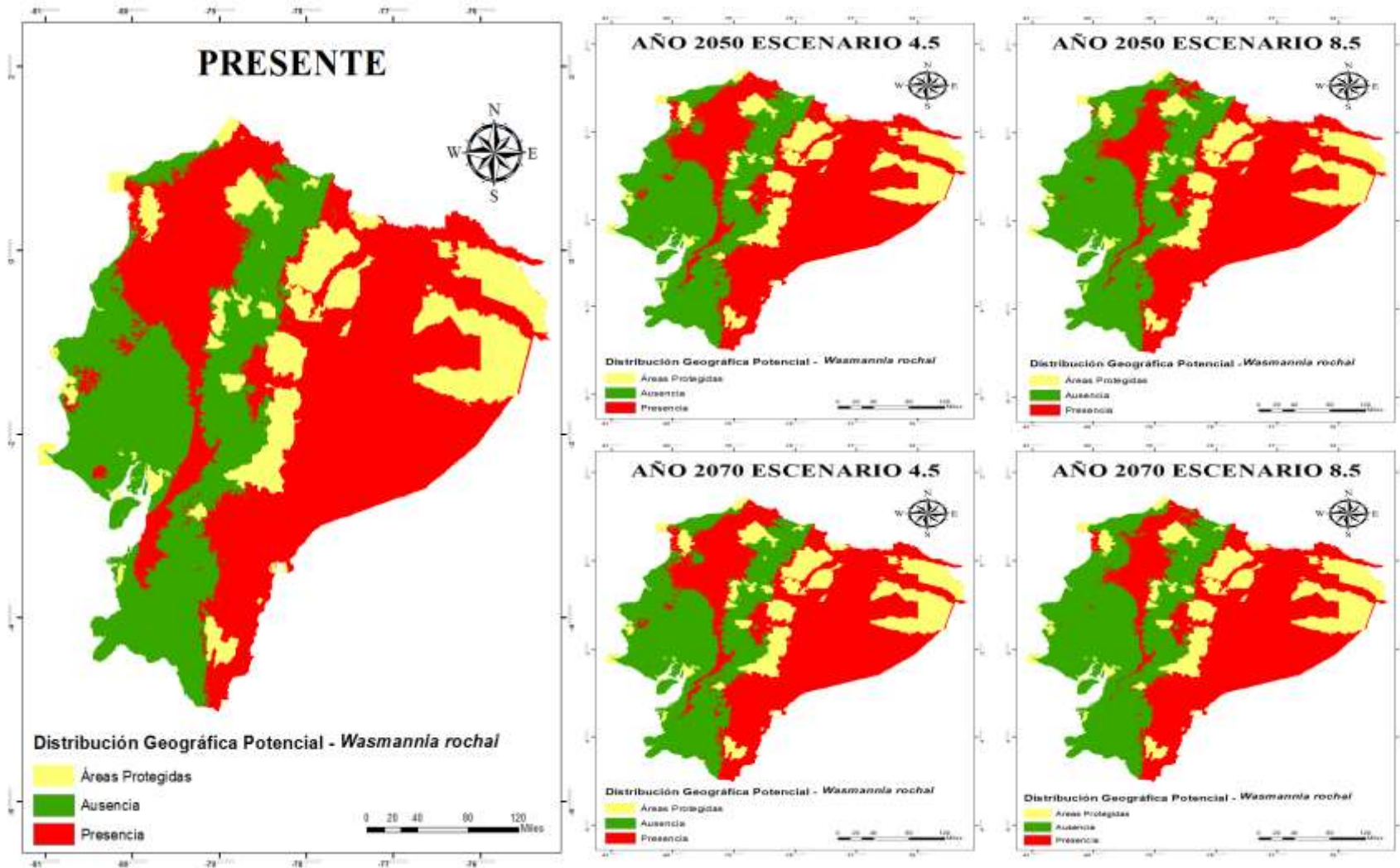


Figura 21. Distribución geográfica potencial de *Wasmannia rochai* F. en Ecuador continental y sus áreas protegidas para el presente y bajo cuatro escenarios futuros de cambio climático para el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2070 (RCP 4.5 y 8.5).

4.1.3. Identificar las contracciones y expansiones de las distribuciones potenciales de las especies en las áreas protegidas ante el cambio climático

✓ *Amaranthus Hybridus* L.

A través del análisis de la comparación de los mapas binarios obtenidos de la modelación de nicho ecológico para *A. hybridus*, se identificó los cambios potenciales en su distribución de acuerdo a las condiciones favorables que podría generar el cambio climático en el futuro. Esta comparación se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 22).

De acuerdo a los resultados obtenidos para la zona de Ecuador continental, se evidenció que hubo cambios en las condiciones favorables para la distribución de *Amaranthus hybridus* según los escenarios de cambio climático en el futuro. Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2050 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 28 km² y un rango de contracción de 5646 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, se encontró un rango de expansión de 325 km² y un rango de contracción de 8972 km² (Figura 22).

Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 14 km² y un rango de contracción de 6647 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 71 km² y un rango de contracción de 11377 km² (Figura 22).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la mayor expansión de *Amaranthus hybridus* ocurriría en el año 2050, bajo un escenario extremo (RCP 8.5), mientras que la mayor contracción ocurriría en el año 2070, bajo un escenario extremo (RCP 8.5) (Figura 22).

Amaranthus hybridus L.

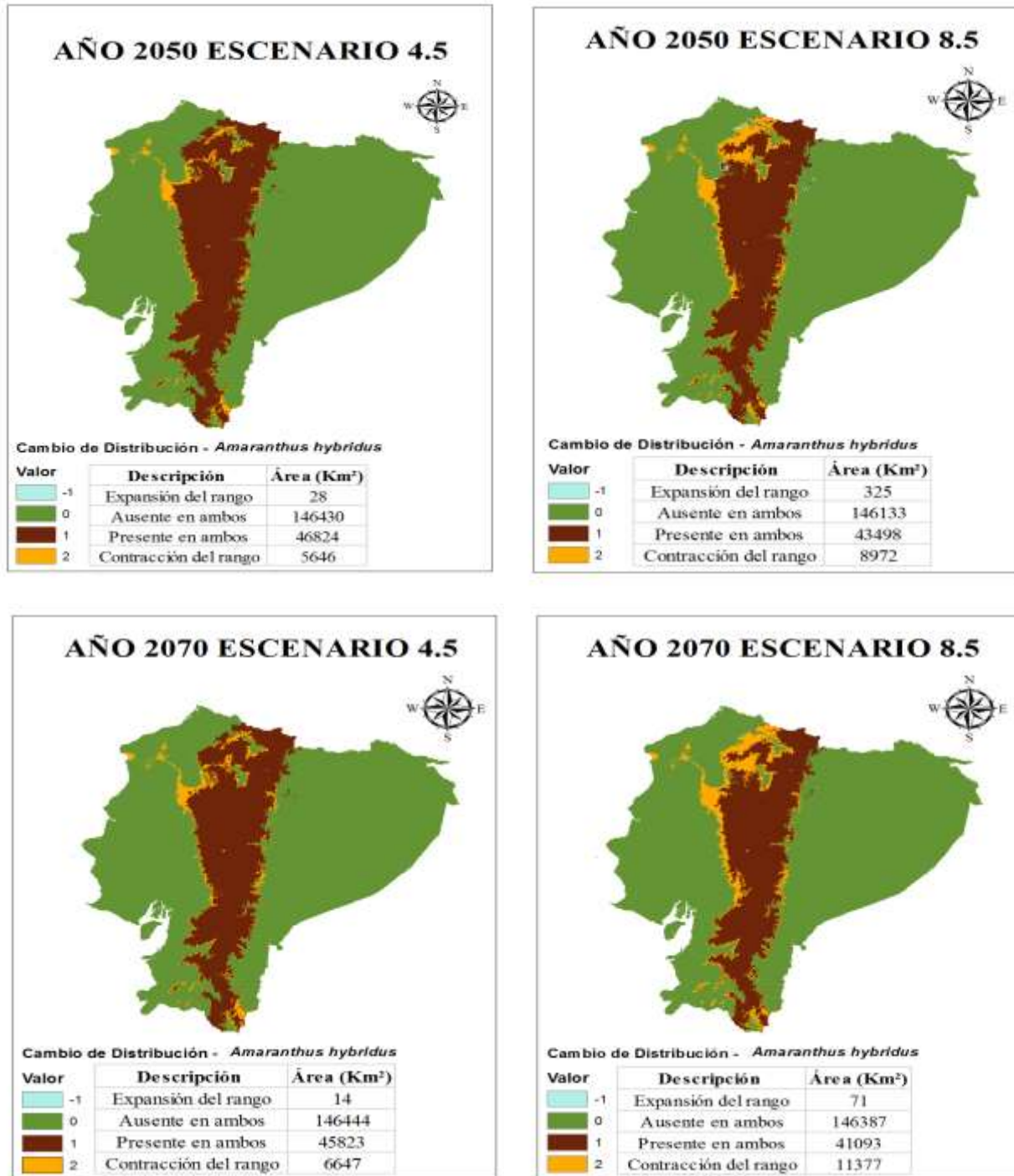


Figura 22. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para *Amaranthus hybridus* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

A través del análisis de la superposición de mapas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador con los mapas de comparación de *Amaranthus hybridus* se logró identificar la expansión y contracción dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental. Este análisis se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 23).

Los resultados obtenidos indican que no hubo cambios en la expansión y contracción de *Amaranthus hybridus*, ya que la expansión y contracción se mantienen en los cuatro escenarios climáticos futuros tanto para el año 2050 y 2070 (RCP 4.5) y (RCP 8.5) respectivamente, con un total de 23 km² de área de expansión y 764 km² de área de contracción (Figura 23).

Amaranthus hybridus L.

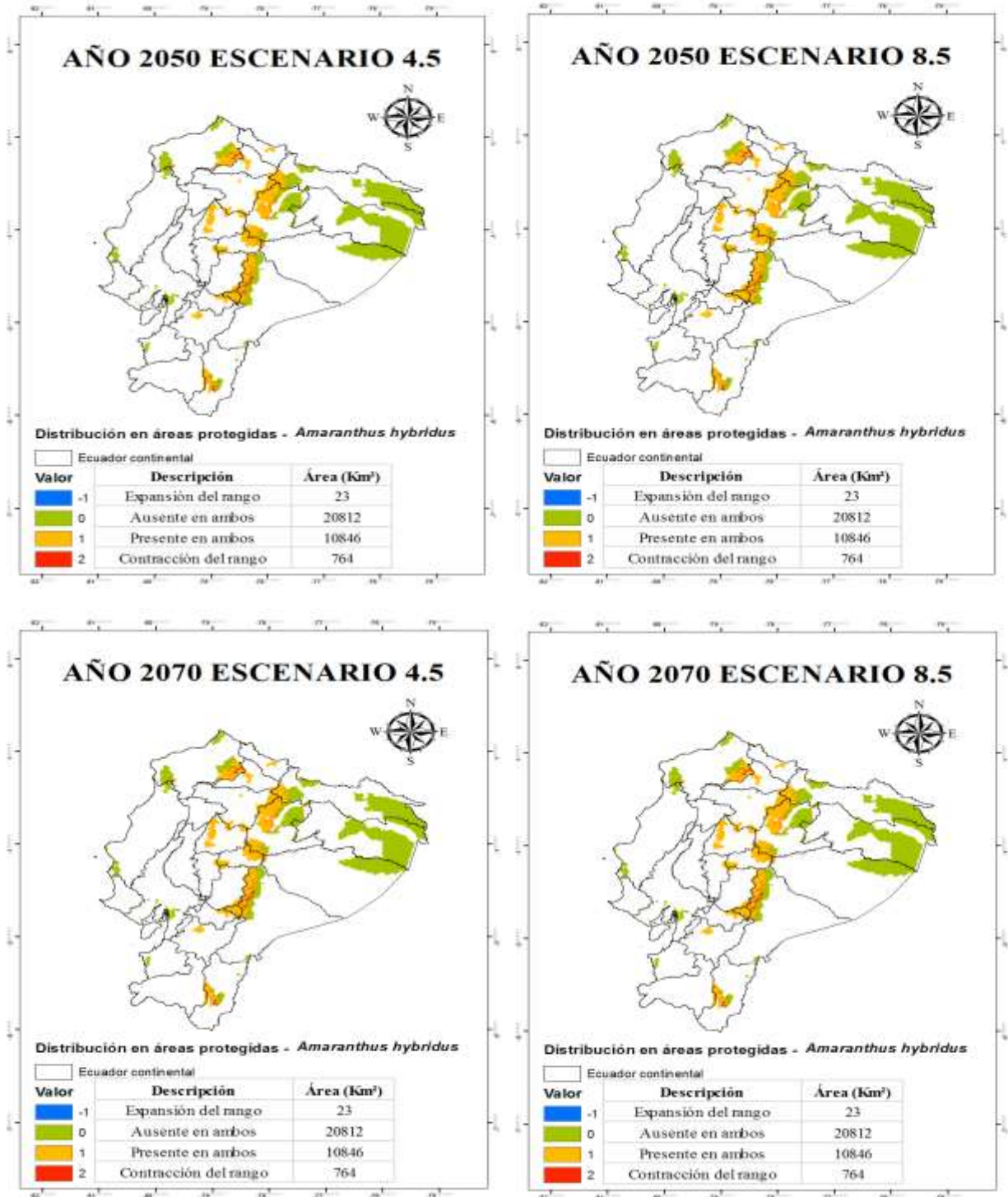


Figura 23. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para *Amaranthus hybridus* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

✓ *Aphis fabae* Scopoli

A través del análisis de la comparación de los mapas binarios obtenidos de la modelación de nicho ecológico para *Aphis fabae*, se identificó los cambios potenciales en su distribución de acuerdo a las condiciones favorables que podría generar el cambio climático en el futuro. Esta comparación se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 24).

De acuerdo a los resultados obtenidos para la zona de Ecuador continental, se evidenció que hubo cambios en las condiciones favorables para la distribución de *Aphis fabae* según los escenarios de cambio climático en el futuro. Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2050 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 119615 km² y un rango de contracción de 14902 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, el rango de expansión se mantiene en 119615 km² y el rango de contracción fue de 18596 km² (Figura 24).

Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 1 km² y un rango de contracción de 16646 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 119615 km² y un rango de contracción de 22991 km² (Figura 24).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la expansión de *Aphis fabae* se mantiene igual en tres escenarios climáticos futuros en el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y en el año 2070 (RCP 8.5), mientras que la mayor contracción ocurriría en el año 2070, bajo un escenario extremo (RCP 8.5) (Figura 24).

Aphis fabae Scopoli

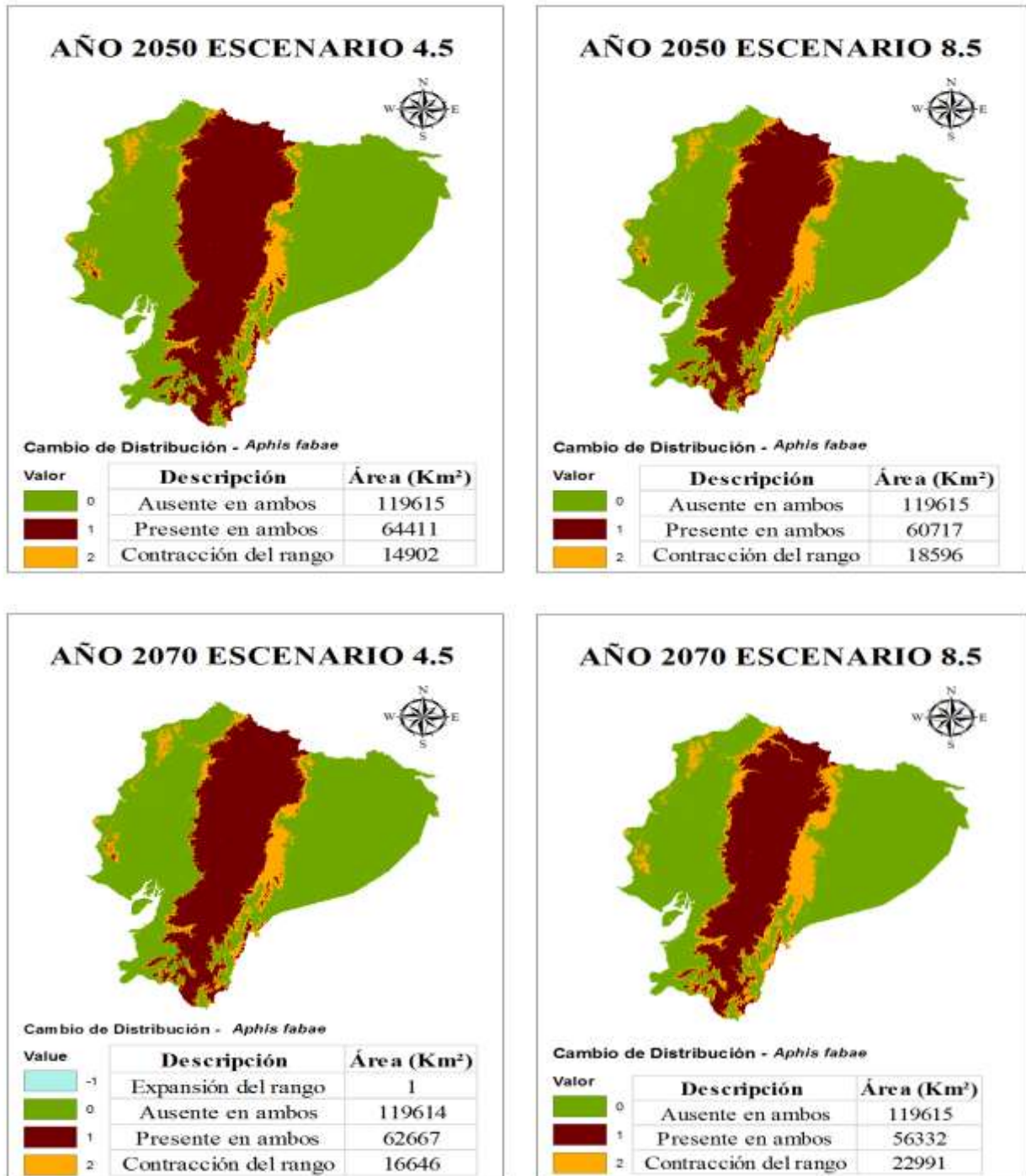


Figura 24. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para *Aphis fabae* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

A través del análisis de la superposición de mapas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador con los mapas de comparación de *Aphis fabae* se logró identificar la expansión y contracción dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental. Este análisis se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 25).

Los resultados obtenidos indican que hubo cambios en la expansión y contracción de *Aphis fabae* dentro de las áreas protegidas en los cuatro escenarios climáticos futuros. Para el año 2050 bajo escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 15034 km² y un rango de contracción de 1508 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, el rango de expansión se mantiene en 15034 km² y el rango de contracción fue de 2153 km² (Figura 25).

Para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 1 km² y un rango de contracción de 1723 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 15034 km² y un rango de contracción de 3232 km² (Figura 25).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la expansión de *Aphis fabae* se mantiene igual en tres escenarios climáticos futuros en el año 2050 (RCP 4.5 y RCP 8.5) y en el año 2070 (RCP 8.5), mientras que la mayor contracción ocurriría en el año 2070, bajo un escenario extremo (RCP 8.5) (Figura 25).

Aphis fabae Scopoli

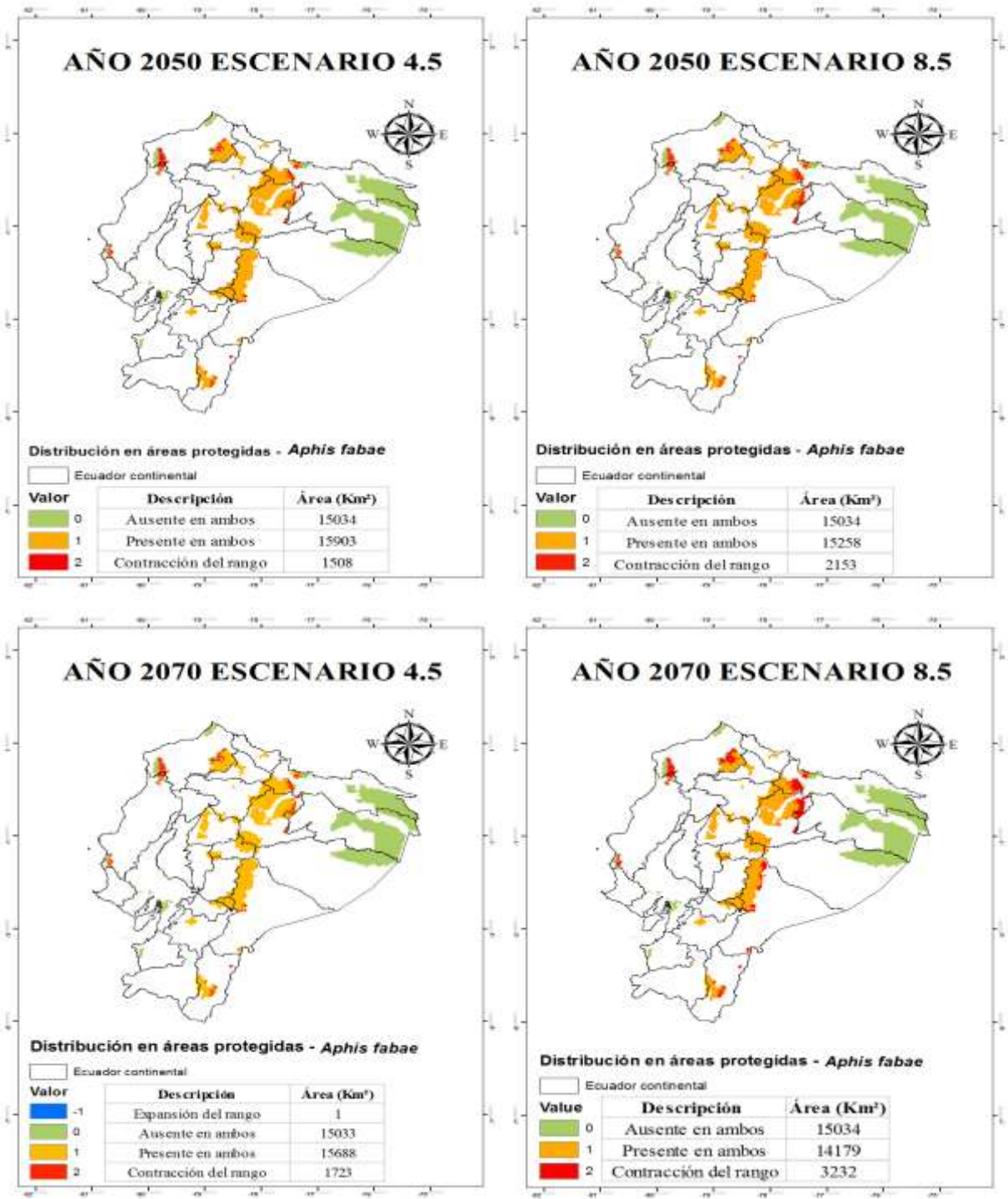


Figura 25. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para *Aphis fabae* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

✓ *Asclepias curassavica* L.

A través del análisis de la comparación de los mapas binarios obtenidos de la modelación de nicho ecológico para *A. curassavica*, se identificó los cambios potenciales en su distribución de acuerdo a las condiciones favorables que podría generar el cambio climático en el futuro. Esta comparación se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 26).

De acuerdo a los resultados obtenidos para la zona de Ecuador continental, se evidenció que hubo cambios en las condiciones favorables para la distribución de *Asclepias curassavica* según los escenarios de cambio climático en el futuro. Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2050 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 4309 km² y un rango de contracción de 25195 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, el rango de expansión fue de 5264 km² y el rango de contracción de 29069 km² (Figura 26).

Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 5004 km² y un rango de contracción de 27764 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 6667 km² y un rango de contracción de 34568 km² (Figura 26).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la mayor expansión y contracción de la distribución de *Asclepias curassavica* ocurriría en el año 2070 bajo un escenario extremo (RCP 8.5) (Figura 26).

Asclepias curassavica L.

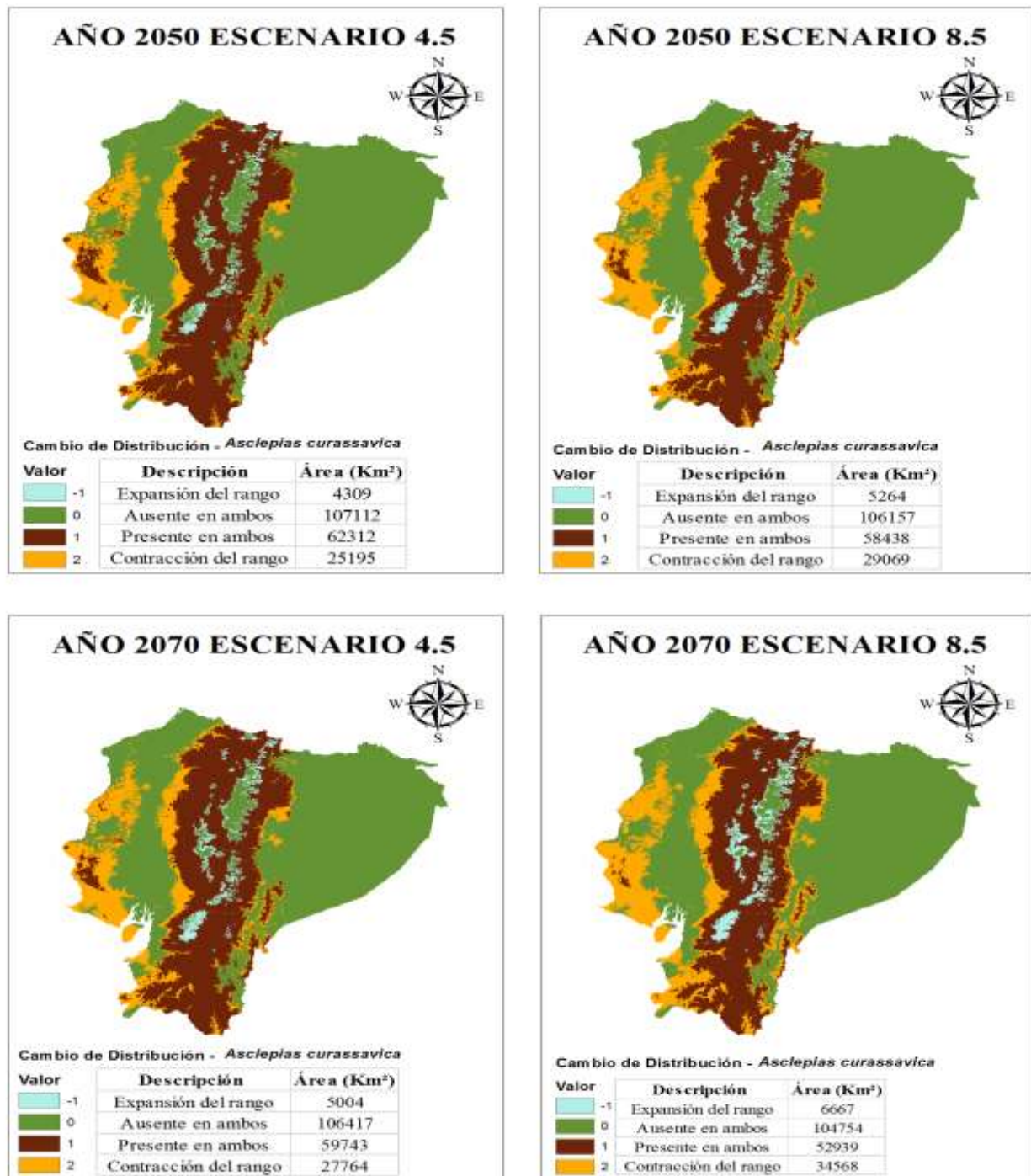


Figura 26. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para *Asclepias curassavica* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

A través del análisis de la superposición de mapas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador con los mapas de comparación de *Asclepias curassavica* se logró identificar la expansión y contracción dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental. Este análisis se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 27).

Los resultados obtenidos indican que hubo cambios en la expansión y contracción de *Asclepias curassavica* dentro de las áreas protegidas en los cuatro escenarios climáticos futuros. Para el año 2050 bajo escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 1560 km² y un rango de contracción de 1107 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, el rango de expansión fue de 1953 km² y el rango de contracción de 1473 km² (Figura 27).

Para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 1894 km² y un rango de contracción de 1293 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 2573 km² y un rango de contracción de 2186 km² (Figura 27).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la mayor expansión y contracción de la distribución de *Asclepias curassavica* ocurriría en el año 2070, bajo un escenario extremo (RCP 8.5) (Figura 27).

Asclepias curassavica L.

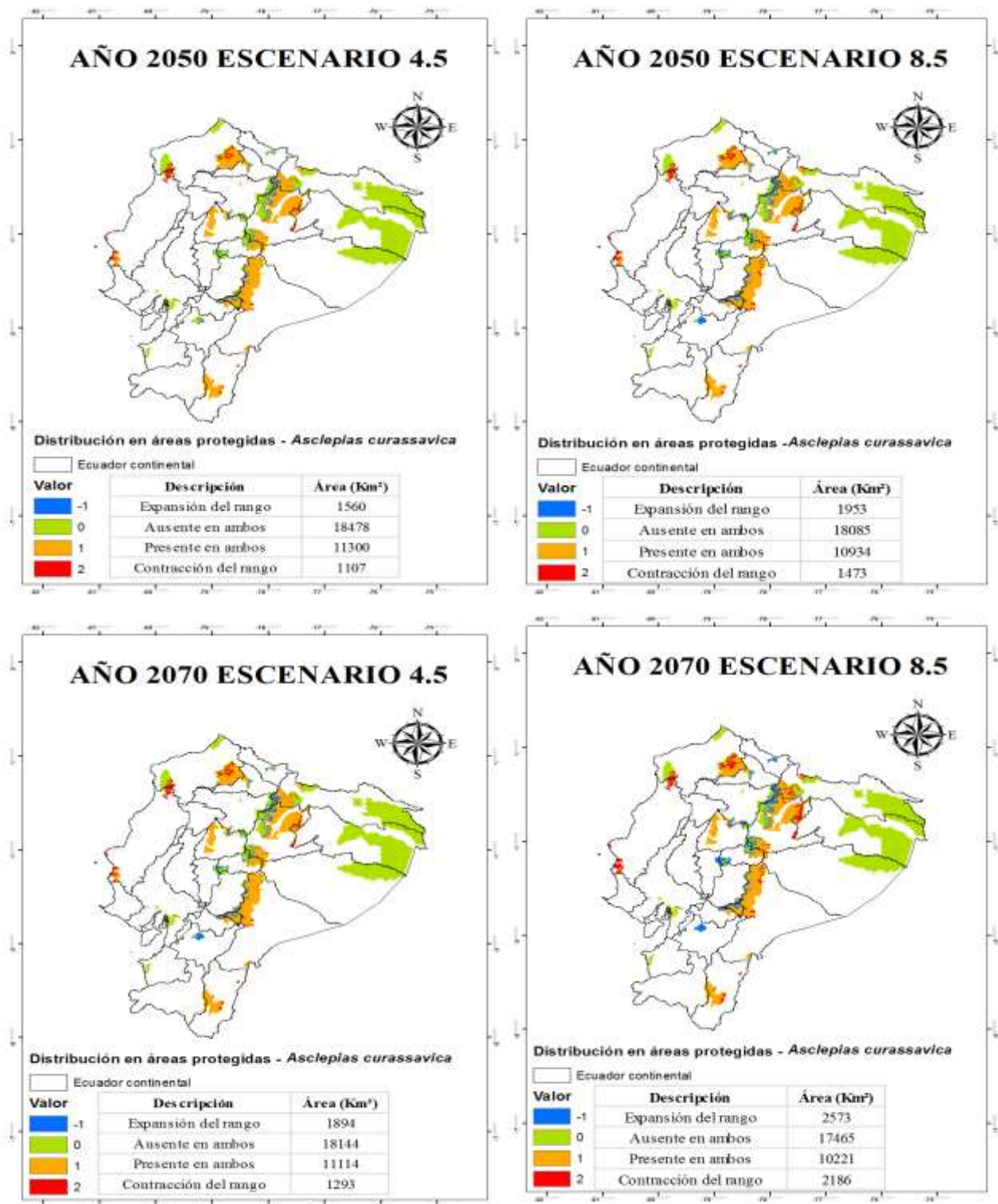


Figura 27. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para *Asclepias curassavica* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

✓ ***Conium maculatum* L.**

A través del análisis de la comparación de los mapas binarios obtenidos de la modelación de nicho ecológico para *Conium maculatum*, se identificó los cambios potenciales en su distribución de acuerdo a las condiciones favorables que podría generar el cambio climático en el futuro. Esta comparación se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 28).

De acuerdo a los resultados obtenidos para la zona de Ecuador continental, se evidenció que hubo cambios en las condiciones favorables para la distribución de *Conium maculatum* según los escenarios de cambio climático en el futuro. Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2050 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 2546 km² y un rango de contracción de 4831 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, el rango de expansión fue de 4136 km² y el rango de contracción de 5355 km² (Figura 28).

Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 2688 km² y un rango de contracción de 5699 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 5552 km² y un rango de contracción de 34568 km² (Figura 28).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la mayor expansión y contracción de la distribución de *Conium maculatum* ocurriría en el año 2070 bajo un escenario extremo (RCP 8.5) (Figura 28).

Conium maculatum L.

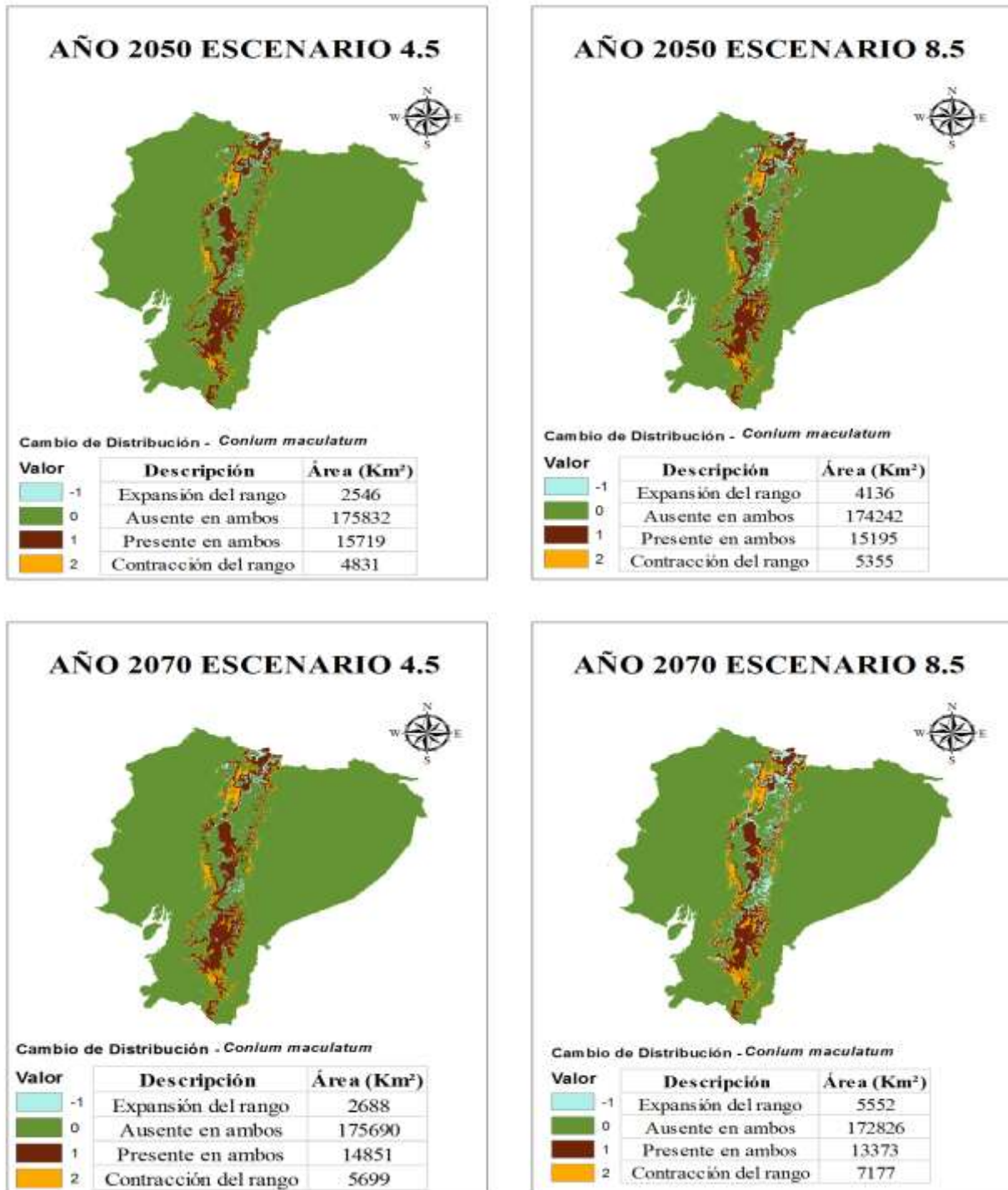


Figura 28. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para *Conium maculatum* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

A través del análisis de la superposición de mapas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador con los mapas de comparación de *Conium maculatum*, se logró identificar la expansión y contracción dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental. Este análisis se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 29).

Los resultados obtenidos indican que hubo cambios en la expansión y contracción de *Conium maculatum* dentro de las áreas protegidas en los cuatro escenarios climáticos futuros. Para el año 2050 bajo escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 476 km² y un rango de contracción de 836 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, el rango de expansión fue de 1231 km² y el rango de contracción de 826 km² (Figura 29).

Para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 534 km² y un rango de contracción de 996 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 1725 km² y un rango de contracción de 1136 km² (Figura 29).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la mayor expansión y contracción de la distribución de *Conium maculatum* ocurriría en el año 2070, bajo un escenario extremo (RCP 8.5) (Figura 29).

Conium maculatum L.

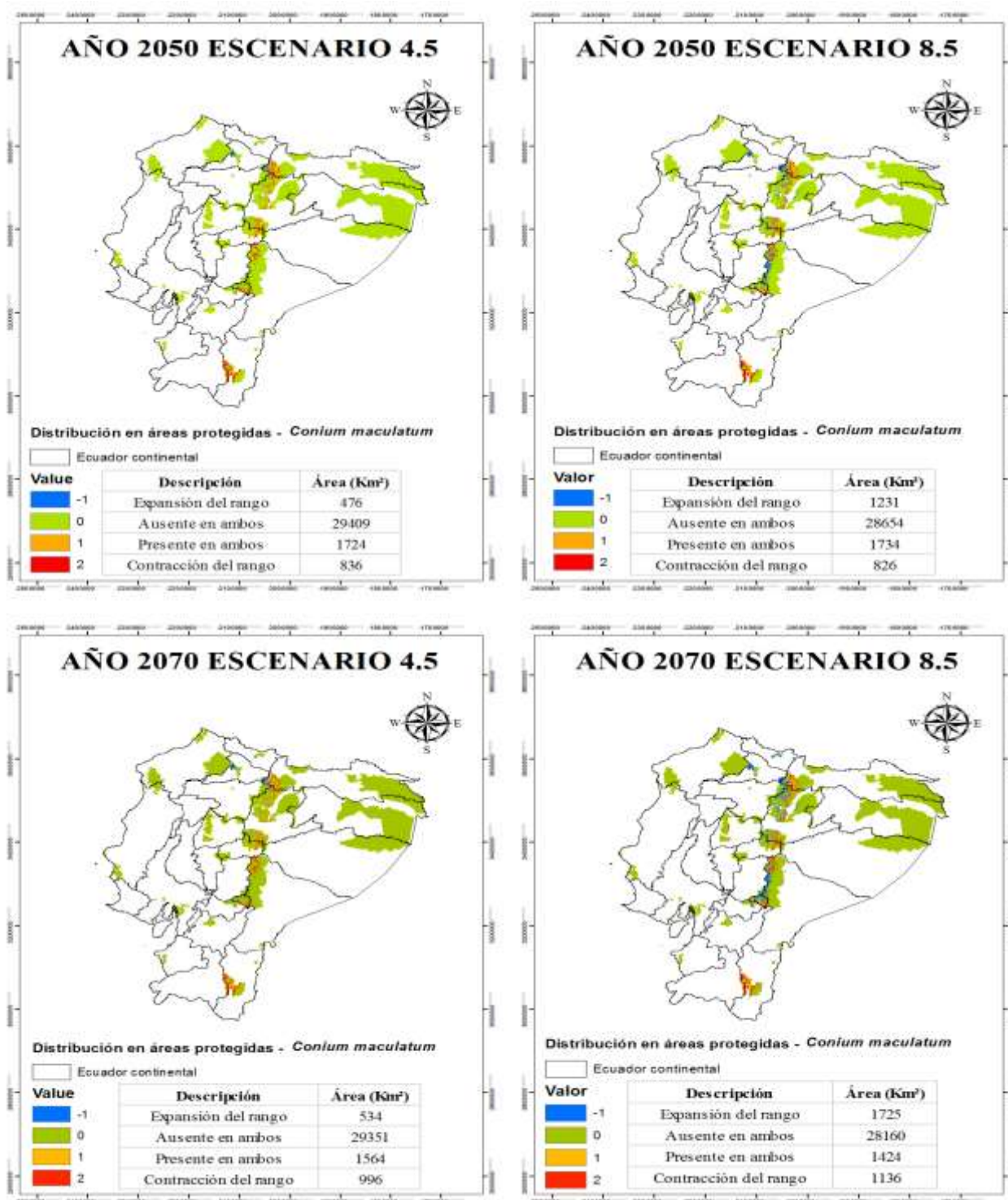


Figura 29. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para *Conium maculatum* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

✓ ***Wasmannia rochai* Forel.**

A través del análisis de la comparación de los mapas binarios obtenidos de la modelación de nicho ecológico para *Wasmannia rochai*, se identificó los cambios potenciales en su distribución de acuerdo a las condiciones favorables que podría generar el cambio climático en el futuro. Esta comparación se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 30).

De acuerdo a los resultados obtenidos para la zona de Ecuador continental, se evidenció que hubo cambios en las condiciones favorables para la distribución de *Wasmannia rochai* según los escenarios de cambio climático en el futuro. Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2050 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 3215 km² y un rango de contracción de 6774 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, el rango de expansión fue de 2691 km² y el rango de contracción de 16179 km² (Figura 30).

Entre el escenario actual (presente) y futuro para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 4210 km² y un rango de contracción de 7041 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 3512 km² y un rango de contracción de 15369 km² (Figura 30).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la mayor expansión y contracción de la distribución de *Wasmannia rochai* ocurriría en el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) (Figura 30).

Wasmannia rochai Forel.

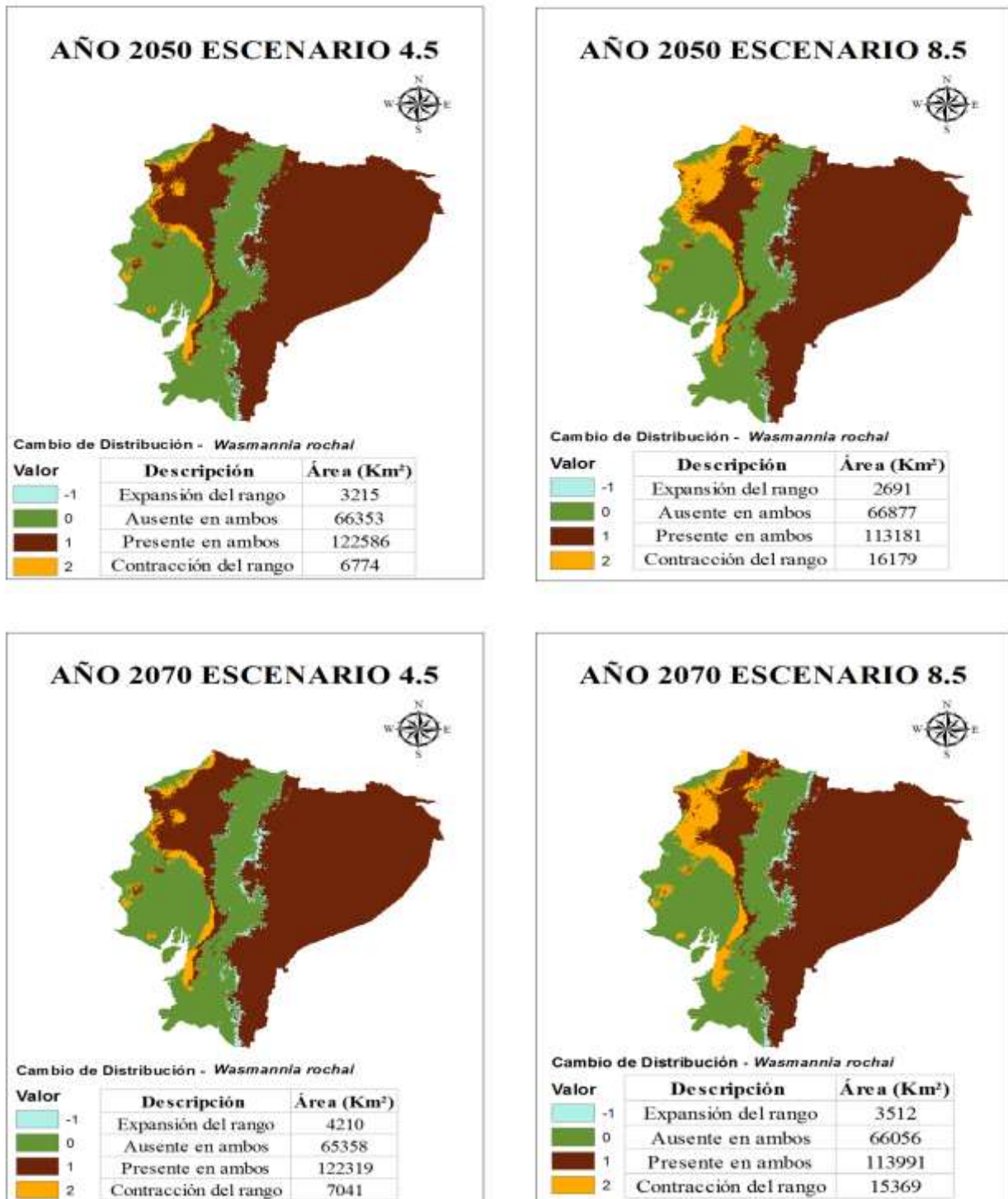


Figura 30. Cambios en la distribución de condiciones favorables en Ecuador continental para *Wasmannia rochai* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

A través del análisis de la superposición de mapas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador con los mapas de comparación de *Wasmannia rochai*, se logró identificar la expansión y contracción dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental. Este análisis se realizó tomando en consideración los siguientes rangos: expansión (-1), contracción del rango (2), no cambio o presencia en ambos, es decir, tanto en el presente como en el futuro (1) y no ocupación o ausencia en ambos (0) (Figura 31).

Los resultados obtenidos indican que hubo cambios en la expansión y contracción de *Wasmannia rochai* dentro de las áreas protegidas en los cuatro escenarios climáticos futuros. Para el año 2050 bajo escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 692 km² y un rango de contracción de 480 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2050, el rango de expansión fue de 778 km² y el rango de contracción de 1787 km² (Figura 31).

Para el año 2070 bajo un escenario moderado (RCP 4.5) se identificó un rango de expansión de 951 km² y un rango de contracción de 420 km². Mientras que para el escenario extremo (RCP 8.5) del año 2070, se encontró un rango de expansión de 984 km² y un rango de contracción de 1636 km² (Figura 31).

Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que la mayor expansión y contracción de la distribución de *Wasmannia rochai* ocurriría en el año 2070, bajo un escenario extremo (RCP 8.5) (Figura 31).

Wasmannia rochai Forel.

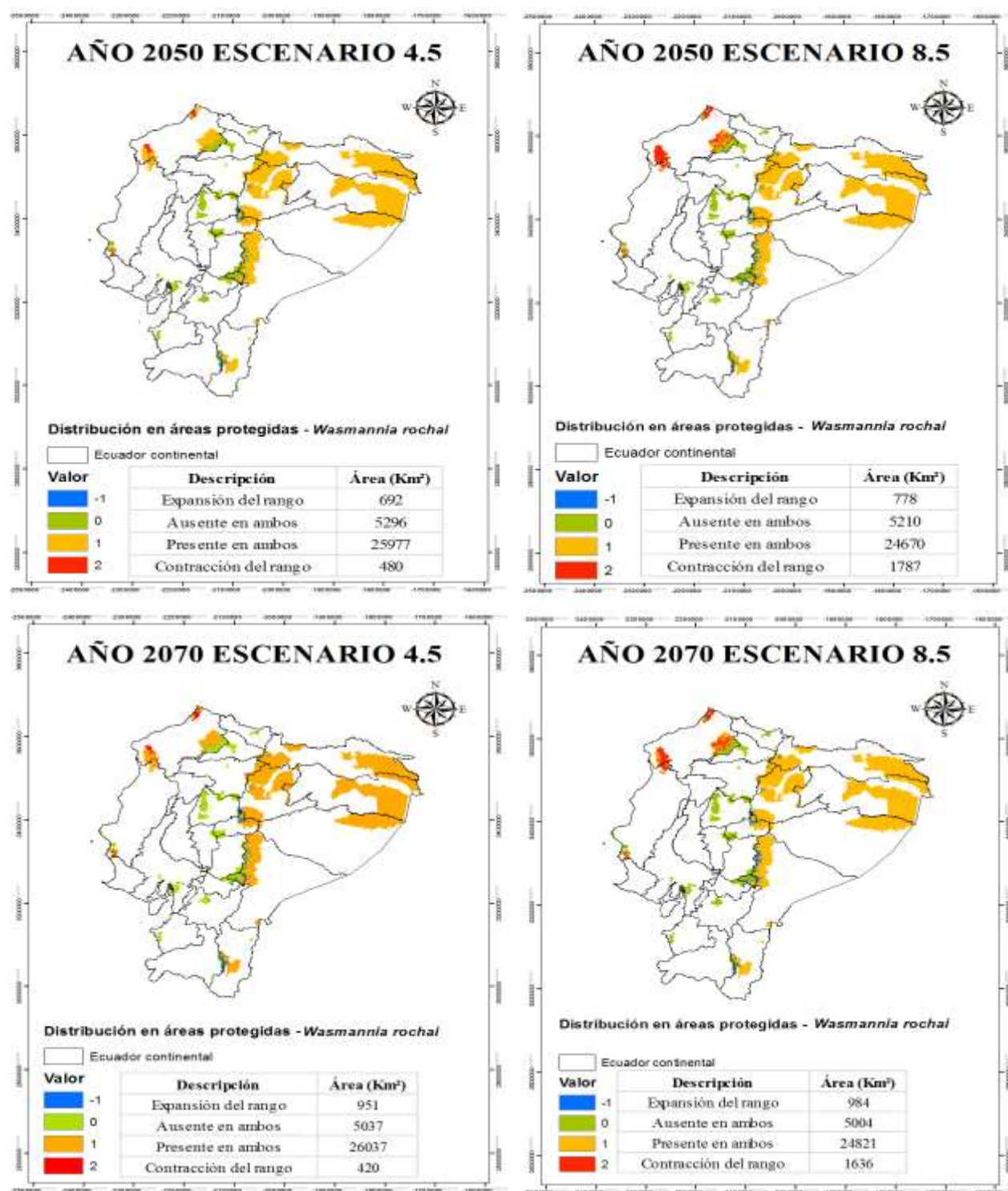


Figura 31. Cambios en la distribución de condiciones favorables dentro de las áreas protegidas de Ecuador continental para *Wasmannia rochai* ante escenarios de cambio climático cauteloso (RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070.

4.2. Discusión

Las especies exóticas invasoras constituyen una gran amenaza para la conservación de los ecosistemas naturales de nuestro país, pues al ser una zona que alberga una gran cantidad de biodiversidad lo constituye en el lugar idóneo para que las especies exóticas busquen refugios para su supervivencia ante escenarios de cambio climático. Por su parte, las áreas protegidas (AP) están destinadas a proporcionar a la biodiversidad y los hábitats nativos un refugio contra los impactos del cambio global, actuando particularmente como filtros naturales contra las invasiones biológicas. Sin embargo se desconoce cuán efectivas serán las AP para proteger a las especies nativas de las invasiones bajo el cambio climático proyectado (7).

Con un gran nivel de certeza se puede afirmar que el cambio climático podrá alterar la estructura y composición de las comunidades nativas y como consecuencia, el funcionamiento de los ecosistemas, actuando como un régimen de perturbación que acrecentará el riesgo de invasiones biológicas. Si por un lado algunas especies exóticas e invasoras podrán sucumbir bajo los efectos del cambio climático, otras podrán volverse capaces de sobrevivir y colonizar zonas donde actualmente no pueden sobrevivir debido a las limitaciones impuestas por el clima. Así mismo, especies exóticas establecidas podrán volverse invasoras si el cambio climático incrementa su capacidad competitiva o su tasa de propagación (supresión del tiempo de latencia) mientras que otras ya invasoras podrán expandir su área de distribución (38).

Estudios previos realizados sobre la distribución de *A. hybridus*, señalan que esta especie se encuentra presente en regiones tropicales y subtropicales (63). Lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, en el cual se identificó la distribución potencial de esta especie en la región andina, la cual presenta climas templados, tropicales y subtropicales. Para *Conium maculatum* se han encontrado estudios que revelan que presenta buena adaptabilidad a una gran variedad de climas, además es muy común encontrarlas en bordes de caminos, ríos, cunetas, huertas abandonadas, y alturas que llegan hasta los 1400 msnm, por lo que su distribución potencial de acuerdo a los resultados obtenidos, se presentaría en la región Sierra (67). Según estudios realizados para *A. curassavica*, esta especie prospera de manera abundante en áreas perturbadas, como vegetación arvense y/o ruderal, sobre suelos húmedos. De acuerdo a los resultados las zonas con el mayor riesgo de invasión es la región Sierra y Costa, además, esta planta presenta propiedades tóxicas para animales y peces, por lo

que su presencia en actividades agrícolas sería muy dañina. Esto es de gran importancia ya que los resultados demuestran que esta especie se adapta con facilidad en áreas donde se realizan diversas clases de cultivos (68).

Wasmannia rochai Forel por lo general se encuentra en hábitats húmedos o secos y en zonas costeras, algunos estudios han registrado su presencia en plantaciones de cacao. En Ecuador continental, su distribución potencial puede localizarse en la región Costa y en la región Amazónica (69). Para *Aphis fabae*, se han encontrado resultados en los que se evidencia que esta especie se adapta a temperaturas entre 12 y 35°C, y afecta a cultivos herbáceos (alcachofa, zanahoria, patata, etc.) (70), lo cual explica su distribución potencial en la región andina, misma que se encuentra a una temperatura promedio de 12 a 20°C.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la región Andina y la región Amazónica son las zonas que presentan mayor riesgo de invasión, debido a que presenta un clima que oscila entre los 12 y 40 °C, además de que la región amazónica cuenta con su bosque tropical lluvioso que contiene los ecosistemas más ricos y complejos del mundo, lo que hace idónea la presencia de las especies exóticas invasoras abordadas en el presente trabajo de investigación.

En Ecuador continental, los cambios en la distribución geográfica potencial de las especies estudiadas demostraron variaciones ante los escenarios climáticos futuros en los diferentes rangos: sin ocupación, expansión, sin cambios y contracción de rango; confirmando que a consecuencia del cambio climático unas especies incrementarán y otras disminuirán su área de ocupación (71). En escenarios extremos (RCP 8.5), las especies como *Amaranthus hybridus*, *Asclepias curassavica* y *Conium maculatum* expandieron su distribución hacia zonas con mejores condiciones para su supervivencia, así lo confirman estudios realizados en los que demuestra que el cambio climático futuro provocará profundos cambios en la distribución de muchas especies (3). En cuanto a las áreas protegidas, las especies que presentaron expansiones en escenarios extremos de cambio climático (RCP 8.5) fueron: *Asclepias curassavica*, *Conium maculatum* y *Wasmannia rochai*, confirmando de esta manera que a medida que el cambio climático incrementa, también aumentará la tasa de propagación de las especies exóticas en la mayoría de los casos (38), expandiendo su área de distribución hacia lugares con condiciones idóneas para sobrevivir como son las áreas protegidas.

Estudios previos señalan que las áreas protegidas desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la comunidad de especies que viven en climas tropicales, fríos y húmedos (50), lo cual explicaría que la mayor expansión en la distribución de las especies exóticas invasoras ocurriría en las áreas protegidas de la región Andina y Amazónica de Ecuador continental. Dicha expansión sumada a los efectos que ocasionaría el cambio climático en el futuro puede traer severos problemas para la conservación de especies endémicas, así lo confirman estudios realizados en los que confirman que el cambio climático no solo podría sacar a las especies endémicas de los límites de las áreas protegidas sino que también podría facilitar la colonización por especies invasoras aumentando así la presión sobre las poblaciones nativas (31). Sin embargo, en otros estudios se encontró que las áreas protegidas ofrecen un grado de protección de solo el 29% para las especies exóticas invasoras (72).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se determinó que la mayor expansión de las EEI en las áreas protegidas de Ecuador continental ocurriría en el año 2070 en escenarios extremos de cambio climático (RCP 8.5), esto puede deberse a que a medida que aumenta la temperatura, se prevé que las especies se desplacen a un ritmo mucho más rápido de lo que se había previsto anteriormente (31), lo que puede comprometer gravemente la conservación de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas. Además, el aumento de las áreas climáticamente adecuadas para las EEI en el futuro facilitará su mayor propagación, misma que ya ha causado impactos negativos en los medios de vida, la economía y la biodiversidad (73). Teniendo en cuenta la historia de invasión de las especies investigadas, sus características biológicas y la dispersión relacionada por efectos de las actividades humanas, las proyecciones realizadas en este trabajo indican un aumento preocupante de la intensidad de la invasión en las áreas protegidas de Ecuador continental.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ De acuerdo a la información recolectada y posterior análisis respecto a la situación actual de las áreas protegidas sobre invasiones biológicas, se determinó que gran parte de estas (APs) cuentan con mecanismos para la detección y control de EEI dentro las áreas protegidas, mientras se prevé que otras podrían ser más susceptibles a la invasión puesto que dentro de sus estrategias para combatir a las EEI, no cuentan con parámetros que son de gran utilidad para contrarrestar esta problemática. Entre las áreas protegidas que cuentan con esta clase de parámetros se identificó a los parques nacionales, reservas ecológicas, reserva biológica y refugios de vida silvestre.
- ✓ Según el modelo de nicho ecológico las predicciones arrojadas determinaron que *Amaranthus hybridus* L, *Aphis fabae* Scopoli, *Asclepias curassavica* L y *Conium maculatum* L., se distribuirán potencialmente en la región andina de Ecuador continental, mientras que *Wasmannia rochai* Forel, se distribuirá de manera potencial en las provincias de la región amazónica.
- ✓ En escenarios de cambio climático la mayor expansión en cuanto a la distribución de las especies estudiadas en zonas con condiciones adecuadas para su supervivencia en Ecuador continental se encuentran: *Asclepias curassavica* L, *Conium maculatum* L. y *Wasmannia rochai* Forel, pues se prevé que en escenarios de cambio climático extremo (RCP 8.5) estas especies expandan su distribución hacia lugares con condiciones adecuadas para poder subsistir. Dentro de las áreas protegidas la situación es similar, siendo en el escenario extremo (RCP 8.5) en el que se presentan la mayor expansión de las especies.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Informar los resultados obtenidos al Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), con la finalidad de que puedan elaborar mecanismos de prevención, control y erradicación de especies exóticas invasoras dentro de las áreas protegidas, a fin de preservar y conservar las especies endémicas de estos lugares.
- ✓ Incentivar a que los investigadores trabajen en este tipo de proyectos, con el fin de lograr identificar la mayor cantidad de presencia de especies exóticas invasoras en todo el país, pues la mayor parte de estudios realizados se centran en las Islas Galápagos.
- ✓ Generar medidas de conservación para las zonas que presentaron mayor riesgo de expansión de distribución de las especies exóticas invasoras estudiadas en el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. Referencias bibliográficas

1. IPCC. Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de Trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. In Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, et al., editors. Organización Meteorológica Mundial; 2014; Ginebra, Suiza. p. 34.
2. Quesada-Quirós M, Acosta-Vargas LG, Arias-Aguilar D, Rodríguez-González A. Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 2017; 14(34): p. 1-12.
3. Bezaury-Creel JE. Las áreas Naturales Protegidas costeras y marinas de México ante el cambio climático. 2010;; p. 689-736.
4. Gutiérrez E, Trejo I. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 2014; 85(1).
5. 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*. 2012.
6. Ministerio del Medio Ambiente. Plan de adaptación al cambio climático en biodiversidad. Chile;; 2014.
7. Gallardo B. Las especies invasoras amenazan los Parques Nacionales con ayuda del cambio climático. *The Conversation*. 2018.
8. Schüttler E, Santiago Karez C. Especies exóticas invasoras en las Reservas de biosfera de América Latina y el Caribe. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas. Montevideo;; 2008.

9. CDC-Ecuador. Digitalización de datos de especies invasoras del Ecuador a Nivel Nacional y Regional. Ecuador;; 2008.
10. Yáñez M P. Las áreas naturales protegidas del Ecuador: características y problemática general. *Qualitas*. 2016; 11: p. 41-55.
11. Uribe Botero E. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Naciones Unidas, Santiago;; 2015.
12. Castro- Díez P, Valladares F, Alonso A. La creciente amenaza de las invasiones biológicas. *Ecosistemas*. 2004;; p. 61-68.
13. INABIO. Agenda Nacional de Investigación sobre la Biodiversidad. Quito;; 2017.
14. Díaz G. El cambio climático. *Ciencia y sociedad*. 2012 abril-junio; XXXVII(2): p. 227-240.
15. Molina M, Sarukhán J, Carabias J. El cambio climático: Causas, efectos y soluciones México: Fondo de Cultura Económica; 2017.
16. Velázquez de Castro González F. Cambio climático y Protocolo de Kioto. *Ciencia y estrategias. Compromisos para España. Revista Española de Salud Pública*. 2005; 79(2): p. 191-201.
17. Uribe, Botero E. El Cambio Climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Naciones Unidas, Santiago;; 2015.
18. Bañón Díaz R. Introducción al estudio de las especies exóticas marinas en Galicia. *Revista Galega dos Recursos Mariños*. 2012;; p. 1-67.
19. Dudley N. Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. Gland, Suiza: UICN; 2008.
20. Cabello J, Valenzuela A, Anderson C. Avance en el proceso de la invasión biológica del peludo *Chaetophractus villosus* (Dasypodidae) en la Isla Grande de Tierra del Fuego: un nuevo desafío binacional. *Anales Instituto Patagonia*. 2017; 45(2): p. 109-115.

21. Pyšek , Hulme E, Simberloff D, Bacher S, Blackburn TM, Carlton JT, et al. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*. 2020; 95(6): p. 1511-1534.
22. Hernández FJ, Navarro Mata CB, Peña Montañez R, Nájera Luna A. Patrón de distribución espacial de las especies arbóreas de la región de El Salto, Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 2018; 9(47).
23. Vilches A, Legarralde T, Darrigran G. El conocimiento de los estudiantes del profesorado en ciencias biológicas sobre "especie exótica" y "bioinvasiones" en Argentina. *Revista Colombiana de Educación*. 2014; 7(12): p. 11-18.
24. Capdevila L, Iglesias Á, Orueta J, Zilletti B. Especies exóticas invasoras: diagnóstico y bases para la prevención y el manejo Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales MInisterio de Medio Ambiente; 2006.
25. Pérez Manrique T, Bautista Moreno NA, Forero Lozano PA, García Marulanda M, Laverde Rodríguez MA, Álvarez GH. Relaciones entre conducta y evolución cultural - construcción de nicho. *Psychologia. Avances de la Disciplina*. 2010; 4(2).
26. Cruz A, Camargo B. Glosario de términos en parasitología y ciencias afines México: Programa Universitario de Investigación en Salud; 2000.
27. Leal-Nares Ó, Mendoza M, Pérez-Salicrup D, Geneletti D, López-Granados E, Carranza E. Distrinución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista mexicana de biodiversidad*. 2012; 83(4).
28. Ibarra-Montoya JL, Rangel-Peraza G, González-Farias FA, De Anda J, Martínez-Meyer E, Macias-Cuellar H. Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Ambi-Agua*. 2012; 7(1): p. 218-234.
29. Soberón J, Osorio-Olvera L, Peterson T. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 2017 Junio; 88(2): p. 437-441.

30. Gómez Piñeiro FJ. Los Sistemas de Información Geográfica. Su importancia y su utilidad en los estudios medioambientales. 1992;; p. 1-12.
31. Gallardo B, Aldridge DC, González-Moreno P, Pergl J, Pizarro M, Pysek P, et al. Protected areas offer refuge from invasive species spreading under climate change. *Global Change Biology*. 2017;; p. 1-13.
32. Monzón J, Moyer-Horner L, Baron Palamar M. Climate Change and Species Range Dynamics in Protected Areas. *BioScience*. 2011; 61(10): p. 752-761.
33. Crego RD, Jiménez JE, Rozzi R. Expansión de la invasión del Visón Norteamericano (Neovison vison) en la Reserva de la Biosfera de Cabo de Hornos, Chile. *Anales Instituto Patagonia*. 2015; 43(1).
34. Testé Lozano E, González-Oliva L, Marquez Cuétara A, González-Torres LR. Susceptibilidad de las áreas protegidas cubanas a la invasión por *Rhus succedanea* (Anacardiaceae). *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*. 2015; 4(2): p. 49-56.
35. Lizarralde M. Especies exóticas invasoras (EEI) en Argentina: categorización de mamíferos invasores y alternativas de manejo. *Mastozoología Neotropical*. 2016; 23(2): p. 267-277.
36. Castillo SP. Introducción intencional de fauna exótica y futuros invasores: ¿Seguimos tropezando con la misma piedra una y otra vez? *Bosque*. 2016; 37(2): p. 237-241.
37. Masciadri S, Brugnoli E, Muniz P. La base de datos de Especies Exóticas e Invasoras (EEI) en Uruguay-InBUy: una herramienta útil para enfrentar esta amenaza sobre la biodiversidad. *Biota Neotropica*. 2010; 10(4): p. 205-213.
38. Capdevila-Argüelles L, Zilletti B, Suárez Álvarez VÁ. Cambio climático y especies exóticas invasoras en España. Diagnóstico preliminar y bases de conocimiento sobre impacto y vulnerabilidad. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; 2011.

39. Araújo MB, Thuiller W, Pearson RG. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*. 2006; 33(10).
40. Hickling R, Roy DB, Hill JK, Fox R, Thomas CD. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology*. 2006; 12(3).
41. Arce-Romero AR, Monterroso-Rivas AI, Gómez-Díaz JD, Cruz-León A. Ciruelas mexicanas (*Spondias* spp.): su aptitud actual y potencial con escenarios de cambio climático para México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 2017; 23(1): p. 5-19.
42. González Corredor JD. El pez león *Pterois volitans* (Scorpaenidae) como estudio de caso de invasiones biológicas marinas: aspectos biológicos y ecológicos en el Caribe occidental insular colombiano. Tesis doctoral. Santa Martha, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Caribe, Centro de Estudios en Ciencias del Mar - CECIMAR; 2014.
43. Gutiérrez Hernández O, García LV. La dimensión geográfica de las invasiones biológicas en el Antropoceno: el caso de *Xylella fastidiosa*. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 2019; 80.
44. Souza-Alonso P, Lorenzo P, Rubido-Bará M, González L. Del sótano a la Azotea: Impacto de la Invasora *A. dealbata* Link. sobre diferentes ecosistemas. La Laguna: XIII Congreso de la Sociedad Española de Malherbología; 2011.
45. Andreu J, Vilá M, Hulme PE. An Assessment of Stakeholder Perceptions and Management of Noxious Alien Plants in Spain. *Environmental Management*. 2009; 43.
46. Loza-Del Carpio A, Clavitea J, Delgado P. Incidencia de aves granívoras y su importancia como plagas en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el altiplano Peruano. *Bioagro*. 2016; 28(3).
47. Vidal Hernández L, López Moctezuma H, Vidal Martínez NA, Ruiz Bello R, Castillo Rocha DG, Chiquito Contreras RG. La situación de las annonaceae en México: principales plagas, enfermedades y su control. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2014; 36.

48. Manzanilla Quiñones U, Delgado Valerio P, Hernández Ramos J, Molina Sánchez A, García Magaña JJ, Rocha Granados MdC. Similaridad del nicho ecológico de *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* (Pinaceae) en México: implicaciones para la selección de áreas productoras de semillas y de conservación. *Acta Botánica Mexicana*. 2019;(126).
49. Flores-Tolentino M, Ortiz E, Villaseñor JL. Modelos de nicho ecológico como herramienta para estimar la distribución de comunidades vegetales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 2019; 90.
50. Santangeli A, Rajasarkka A, Lehtikainen A. Effects of high latitude protected areas on bird communities under rapid climate change. *Global Change Biology*. 2017;; p. 2241-2249.
51. Yáñez-Cajo DJ, Vaca ME, Lobo D. Aplicación del modelamiento de distribución de *Bradypus variegatus*, para la conservación de nicho ecológico. *Boletín Técnico 12*. Sangolquí- Ecuador;; 2015.
52. Herrera I, Ordoñez L, Cruz C, Freire E, Rizzo K. Malezas y Plantas Exóticas en las Cercanías de una Ciclo-vía en un Área Protegida y Sitio Ramsar (Isla Santay) en la Costa de Ecuador. Universidad Espíritu Santo. 2018;; p. 17-28.
53. Correoso Rodríguez M. Estrategia preliminar para evaluar y erradicar *Achatina fulica* (Gastropoda: Achatinaceae) en Ecuador. *Boletín Técnico 6, Serie Zoológica*. Sangolquí, Ecuador;; 2006.
54. Brito J, Ojala-Barbour OB. Presencia de la rata invasora *Rattus rattus* (Rodentia: Muridae) en el Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Therya*. 2014; 5(1): p. 323-329.
55. INOCAR. Información general de la República del Ecuador. ; 2012.
56. Bravo Velásquez E. La biodiversidad en el Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana; 2014.
57. MAE. Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. [En línea].; 2015. Disponible en: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/todas-areas-protegidas#galapagos>.

58. Chamberlain S, Ram K, Hart T. spocc: R interface to many species occurrence data sources. R package version 0.5.0. [En línea]; 2016. Disponible en: <https://github.com/ropensci/spocc>.
59. Osorio-Olvera L. NicheToolBox R package. [En línea]; 2016. Disponible en: <https://github.com/luismurao/nichetoolbox>.
60. Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 2005; 25: p. 1965-1978.
61. ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.1.: Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.; 2011.
62. Phillips SJ, Anderson RP, Dudík M, Schapire RE, Blair ME. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography.* 2017; 40: p. 887–893.
63. CONABIO. *Amaranthus hybridus*. [En línea]. [citado 2021 marzo 11. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/amaranthaceae/amaranthus-hybridus/fichas/ficha.htm>.
64. HORTOinfo. HORTOinfo Diario digital de actualidad hortofrutícola. [En línea]. [citado 2021 Marzo 11. Disponible en: <http://www.hortoinfo.es/index.php/plagas/579-pulgon-aphis-fabae-12-10-13>.
65. Jardín botánico. *Asclepias curassavica*. [En línea]. [citado 2021 Marzo 11. Disponible en: <http://www.jardinbotanico.uma.es/bbdd/index.php/bu-12-08/>.
66. AntWeb. Versión 8.54.59. [En línea]. [citado 2021 Marzo 11. Disponible en: <https://www.antweb.org/description.do?rank=species&genus=Wasmannia&name=rochai&project=>.
67. Astornauta.com. *Conium maculatum* L. [En línea]. [citado 2021 Marzo 14. Disponible en: <https://www.asturnatura.com/especie/conium-maculatum.html>.

68. Mondragón Pichardo J. Conabio. [En línea].; 2009 [citado 2021 Marzo 14. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asclepiadaceae/asclepias-curassavica/fichas/ficha.htm>.
69. Zootaxa. Una revisión taxonómica de los grupos *Strumigenys nitens* y *simulans* (Hymenoptera: Formicidae), dos radiaciones caribeñas de hormigas de hojarasca. [En línea].; 2019 [citado 2021 Marzo 14. Disponible en: <https://www.mapress.com/j/zt/article/view/zootaxa.4656.2.7>.
70. Bravo Rodriguez A. Junta de Andalucía. [En línea].; 2013 [citado 2021 Marzo 22. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/cursos/Lucha_biol%C3%B3gica_2013.pdf.
71. Delgado Cueva T. Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio global. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2008.
72. Bosso L, Smeraldo S, Rapuzzi P, Sama G, Garonna AP, Russo D. Nature protection areas of Europe are insufficient to preserve the threatened beetle *Rosalia alpina* (Coleoptera: Cerambycidae): evidence from species distribution models and conservation gap analysis. *Ecological Entomology*. 2017;; p. 1-12.
73. Babu Shrestha U, Prasad Sharma K, Devkota A, Siwakoti M, Babu Shrestha B. Potential impact of climate change on the distribution of six invasive alien plants in Nepal. *Ecological Indicators*. 2018;; p. 99-107.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1: Imágenes de las cinco especies exóticas invasoras en estudio.



Amaranthus hybridus



Asclepias curassavica



Aphis fabae



Conium maculatum



Wasmannia rochai