



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE LA (*Thunbergia alata Sims*)
EN LA REGIÓN INTERANDINA DEL ECUADOR EN EL AÑO 2023”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniera Ambiental

Autora:
Navas Martínez Paulina Elizabeth

Tutor:
Rivera Moreno Marco Antonio

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Navas Martínez Paulina Elizabeth, con cédula de ciudadanía No. 1850520329, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE LA (*Thunbergia alata Sims*) EN LA REGIÓN INTERANDINA DEL ECUADOR EN EL AÑO 2023”**, siendo el Ingeniero M.Sc. Marco Antonio Rivera Moreno, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 19 de febrero del 2024



Paulina Elizabeth Navas Martínez
C.C: 1850520329
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **NAVAS MARTÍNEZ PAULINA ELIZABETJ**, identificada con cédula de ciudadanía **1850520329** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DETALLAR ENTRE COMILLAS, MAYÚSCULAS Y NEGRILLAS EL TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Marzo 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, M.Sc.

Tema: “**DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE LA (*Thunbergia alata Sims*) EN LA REGIÓN INTERANDINA DEL ECUADOR EN EL AÑO 2023**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 19 días del mes de febrero del 2024.



Paulina Elizabeth Navas Martínez
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Navas Martínez Paulina Elizabeth, con el título del Proyecto de Investigación: “**DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE LA (*Thunbergia alata Sims*) EN LA REGIÓN INTERANDINA DEL ECUADOR EN EL AÑO 2023**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 19 de febrero del 2024



Dr. Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.
C.C: 0501444582

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Lcdo. Jaime Rene Lema Pillalaza, Mg.
C.C: 1713759932

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.
CC: 0502205164

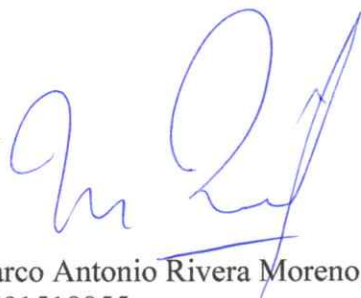
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE LA (*Thunbergia alata Sims*) EN LA REGIÓN INTERANDINA DEL ECUADOR EN EL AÑO 2023”, de Navas Martínez Paulina Elizabeth, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 19 de febrero del 2024



Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, M.Sc.
C.C: 0501518955
DOCENTE TUTOR

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa en esta investigación. A mi querida familia que son mi fuente inagotable de apoyo, les agradezco de todo corazón por su constante aliento, paciencia y comprensión.

Agradezco a mi director de tesis, por su orientación experta y apoyo constante de este arduo pero gratificante proceso. Sus valiosos comentarios, conocimientos y dedicación han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.

A mis docentes y mentores, les agradezco por compartir sus conocimientos y experiencias, contribuyendo así a mi crecimiento académico y profesional.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, mi alma mater, le estoy agradecida por proporcionar un entorno propicio para el aprendizaje y la investigación.

¡Muchas gracias!

Paulina Elizabeth Navas Martínez

DEDICATORIA

A mis padres, Ramiro y Norma por el amor, apoyo y enseñanzas a lo largo de mi vida. Su dedicación y valores han sido la inspiración que me impulsan a alcanzar mis metas. A mis hermanos María y Andrés, por motivarme a seguir adelante e impulsarme a cumplir mis metas. A José Luis, por ser mi luz en los días oscuros y mi compañero constante en este viaje académico. Tu amor incondicional, paciencia y comprensión has sido mi refugio en momento de estrés y agotamiento.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a todos aquellos que, de una u otra manera, han dejado huella en mi camino y que han contribuido de manera única a este logro.

Paulina Elizabeth Navas Martínez

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE LA (*Thunbergia alata Sims*) EN LA REGIÓN INTERANDINA DEL ECUADOR EN EL AÑO 2023”

Autora:
Navas Martínez Paulina Elizabeth

RESUMEN

La investigación se desarrolló con el objetivo de modelar la distribución actual y futura de la especie *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador, mediante la utilización del modelo de máxima entropía (MaxEnt) versión 3.4.1. Para su análisis se necesitaron datos de presencia de la especie, para lo cual se recurrió a la base de datos de las páginas iNaturalist y Global Biodiversity Information Facility, obteniendo un conjunto inicial de 1407 registros. Con la finalidad de eliminar datos erróneos o duplicados, se llevó a cabo un proceso de depuración y validación, obteniendo un conjunto final de 260 registros. De las 19 variables bioclimáticas existentes en la plataforma WorldClim, se seleccionaron 9 variables (temperatura media anual, oscilación diurna de temperatura, temperatura máxima del período más cálido y frío, oscilación anual de la temperatura, temperatura media de trimestre más húmedo, temperatura media del cuatrimestre más seco, cálido y frío) realizando la correlación de Pearson en el software RStudio 4.3.2, tomando en cuenta los valores de idoneidad con un rango de -0.75 a 1. Para la proyección futura se utilizó las variables bioclimáticas en dos horizontes de tiempo: año 2050 y 2080 utilizando los Modelos de Circulación Global ajustados al país MIROC5 y HADGEM2-ES bajo las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) 2.6 y 8.5. Se obtuvo como resultado modelos de distribución actual y futuro con un índice de confiabilidad apropiado de AUC (Área Bajo la Curva) de 0.914, se realizó 10 réplicas con prueba al azar del 25% y con 500 iteraciones, mediante las pruebas de Jackknife se determinó que las variables con mayor aporte al modelo para la determinación de la adaptación de la especie fueron: Bio 5 (temperatura máxima media del período más cálido) y Bio 10 (temperatura media del cuatrimestre más cálido). Se identificaron áreas con altas posibilidades de adaptación de la especie a las condiciones ambientales en las provincias de Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo, Cañar y Azuay. Estas áreas propicias para el desarrollo de la especie abarcan tanto bosques secos como tierras agrícolas interandinas de la región. Es importante señalar que los dos modelos utilizados no presentan diferencias significativas, ya que exhiben valores similares en áreas de las diferentes probabilidades. Este estudio proporciona información crucial para la conservación, la gestión de la especie invasora y la planificación del uso del suelo, contribuyendo así al manejo sostenible de los recursos naturales y la biodiversidad.

Palabras clave: biodiversidad, cambio climático, conservación, ecosistema, zonas de idoneidad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “CURRENT AND FUTURE DISTRIBUTION OF THE (*Thunbergia alata Sims*) IN THE INTER-ANDEAN REGION OF ECUADOR IN THE YEAR 2023”

Author:
Navas Martínez Paulina Elizabeth

ABSTRACT

The research was developed with the objective of modeling the current and future distribution of the specie called *Thunbergia alata Sims* located in the inter-Andean region of Ecuador, using the maximum entropy model (MaxEnt) version 3.4.1. For its analysis, data on the presence of the species were needed, for which the database of the iNaturalist and Global Biodiversity Information Facility pages were used, obtaining an initial set of 1407 records. In order, to eliminate erroneous or duplicated data, a process of purification and validation was carried out, obtaining a final set of 260 records. Of the 19 existing bioclimatic variables in the WorldClim platform, 9 variables were selected (It means annual temperature, diurnal temperature oscillation, maximum temperature of the warmest and coldest period, annual temperature oscillation, mean temperature of the wettest quarter, mean temperature of the driest, warmest and coldest four-month period) by performing the Pearson correlation in the RStudio 4.3.2 software, taking into account the suitability values with a range of -0.75 to 1. For the future projection, the bioclimatic variables were used for two-time horizons: 2050 and 2080 using the Global Circulation Models adjusted to the country MIROC5 and HADGEM2-ES which are the under the Representative Concentration Trajectories (RCP) 2.6 and 8.5. As a result, current and future distribution models were obtained with an appropriate reliability index of AUC (Area Under the Curve) of 0.914, 10 replications were carried out with a random test of 25% and 500 iterations. Through Jackknife tests, it was determined that the variables with the greatest contribution to the model for the determination of the adaptation of the species were: Bio 5 (average maximum temperature of the warmest period) and Bio 10 (average temperature of the warmest four-month period). Areas with high potential for the species to adapt to environmental conditions were identified in the provinces of Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo, Cañar, and Azuay. These are suitable areas for the development of the species which include both dry forests and inter-Andean agricultural lands in the region. It is important to note that the two models used do not present significant differences, since they exhibit similar values in areas of different probabilities. This study provides crucial information for conservation, invasive species management and land use planning, thus contributing to the sustainable management of natural resources and biodiversity.

Keywords: biodiversity, climate change, conservation, ecosystem, suitability zones.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE CONTENIDO	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
5. OBJETIVOS	4
5.1. Objetivo General.....	4
5.2. Objetivos Específicos	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	4
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
7.1. Descripción botánica de <i>Thunbergia alata Sims</i>	6
7.2. Taxonomía de <i>Thunbergia alata Sims</i>	7
7.3. Características morfológicas.....	12
7.4. Composición química	13
7.5. Especie invasora	13
7.6. Requerimientos mediambientales.....	14
7.7. Fases del proceso de invasión.....	14
7.7.1. Etapa de introducción	14
7.7.2. Etapa de establecimiento	15

7.7.3.	Etapa de expansión	15
7.8.	Consecuencias de la especie invasora	15
7.8.1.	Impactos ambientales	15
7.8.2.	Salud	16
7.8.3.	Económicos	16
7.9.	Nicho	16
7.9.1.	Nicho Ecológico	16
7.10.	Modelamiento	17
7.10.1.	MaxEnt	17
7.10.2.	Área bajo la curva (AUC).....	18
7.10.3.	Registro de presencia.....	19
7.10.4.	Variables	19
7.10.5.	Coefficiente de correlación de Pearson.....	20
7.10.6.	Sistema de información geográfica	20
7.10.7.	ArcGIS.....	20
7.10.8.	Modelos de Circulación Global o General	21
7.10.9.	Modelo de distribución global MIROC5.....	21
7.10.10.	Modelo de distribución global HADGEM2-ES	22
8.	PREGUNTA CIENTÍFICA.....	23
9.	METODOLOGÍA.....	24
9.1.	Localización.....	24
9.1.1.	Ubicación del área de estudio	24
9.2.	Tipo de investigación.....	25
9.2.1.	Exploratoria	25
9.2.2.	Descriptiva.....	26
9.3.	Métodos de investigación	26
9.3.1.	Analítico	26
9.3.2.	Inductivo	26
9.3.3.	Bibliográfico	26
9.4.	Técnica.....	27
9.4.1.	Análisis de datos	27
9.5.	Instrumentos	27

9.5.1.	Software MaxEnt	27
9.5.2.	Excel	27
9.5.3.	ArcGIS	27
9.5.4.	Software RSudio 4.3.2.....	27
9.5.5.	WorldClim	27
9.6.	Metodología del modelamiento	28
9.6.1.	Modelos de distribución	28
9.6.2.	Registros de presencia	30
9.6.3.	Depuración de los registros de presencia	30
9.6.4.	Validación de los registros de presencia.....	30
9.6.5.	VARIABLES bioclimáticas.....	30
9.6.6.	Recursos estadísticos para el análisis de datos	33
9.6.7.	Modelos de distribución de la especie	33
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	34
10.1.	Registros de presencia de la <i>Thunbergia alata Sims</i>	35
10.2.	VARIABLES Ambientales	36
10.3.	Modelamiento de distribución de la especie	38
10.3.1.	Validación estadística del modelo	38
10.4.	Resultados del modelo de distribución de (<i>Thunbergia alata Sims</i>) Actual.. ..	39
10.4.1.	Modelo de distribución actual	42
10.5.	Resultados de los modelos de distribución de (<i>Thunbergia alata Sims</i>) bajo el modelo MIROC5 año 2050.....	44
10.5.1.	Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 RCP 2.6 año 2050.....	46
10.5.1.	Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 RCP 8.5 año 2050.....	49
10.6.	Resultados de los modelos de distribución de (<i>Thunbergia alata Sims</i>) bajo el modelo MIROC5 año 2080.....	50
10.6.1.	Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 RCP 2.6 año 2080.....	52
10.6.2.	Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 RCP 8.5 año 2080.....	55
10.7.	Resultados de los modelos de distribución de (<i>Thunbergia alata Sims</i>) bajo el modelo HADGEM2-ES año 2050.....	57

10.7.1. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES 2.6 año 2050.....	58
10.7.2. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES RCP 8.5 año 2050	61
10.8. Resultados de los modelos de distribución de (<i>Thunbergia alata Sims</i>) bajo el modelo HADGEM2-ES año 2080.....	63
10.8.1. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES RCP 2.6 año 2080	64
10.8.2. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES RCP 8.5 año 2080	67
10.9. Comparación de los Modelos de Distribución actual y futura de <i>Thunbergia alata Sims</i> bajo el Modelo Climático Global MIROC5	69
10.10. Comparación de los Modelos de Distribución actual y futura de <i>Thunbergia alata Sims</i> bajo el Modelo Climático Global HADGEM2-ES.....	71
10.11. Comparación de los Modelos de Distribución de <i>Thunbergia alata Sims</i> bajo los modelos climáticos globales MIROC5 y HADGEM2-ES	74
11. IMPACTOS	77
11.1. Impacto social.....	77
11.2. Impacto ambiental	77
11.3. Impacto económico.....	77
12. CONCLUSIONES.....	78
13. RECOMEDACIONES	79
14. REFERENCIAS	80
15. ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto	3
Tabla 2. Matriz de objetivos y actividades del proyecto.	4
Tabla 3. Clasificación Taxonómica de <i>Thunbergia alata Sims</i>	7
Tabla 4. Variables bioclimáticas obtenidas de WorldClim.	31
Tabla 5. Categorización del AUC (Área Bajo la Curva).	34
Tabla 6. Registros de presencia utilizados en el proyecto	35
Tabla 7. Variables bioclimáticas aplicadas al proyecto	38
Tabla 8. Validación estadística del AUC.....	39
Tabla 9. Modelos de distribución futura 2050 & 2080 bajo el modelo MIROC5.....	71
Tabla 10. Modelos de distribución futura 2050 & 2080 bajo el modelo HADGEM2- E.....	69
Tabla 11. Comparación de la distribución futura 2050 & 2080 bajo los modelos MIROC5 y HADGEM2-ES.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Raíz de la especie <i>Thunbergia alata Sims.</i>	14
Figura 2. Etapas de desarrollo de la especie <i>Thunbergia alata Sims.</i>	10
Figura 3. Hojas de la especie <i>Thunbergia alata Sims.</i>	11
Figura 4. Flores de desarrollo de la especie <i>Thunbergia alata Sims.</i>	12
Figura 5. Frutos de la especie <i>Thunbergia alata Sims.</i>	8
Figura 6. Invasión de la <i>Thunbergia alata Sims</i> en su condición de trepadora.....	9
Figura 7. Mapa de las provincias de la región interandina del Ecuador.....	25
Figura 8. Esquema de flujo para la generación de los modelos de distribución de la especie <i>Thunbergia alata Sims.</i>	29
Figura 9. Puntos de presencia de la especie <i>Thunbergia alata Sims</i> en la Sierra.....	36
Figura 10. Correlación de Pearson entre las 19 Variables Bioclimáticas.....	37
Figura 11. Área bajo la curva de la distribución actual	40
Figura 12. Prueba de Jackknife de las variables bioclimáticas – Actual.....	41
Figura 13. Modelo de distribución actual.....	43
Figura 14. AUC Futuro 2050 escenario RCP 2.6 Modelo MIROC5	44
Figura 15. Prueba de Jackknife Futuro 2050 escenario RCP 2.6 Modelo MIROC5.....	45
Figura 16. Modelo de distribución futura 2050 MIROC5 RCP 2.6	47
Figura 17. AUC Futuro 2050 escenario RCP 8.5 Modelo MIROC5	48
Figura 18. Prueba de Jackknife Futuro 2050 escenario RCP 8.5 Modelo MIROC5..	49
Figura 19. Modelo de distribución futura 2050 MIROC5 RCP 8.5	50
Figura 20. AUC Futuro 2080 escenario RCP 2.6 Modelo MIROC5	51
Figura 21. Prueba de Jackknife Futuro 2080 escenario RCP 2.6 Modelo MIROC5..	52
Figura 22. Modelo de distribución futura 2080 MIROC5 RCP 2.6	53
Figura 23. AUC Futuro 2080 escenario RCP 8.5 Modelo MIROC5	54
Figura 24. Prueba de Jackknife Futuro 2080 escenario RCP 8.5 Modelo MIROC5..	55
Figura 25. Modelo de distribución futura 2080 MIROC5 RCP 8.5	56
Figura 26. AUC Futuro 2050 escenario RCP 2.6 Modelo HADGEM2-ES.....	57
Figura 27. Prueba de Jackknife Futuro 2050 escenario RCP 2.6 Modelo HADGEM2-ES	58
Figura 28. Modelo de distribución futura 2050 HADGEM2-ES RCP 2.6.....	59

Figura 29. AUC Futuro 2050 escenario RCP 8.5 Modelo HADGEM2-ES.....	60
Figura 30. Prueba de Jackknife Futuro 2050 escenario RCP 8.5 Modelo HADGEM2-ES	61
Figura 31. Modelo de distribución futura 2050 HADGEM2-ES RCP 8.5.....	62
Figura 32. AUC Futuro 2080 escenario RCP 2.6 Modelo HADGEM2-ES.....	63
Figura 33. Prueba de Jackknife Futuro 2080 escenario RCP 2.6 Modelo HADGEM2-ES	64
Figura 34. Modelo de distribución futura 2080 HADGEM2-ES RCP 2.6.....	65
Figura 35. AUC Futuro 2080 escenario RCP 8.5 Modelo HADGEM2-EC	66
Figura 36. Prueba de Jackknife Futuro 2080 escenario RCP 8.5 Modelo HADGEM2-ES	67
Figura 37. Modelo de distribución futura 2080 HADGEM2-ES RCP 8.5.....	68

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto: Distribución actual y futura de la (*Thunbergia alata Sims*) en la región interandina del Ecuador en el año 2023.

Fecha de inicio:

Octubre del 2023

Fecha de finalización:

Enero del 2024

Lugar de ejecución:

Salache- Juan Montalvo- Latacunga- Zona 3 - Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Ambiental

Proyecto de investigación vinculado:

Evaluación del cambio de la cobertura vegetal, del uso y los recursos hídricos en los páramos de la Provincia de Cotopaxi

Equipo de Trabajo:

- **Tutor de Titulación:** Rivera Moreno Marco Antonio
- **Autora de Tesis:** Navas Martínez Paulina Elizabeth

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Navas Martínez Paulina Elizabeth

Teléfono: 0998268518

Correo electrónico: paulina.navas0329@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Servicios

Línea de Investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local

Sublínea de investigación de la carrera:

Conservación de especies

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Existen diversas razones fundamentales para investigar la especie invasora *Thunbergia alata Sims*, debido al significativo impacto que actualmente está teniendo en la biodiversidad. Esta especie se destaca por su notable capacidad invasora y su habilidad de adaptarse a una amplia gama de condiciones climáticas y edafológicas. Esta investigación tiene un impacto sustancial en la conservación de la biodiversidad, la gestión ambiental, el desarrollo sostenible y la educación ambiental.

Su presencia y expansión han mostrado ser desafíos para los ecosistemas nativos, debido a que puede desplazar a las plantas autóctonas, modifica la estructura y función de los hábitats donde se establecen, impactando de manera directa a la biodiversidad local (Romero et al., 2023). La *Thunbergia alata Sims* se ha convertido en un ejemplo emblemático de las consecuencias negativas de las especies invasoras, afectando la dinámica natural de los ecosistemas y la capacidad de mantener el equilibrio ecológico. Su rápida propagación y adaptabilidad plantean interrogantes sobre las estrategias de manejo y control necesarias para mitigar su impacto en la biodiversidad.

La identificación de la distribución actual y futura de la especie *Thunbergia alata Sims* se vuelve esencial para las entidades gubernamentales ambientales, ONGs y organizaciones de conservación. Esta información se convertirá en un pilar fundamental para la adopción de medidas preventivas que mitiguen los posibles impactos negativos sobre la biodiversidad local y resguarden los ecosistemas vulnerables presentes en la región interandina del Ecuador.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) y las entidades municipales se beneficiarán de manera significativa al utilizar los resultados del estudio para la toma de decisiones fundamentales en la relación de manejo de suelo y el desarrollo urbano. Actualmente, por la presencia de la especie invasora se ha considerado para la elaboración de programas y planes de gestión ambiental y territorial, permitiendo un enfoque más consciente y sostenible en el desarrollo de la región (Bhogen et al., 2015). De la misma manera los productores agrícolas podrán aprovechar esta información para optimizar sus prácticas, fomentando así un cultivo sostenible y responsable, lo que contribuirá significativamente a un desarrollo agrícola más equilibrado y respetuoso con el entorno.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Tabla 1.

Beneficiarios del proyecto

Beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos
<ul style="list-style-type: none"> Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) ONGs y organizaciones de conservación ambiental: 	<ul style="list-style-type: none"> Productores agrícolas Hombres: 70.8% Mujeres: 29.2%
Total: 709	Total: 1 173 934

Fuente: (INEC, 2023).

4. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La especie invasora *Thunbergia alata Sims*, conocida como “Susanita”, es una planta trepadora originaria de Sudáfrica. A pesar de su popularidad en jardinería debido a sus atractivas flores, esta especie se ha convertido en un problema invasor en la Región Interandina del Ecuador. La introducción y propagación descontrolada plantean numerosos desafíos ambientales con una creciente amenaza, por la pérdida de biodiversidad, alteración de los ciclos biogeoquímicos, la cadena trófica, generando grandes problemas sociales y económicos (Carvajal et al., 2020). En Ecuador existen pocos estudios relacionados a la distribución de la especie invasora, es decir, la falta de información dificulta la toma de medidas preventivas y gestionar la conservación de las áreas vulnerables ante la especie invasora (Gabel et al., 2020).

El problema principal que enfrenta la Región Interandina de Ecuador en la actualidad es la escasa investigación sobre la especie invasora y los impactos ambientales negativos que generan en nuestros ecosistemas la *Thunbergia alata Sims*. Siendo la especie una creciente amenaza a la biodiversidad local y ecosistema, generando así grandes problemas sociales y económicos (Mira et al., 2021). Lamentablemente, estos desafíos ambientales que enfrenta el Ecuador aún no han sido abordados de manera efectiva. Esta falta de acción contribuye significativamente a la inseguridad alimentaria y a la pérdida masiva de biodiversidad, afectando no solo nuestra economía, sino también poniendo en peligro la salud de los ecuatorianos (Omale et al., 2020).

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Determinar la distribución actual y futura de *Thunbergia alata Sims* en la Región Interandina del Ecuador, en el año 2023.

5.2. Objetivos Específicos

- Establecer los puntos de presencia de la especie invasora en la Región Interandina del Ecuador.
- Generar el modelo de distribución actual de *Thunbergia alata Sims* en la Región Interandina del Ecuador.
- Determinar la distribución futura de la *Thunbergia alata Sims* para los años 2050 y 2080 en la región interandina del Ecuador, utilizando dos Modelos de Circulación Global MIROC5 y HADGEM2-ES y considerando los escenarios RCP 2.6 y 8.5.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

La Tabla 2, muestra los objetivos planteados en base al tema de investigación considerando las actividades a desarrollar por cada objetivo las diferentes actividades y de esta forma se obtuvieron los resultados.

Tabla 2.

Matriz de objetivos y actividades del proyecto.

Objetivo	Actividad	Metodología	Resultados
Objetivo Específico N°1			
Establecer los puntos de presencia de la especie invasora en la Región Interandina del Ecuador.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recopilación de base de datos especializados en biodiversidad (iNaturalist- GBIF) ▪ Organización y resumen de información de manera sistemática. 	Obtención de los puntos de presencia de la especie en la región interandina del Ecuador, de las plataformas de iNaturalist y Global Biodiversity Information Facility, posteriormente se realizó la depuración de todos los datos que presentaban discrepancia, así como los que	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puntos de presencia de la especie ▪ Base de datos de información ▪ Documentos en formato digital

-
- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificación de los puntos de presencia. ▪ Validación de los puntos de presencia. ▪ Estandarización de la tabla de datos | <p>aparecen repetidos de un mismo píxel o distancia menor a 1km. Además, se llevó a cabo la validación de los datos de presencia mediante visitas de campo, con la finalidad de verificar la precisión de los puntos obtenidos a través de las plataformas.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Archivos de registros de información |
|--|---|--|
-

Objetivo Específico N°2

- | | | | |
|---|--|---|---|
| <p>Generar el modelo de distribución actual de <i>Thunbergia alata</i> Sims en la Región Interandina del Ecuador.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de variables bioclimáticas: temperatura, humedad, incidencia y frecuencia. ▪ Sistematización de metadatos. ▪ Ingreso de datos y ejecución de los modelos de distribución. | <p>Utilizando el software MaxEnt se elaboró de la distribución actual, este modelo se basa en las variables bioclimáticas descargadas WorldClim, previamente identificadas y con la correlación de Pearson, mediante la obtención de valores de los registros de presencia de la especie.</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo de distribución actual de la especie ▪ Datos estadísticos ▪ Gráficos ▪ Imágenes ▪ Mapas en formato digital |
|---|--|---|---|
-

Objetivo Específico N°3

<p>Determinar la distribución futura de la <i>Thunbergia alata Sims</i> para los años 2050 y 2080 en la región interandina del Ecuador, utilizando dos Modelos de Circulación Global MIROC5 y HADGEM2-ES y considerando los escenarios RCP 2.6 y 8.5.</p>	<p>▪ Ingreso de datos y ejecución de los modelos de distribución. ▪ Elaboración de los mapas de distribución</p>	<p>Mediante el software MaxEnt se procedió a la elaboración de la distribución futura de la especie invasora <i>Thunbergia alata Sims</i>, estos modelos se basan en las variables bioclimáticas de WorldClim y los registros de presencia para los años 2050 y 2080 considerando dos Modelos de Circulación Global: MIROC5 y HADGEM2-ES, con un RCP de 2.6 y 8.5 respectivamente.</p>	<p>▪ Modelos de distribución futura. ▪ Mapas en formato digital. ▪ Datos estadísticos. ▪ Gráficos. ▪ Imágenes.</p>
---	---	--	--

Elaborado por: Navas Paulina

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Descripción botánica de *Thunbergia alata Sims*

Thunbergia alata Sims, comúnmente conocida como Susanita, es una planta trepadora perteneciente a la familia de las acantáceas. Originaria de África tropical, fue introducida en Europa y luego en América debido a su atractivo ornamental. Sin embargo, en la actualidad, esta especie se considera una invasora altamente agresiva, como indicó (Daniel et al., 2018). Se ha naturalizado en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo, muchas de las cuales la clasifican como una especie invasora.

Descrita como una planta perenne, es trepadora y rastrera, puede alcanzar alturas de hasta 2-3 metros cuando se apoya en un soporte adecuado. Sus tallos son delgados, flexibles y leñosos en la base, según lo señalado por (Giovanny et al., 2020). A pesar de su encanto ornamental, la

capacidad de esta planta para invadir hábitats naturales la ha convertido en un desafío de conservación en muchas regiones del mundo.

7.2. Taxonomía de *Thunbergia alata* Sims

La especie invasora *Thunbergia alata* Sims es una planta atractiva y popular, apreciada por sus flores llamativas y su capacidad para cubrir estructuras con su follaje denso y colorido. “Debido a que se considera una especie ornamental es utilizada comúnmente como cerca viva en entornos urbanos y zonas de influencia cercana” (Rempel et al., 2018).

Tabla 3.

Clasificación Taxonómica de Thunbergia alata Sims

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lamiales
Familia	Acanthaceae
Subfamilia	Thunbergioideae
Género	Thunbergia
Especie	T. alata
Nombre científico	Thunbergia alata Bojer ex Sims
Nombres comunes	Susanita, ojo de poeta, ojos negros, hierba del espanto, trompillo, ojo de canario.

Nota. Esta tabla muestra datos de la especie invasora *Thunbergia alata* Sims.

Fuente: Gutiérrez-Bonilla (2081, pp. 33)

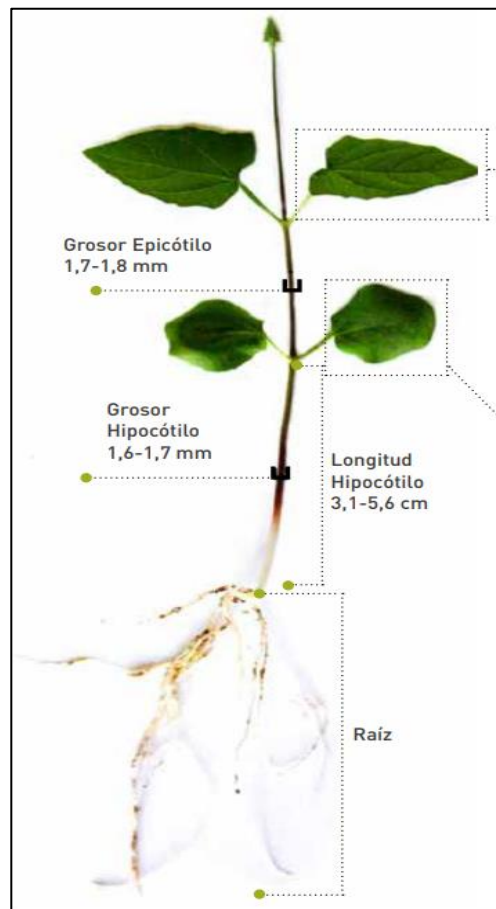
7.3. Características morfológicas

A continuación, se describen de las características morfológicas en detalle:

- **Raíz:** Son generalmente poco profundas y se extienden ampliamente en el suelo para proporcionar soporte a la planta trepadora, se ramifican en raíces secundarias. Generalmente tiene sistemas radiculares que les permiten sujetarse a estructuras de soporte, sus raíces son delgadas y flexibles se presentan en la Figura 1. Son plantas trepadoras que desarrollan raíces adventicias, que son raíces que crecen a lo largo de los tallos o tallos aéreos, la función principal es absorber agua y nutrientes del suelo para el crecimiento y desarrollo saludable de la planta (Eladio et al., 2018).

Figura 1.

Raíz de la especie Thunbergia alata Sims



Nota. La figura representa las dimensiones de la raíz, el tallo y las hojas de la especie. Tomado de iNaturalistEc [Fotografía] iNaturalistEc, 2022, <https://n9.cl/ue5g4j>

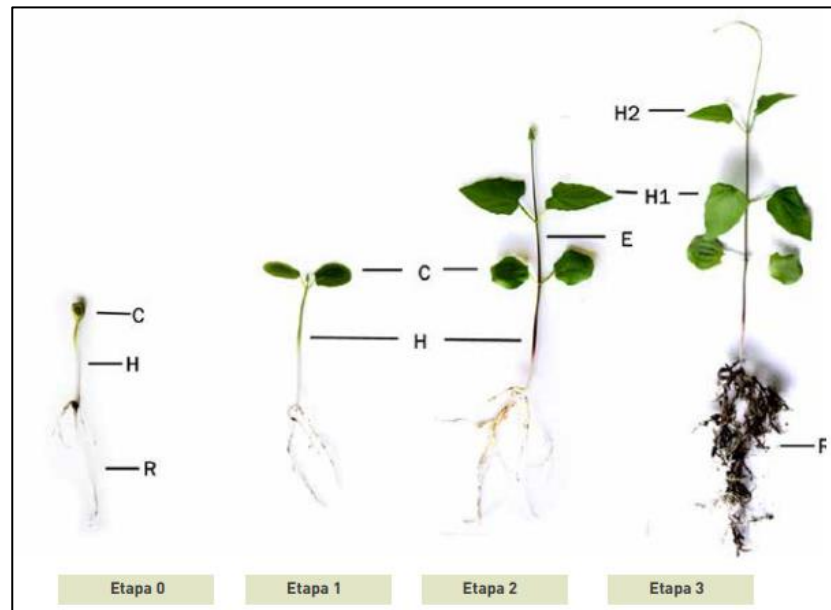
- **Tallo y crecimiento:** Tiene tallos delgados y flexibles que le permiten trepar y cubrir superficies. Puede alcanzar una altura considerable cuando tiene soporte, como una estructura, árboles, pared o un enrejado. Crecen formando espiras, tienen un color verde, similar al de las hojas y tienen una textura suave y algo leñosos. A medida que la planta madura, los tallos pueden volverse un poco más leñosa en la base (Sánchez J & Lorenzo P, 2019).

La notable flexibilidad de este tejido en los tallos posibilita un crecimiento rápido y eficiente de la especie, llegando a alturas de hasta 3 metros. Este vigoroso desarrollo no solo contribuye a su óptimo crecimiento, sino que también resulta en una reducción significativa de la cantidad de luz que alcanza a la planta utilizada como soporte o a la vegetación circundante. Esta disminución en la exposición a la luz tiene un impacto desfavorable en la actividad fotosintética de la otra especie (Mcns et al., 2019) . En la Figura 2, se detallan las diferentes etapas de desarrollo de la plántula *Thunbergia alata*

Sims, en la etapa 0 la especie muestra el cotiledón, el hipocótilo, la raíz. Esto se repite a medida que la planta crece, comienzan a desarrollarse las primeras hojas y las hojas del segundo nodo folia.

Figura 2.

Etapas de desarrollo de la especie Thunbergia alata Sims



Nota. La figura representa las 4 etapas de desarrollo de la especie. Tomado de iNaturalistEc [Fotografía]iNaturalistEc, 2022, <https://n9.cl/ue5g4j>

- **Hojas:** Son simples, opuestas, deltoides o cordiformes de 4-7 cm de largo y de 2-6 cm de ancho, con margen irregular dentado, ápice agudo, base cordada o truncada; pecíolo diferenciado de especies del género como se muestra en la Figura 3. Tienen una textura suave y pueden variar en tamaño, siendo generalmente de color verde oscuro (Eladio et al., 2018).

Figura 3.

Hoja de la especie Thunbergia alata Sims.



Nota. La figura muestra la vista frontal de la hoja de la especie invasora. Tomado de iNaturalistEc [Fotografía] iNaturalistEc, 2022, <https://n9.cl/4wb7i>

- **Flores:** Son una de las características más llamativas de la *Thunbergia alata Sims*. Son flores solitarias, están ubicadas en las hojas o ramas de las plantas, destacan por su vistosidad y miden entre 3 y 4 cm de longitud. Presentan dos brácteas basales de 1 a 2 cm, mientras que el cáliz, de reducido tamaño, exhibe pequeños dientes que se disponen formando una estrella. La corola, tubular y con dimensiones que oscilan entre 2,5 y 4,3 cm, se caracteriza por su tonalidad generalmente anaranjada, con el interior de color negro y marcadas con destellos púrpura oscuro en la garganta. Con 5 lóbulos, la corola que alcanzan un diámetro que varía entre 2 y 4 cm como se muestra en la Figura 4 (Mcns et al., 2019).

Figura 4.

Flor de la especie Thunbergia alata Sims.



Nota. La figura representa la flor con los pétalos fusionados especie. Tomado de iNaturalistEc [Fotografía] iNaturalistEc, 2022, <https://n9.cl/4wb7i>

- **Frutos, semillas y reproducción:** La planta genera frutos en forma de cápsula globosa de 5 a 12 mm, con una estructura alargada o puntiaguda y una superficie recubierta de pequeñas vellosidades de tonalidad café verdoso. El proceso de apertura del fruto, las cápsulas comienzan a acumular energía potencial, hasta que sufren un proceso de apertura espontánea, el cual favorece la estrategia de expulsión de sus semillas por varios metros, funcionando a modo de catapulta (Eladio et al., 2018). El pedúnculo floral mide alrededor de 2 a 4 cm, con tricomas filiformes que se dividen en tres partes y son multicelulares, miden entre 0.6 y 0.7 mm como se presenta en la Figura 5. La reproducción de la especie se lleva a cabo tanto por medio de semillas o esquejes. Es importante destacar que, en general, las poblaciones de la *Thunbergia alata Sims* producen semillas no viables fuera de su área natural de distribución. Como resultado de esta limitación, este taxón ha desarrollado una robusta capacidad de propagación vegetativa en las áreas donde ha sido introducida (Silva et al., 2023).

Figura 5.

Frutos de la especie Thunbergia alata Sims.



Nota. La figura representa el fruto de la vista lateral de la especie. Tomado de iNaturalistEc [Fotografía] iNaturalistEc, 2022, <https://n9.cl/4wb7i>

7.4. Composición química

La composición química de la especie *Thunbergia alata Sims* es un aspecto relevante que ha sido objeto de investigaciones. Estos estudios han identificado diversos grupos de compuestos, cuya presencia y proporciones pueden variar significativamente según factores como la ubicación geográfica, las condiciones ambientales, la fase de crecimiento y los cuidados específicos del cultivo (Ramírez Díaz, 2020). A continuación, se menciona algunos de estos grupos:

- **Flavonoides:** Son compuestos fenólicos que pueden tener propiedades antioxidantes y otros efectos beneficiosos para la salud. Los flavonoides se encuentran comúnmente en muchas plantas y pueden tener diversos tipos y estructuras.
- **Alcaloides:** Otro grupo de compuestos que ha sido identificado en varias especies. Los alcaloides son compuestos nitrogenados con una variedad de funciones y propiedades de las plantas.
- **Otros compuestos bioactivos:** La planta puede contener otros compuestos bioactivos como los terpenoides, fenoles u otros metabolitos secundarios que podrían contribuir a las diferentes propiedades fisiológicas o farmacológicas.

7.5. Especie invasora

Las especies invasoras representan la segunda causa principal de la pérdida de biodiversidad a nivel mundial. Organizaciones influyentes como la Unión Internacional para la Conservación

de la Naturaleza (UICN) y el Programa Mundial sobre Especies Invasoras (GISP) han destacado este grave problema y han diseñado estrategias para aumentar la conciencia pública, principalmente a través de publicaciones especializadas. Se define a una especie invasora como aquella introducida y exótica que logra dispersarse en los hábitats naturales. Actúa como un agente de cambio y presenta la capacidad o el potencial de causar impactos significativos en términos ambientales, económicos o de la salud pública (Pérez&Arbelazia, 2019).

La especie *Thunbergia alata Sims* es una especie considerada invasora como lo expone en el libro Catálogo de especies invasoras; el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Esta especie figura en la lista de las 100 especies invasoras más perjudiciales, complicada por un equipo de expertos de la UICN. Además, se destaca en el documento “Sudamérica invadida”, el cual ofrece alertas e información detallada acerca de las especies invasoras (Cárdenas et al., 2018).

7.6. Requerimientos medioambientales

El ojo de poeta, conocido científicamente como *Thunbergia alata Sims*, prospera en entornos relativamente húmedos y secos, y tolera tanto temperaturas cálidas moderadas como extremadamente altas. Se desarrolla óptimamente en suelos fértiles que cuentan con un buen drenaje y un pH que oscila entre 6.1 y 7.8, según señala (Castro-Díez, 2018). Esta planta versátil puede adaptarse a una gama de condiciones lumínicas, desde áreas principalmente sombreadas hasta exposiciones a plena luz del sol.

En cuanto a su capacidad invasiva, el ojo de poeta se ha expandido en áreas transformadas por la actividad humana, como cercas, mallas, márgenes de quebradas, bordes de carreteras, líneas eléctricas y campos abiertos. Esta especie ha formado densos mantos de vegetación en áreas extensas, cubriendo el suelo y afectando los hábitats naturales. En Ecuador, por ejemplo, ha invadido los bordes de numerosos fragmentos de bosques en gran parte de la zona andina. Además, tiene la capacidad de trepar sobre los árboles, llegando a envolverlos por completo, como se observó en estudios realizados por (Carvajal et al., 2020).

Posee la habilidad de colonizar áreas modificadas por la acción humana, así como las zonas iluminadas y la humedad. Se encuentran comúnmente en alambrados, mallas y a lo largo de los bordes de quebradas, expandiéndose para formar extensos tapetes vegetativos. Además, muestra la capacidad de trepar sobre los árboles, cubriéndose por completo, como se ilustra en la Figura 6.

Figura 6.

Invasión de la Thunbergia alata Sims en su condición de trepadora.



Nota. La figura representa la invasión a la biodiversidad nativa. Tomado de iNaturalistEc [Fotografía] iNaturalistEc, 2022, <https://n9.cl/4wb7i>

7.7. Fases del proceso de invasión

7.7.1. Etapa de introducción

La introducción de la especie invasora es causada por el hombre, pueden ser accidentales o deliberadas. Las causas accidentales suelen originarse a través de la contaminación de semillas de cultivo, adhesión a animales domésticos o el transporte involuntario de suelo en las raíces de las plantas en el vivero (Ricardo Álvaro-Alba & Joven, 2018). Por otro lado, las introducciones deliberadas se llevan a cabo por razones específicas asociadas a las características particulares como el valor ornamental, es decir por la belleza de sus flores brillantes y vistosas, lo que la convierte en una elección popular para jardines, parques y paisajismo.

Es importante destacar que en la etapa de introducción de la *Thunbergia alata Sims* tiene características ecológicas y ambientales. Esta especie está catalogada dentro de las especies exóticas invasoras en Ecuador Continental, otra de las razones es la capacidad de adaptabilidad que tiene la planta para adaptarse a diferentes condiciones climáticas, capacidad para crecer y cubrir superficies (Aguirre et al., 2019).

7.7.2. Etapa de establecimiento

La fase de establecimiento se inicia luego de que la especie es introducida y se completa cuando las poblaciones pueden auto sostenerse. El establecimiento de la especie *Thunbergia alata Sims* implica un proceso de aclimatación a las condiciones locales una vez introducida en el área. Durante esta fase, la planta experimenta varios cambios y desafíos mientras se adaptan en su nuevo entorno (Vélez & Diaz, 2018).

Algunos aspectos claves a destacar incluyen la adaptación al clima, donde la planta debe adaptarse a las condiciones climáticas, incluyendo variaciones de temperatura, humedad, altitud y patrones de lluvia (Sánchez & Quijano, 2020). Otro factor importante para el establecimiento es la interacción con la flora local debido a que, durante esta etapa, la planta habría encontrado su flora nativa de la región. La interacción con otras especies de plantas, incluyendo competencia por recursos naturales como el agua, luz solar y nutrientes.

7.7.3. Etapa de expansión

Dentro de la etapa de expansión de la especie implica un proceso donde se establece firmemente en el entorno y empieza a propagarse y extenderse más allá de la ubicación inicial. Durante esta fase, la planta experimenta varios aspectos entre ellos el crecimiento y propagación después de adaptarse a las condiciones locales, la especie habría comenzado a crecer vigorosamente y a reproducirse. Su capacidad para propagarse mediante semillas ha contribuido a su expansión (Pacífico et al., 2019).

Otro aspecto por destacar es la colonización de nuevos espacios donde se aprovecha la capacidad de trepar y cubrir superficies, expandiéndose hacia áreas abiertas, muros, cercas u otros soportes disponibles. Su potencial invasivo, desplaza a las especies locales y altera a los ecosistemas nativos (Arambarri, 2018). Es importante mencionar que la *Thunbergia alata Sims* muestra tendencias invasoras y tiene un impacto negativo por lo cual es crucial comprender la dinámica de expansión y tomar decisiones acertadas para su gestión (Fabián Zambrano-Intriago et al., 2018).

7.8. Consecuencias de la especie invasora

7.8.1. Impactos ambientales

- Competencia con especies invasoras
- Alteración de los ecosistemas
- Erosión del suelo
- Extinción de plantas y animales nativos
- Reducción de la biodiversidad biológica

- Incremento en el riesgo de incendios

7.8.2. Salud

- Alergias
- Irritaciones cutáneas
- Posible toxicidad

7.8.3. Económicos

- Impacto en la agricultura y la producción
- Costos de control y la producción
- Daños a la infraestructura
- Turismo y actividades recreativas
- Reducción del valor de las propiedades

7.9. Nicho

Se hace referencia a la unidad de distribución reducida donde cada especie se mantiene gracias a sus limitaciones instintivas y estructurales. Cada especie exhibe un perfil fisiológico, morfológico y conductual único, lo cual determina su idoneidad para ocupar territorios específicos (Mota-Vargas et al., 2019). Los factores físicos actúan como limitaciones para que una especie se mantenga en un estrecho rango de condiciones ambientales propicias para su distribución restringida. El entorno sigue una jerarquía, que va desde las regiones del mundo hasta los nichos. De esta manera, el nicho se considera la última unidad de distribución, representando el nivel más específico y determinante en el cual una especie puede prosperar (Ochoa Ochoa & Ríos Muñoz, 2019).

7.9.1. Nicho Ecológico

Se refiere al papel fundamental que desempeña una especie en su hábitat y cómo interactúa con los factores bióticos y abióticos que conforman un entorno. El nicho de una especie incluye varios aspectos, como los recursos que utiliza, su respuesta a las condiciones ambientales, su rol en las cadenas alimenticia y las interacciones con otras especies (Cervantes Serna et al., 2018). El nicho describe cómo una especie se adapta y utiliza los recursos disponibles en su entorno para sobrevivir, reproducirse y mantener su población. Es importante señalar que no solo se refiere al lugar físico que ocupa la especie, sino a su función en el ecosistema.

La teoría neutral unificada de biodiversidad y biogeográfica, propuesta por (Ríos-Muñoz et al., 2021), la desafía la relevancia de las diferencias de nichos en los ecosistemas. Es una teoría

argumente que, a menudo, el principio de exclusión competitiva requiere un tiempo considerable para manifestarse. En contraste, argumenta que otros procesos, tales como la dispersión y la deriva ecológica aleatoria, emergen como actores predominantes. Esto se suma a ciertas dinámicas poblacionales clave, como la natalidad, mortalidad y la reproducción (Soberón & Miller, 2019).

7.10. Modelamiento

El modelado de la distribución actual y futura se basa en la aplicación de algoritmos automatizados que generan mapas predictivos a partir de datos ambientales. Estos mapas permiten evaluar de manera estadística la probabilidad de que una población de plantas ocupe un área específica. Este enfoque es fundamental para la gestión ambiental, ya que proporciona herramientas que ayudan a prever la distribución de especies en un territorio determinado (Cruz-Cárdenas et al., 2018).

Este método se centra en caracterizar la distribución actual y futura de la especie al dividir el espacio ambiental en segmentos con diferentes probabilidades de ocurrencia de la especie estudiada. Utiliza ajustes estadísticos sobre los puntos registrados que es la variable dependiente y a su vez, que interactúan con las características del entorno que son las variables independientes (Manzanilla-Quñones et al., 2023). Esta interacción permite comprender de mejor manera como influyen los factores ambientales en la presencia o ausencia de la especie, lo que resulta fundamental para la toma de decisiones en la planificación y conservación ambiental.

7.10.1. MaxEnt

Se empleó el sistema informático MaxEnt versión 3.3.1 k para predecir la distribución de la *Thunbergia alata Sims*. Este sistema se compone de herramientas estadísticas, algoritmos de máxima entropía y métodos basados en la teoría bayesiana (Escobedo et al., 2018). Su objetivo principal radica en evaluar como asignar la máxima probabilidad de distribución de la especie, este enfoque computacional permite alcanzar de manera más precisa y detallada como los factores ambientales influyen en la presencia o ausencia de la especie, siendo de gran utilidad para el análisis y planificación.

Este programa utiliza el principio de máxima entropía, para estimar la distribución dentro de un área específica (Politis et al., 2019). Proporciona detalles sobre diversas características significativas y evalúa la idoneidad relativa de un lugar en comparación con otros Para calcular

la probabilidad de desarrollarse la especie invasora *Thunbergia alata Sims* que es el condicional de su presencia, se ha implementado la salida logística de MaxEnt.

Para utilizar el programa MaxEnt, se requiere una base de datos que incluya la presencia de la especie junto con variables bioclimáticas que influyen en su capacidad de supervivencia. MaxEnt presenta ventajas significativas en el modelado de la distribución, ya que tiene la capacidad de trabajar de datos tanto continuos como categóricos (Cervantes Serna et al., 2018). Además, se destaca por su comportamiento determinista y su habilidad para interpretar aspectos relevantes en términos ecológicos. Es una herramienta rápida y precisa, ajustándose eficazmente a los datos proporcionados, lo que lo convierte en una opción sólida para este tipo de análisis (Cláudia Nogueira Silva, 2019).

El modelo establece una correlación entre la presencia de la especie y datos ambientales especiales de fondo, lo que permite prever las áreas adecuadas para su hábitat. Destaca por su capacidad para generar proyecciones precisas incluso para especies con distribuciones restringidas y conjunto de datos de muestra reducidos, lo que posiciona como una opción ventajosa en comparación con otros algoritmos para este propósito (Abolmaali et al., 2018).

La creciente adopción de MaxEnt se debe en parte a su facilidad de uso, ya que se opera como una “caja negra” en la que las únicas entradas requeridas por el software en las ubicaciones georreferenciadas de los puntos de presencia, vinculadas a las variables ambientales. Esta simplicidad en la introducción de datos ha contribuido a su popularidad, facilitando su aplicación para aquellos usuarios que desean proyectar la distribución de especies de manera efectiva y sin la necesidad de un conocimiento técnico profundo (Barber et al., 2022).

7.10.2. Área bajo la curva (AUC)

Se refiere a una medida utilizada comúnmente en la evaluación de rendimiento de modelos en el análisis de datos, en particular en el contexto de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic). El AUC (Area Under the Curve) es una medida numérica que representa el área bajo la curva, en el contexto del modelado de la predicción de la distribución de la especie *Thunbergia alata Sims*, permitió evaluar el modelo y se distingue las áreas donde se puede encontrar la especie (Cláudia Nogueira Silva, 2019). Un AUC más cercano a 1 indica mejor rendimiento del modelo, es decir, una capacidad más fuerte para predecir con precisión la presencia o ausencia de la especie en función de los datos y las variables ambientales consideradas en el modelo.

7.10.3. Registro de presencia

El registro de presencia de la especie proporciona datos fundamentales que permiten examinar tanto la dinámica espacial como temporal de la misma. Estos registros son valiosos para identificar los patrones de distribución geográfica potenciales, es decir, los lugares donde es probable que la especie se encuentre (Granera Rugama, 2019). Son utilizados para generar mapas que representan visualmente la distribución de la especie en diferentes áreas geográficas. Estos mapas son una herramienta esencial para los estudios de conservación, ecología y biogeografía (Gurrola-López et al., 2023).

7.10.4. Variables

Las variables ambientales desempeñan un papel crucial al definir las distribuciones de las especies, lo que mejora significativamente la capacidad de prever las áreas donde las especies podrían encontrarse. Esto posibilita la extrapolación hacia las regiones geográficas que han sido investigadas directamente (Taco et al., 2020). El análisis de estas variables no solo determina las distribuciones conocidas de las especies, sino que también habilita la proyección de posibles ubicaciones en parejas no examinadas previamente (Maldonado J, 2020).

- **WorldClim**

Proporciona datos y productos relacionados con las variables bioclimáticas globales y regionales. Ofrece conjuntos de datos de alta resolución sobre diferentes variables climáticas, en formatos accesibles para su uso en investigaciones científicas, estudios de modelado de nichos ecológicos, análisis ambientales y estudios de cambio climático (Marchi et al., 2019).

Las variables bioclimáticas presentes en WorldClim son:

- Temperatura media anual
- Oscilación diurna de la temperatura
- Isotermalidad cociente entre los parámetros 2 y 7)
- Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación)
- Temperatura máxima media del período más cálido
- Temperatura mínima media del período más
- Oscilación anual de la temperatura (cociente entre parámetros 5 y 6)
- Temperatura media del trimestre más húmedo
- Temperatura media del cuatrimestre más seco
- Temperatura media del cuatrimestre más cálido
- Temperatura media del cuatrimestre más frío
- Precipitación anual

- Precipitación del período más lluvioso
- Precipitación del período más seco
- Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
- Cuatrimestre más lluvioso
- Cuatrimestre más seco
- Cuatrimestre más cálido
- Precipitación del cuatrimestre más frío

7.10.5. Coeficiente de correlación de Pearson

Es una medida estadística que cuantifica la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas continuas. Este valor numérico se sitúa en un rango entre -1 y 1 donde:

- Si el coeficiente es 1, indica una correlación positiva perfecta, lo que significa que ambas variables tienen una relación positiva perfecta.
- Si el coeficiente es -1, indica una correlación negativa perfecta, lo que sugiere que hay una relación lineal negativa perfecta entre variables.
- Un coeficiente de 0 indica que no hay correlación lineal entre las variables.

El coeficiente de Pearson proporciona información sobre la fuerza de dirección de la relación lineal entre dos variables. Es una herramienta útil para comprender si hay una asociación lineal y cuán fuerte es esa asociación entre las variables (Carrera-Villacrés et al., 2020). Sin embargo, es importante destacar que solo mide la relación lineal y no puede capturar otro tipo de relaciones no lineales entre las variables.

7.10.6. Sistema de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS), por sus siglas en inglés, Geographic Information System, es una herramienta informática que integra, almacena, analiza, interpreta y visualiza datos geográficos y espaciales. Estos sistemas permiten gestionar información relacionada con la ubicación geográfica de elementos y fenómenos del mundo real (Silva-Balaguera et al., 2018). Los SIG utilizan datos georreferenciados, es decir, información de coordenadas espaciales, para crear mapas digitales y realizar análisis espaciales. Estos datos pueden provenir de diversas fuentes, como imágenes satelitales, levantamientos topográficos o bases de datos con información cartográfica (Miraglia, 2019).

7.10.7. ArcGIS

Actualmente, ArcGIS no solo es una tecnología para elaborar mapas, sino que también es una infraestructura basada en la nube que posibilita la colaboración y el uso compartido de la

información geográfica. A lo largo del tiempo, el manejo de la información geográfica ha evolucionado debe ser una herramienta única para el análisis y procesamiento de datos especiales, hasta convertirse en un conjunto integral de aplicaciones interconectadas. Su característica más destacada radica en ser un Sistema de Información Geográfica (SIG) diseñado para operar eficiente a nivel multiusuario (Quesada-Quirós et al., 2019) .

La tecnología está compuesta de una amplia gama de productos de software que permiten crear, administrar, manipular, editar, analizar y distribuir la información geográfica (Mateo et al., 2021). Cada producto se ha concebido y diseñado para llevar a cabo todas las etapas de un proyecto SIG. Estas herramientas ofrecen una variedad de funcionalidades que posibilitan:

- Generar datos geográficos con digitalización asistida.
- Dibujar y editar entidades directamente en un mapa.
- Trabajar en dispositivos móviles para actualizar datos en tiempo real.
- Sintetizar información proveniente de diferentes fuentes.
- Almacenar la información en una base de datos geográficos.
- Ejecutar operaciones de análisis espacial.
- Diseñar y calcular redes.

7.10.8. Modelos de Circulación Global o General

Los Modelos de Circulación Global o General (MGG o GCM) por sus siglas en inglés, General Circulation Models, son herramientas utilizadas en climatológica y meteorología para simular y prever el comportamiento el clima a escala global. Estos modelos emplean ecuaciones matemáticas complejas para representar proceso físicos, químicos y dinámicos que tiene lugar en la superficie terrestre (Guevara et al., 2018).

Los GCM son capaces de simular interacciones complejas entre factores atmosféricos, como la radiación solar, la temperatura, la humedad, los vientos, entre otros. Utilizan la red de puntos o celdas tridimensionales que cubre la Tierra para dividir y simular los procesos físicos de cada región (Puga et al., 2020). Este modelo es fundamental para comprender el clima global, pronosticar patrones climáticos a lo largo plazo y es una herramienta esencial para la toma de decisiones ambientales.

7.10.9. Modelo de Distribución Global MIROC5

El Modelo de Distribución Espacial MIROC5 nos habilita para realizar un análisis detallado de como las especies pueden ser afectadas. Es importante resaltar que MIROC es un acrónimo que representa “Model for Interdisciplinary Research on Climate”, que en español se traduce como

“Modelo para Investigación Interdisciplinaria del Clima”. Además, evidencia un impacto significativo al actualizar los esquemas de parametrización en el clima y al mejorar la resolución del modelo (Moya, 2018). Este enfoque permite una comprensión más profunda de como los cambios en los parámetros y la precisión del modelo influyen en las proyecciones sobre la distribución de las especies.

Este tipo de modelos son esenciales para comprender de mejor manera el comportamiento del clima y sus posibles cambios en el futuro. Este modelo es desarrollado por el Centro de Investigación sobre Cambio Climático y Desarrollo Global (Center for Climate System Research, CCRS) de la Universidad de Tokio. El modelo MIROC5 es utilizado en la investigación científica para simular el comportamiento del clima en la Tierra (Herrera-Feijoo et al., 2021).

7.10.10. Modelo de distribución global HADGEM2-ES

HADGEM2, acrónimo de Hadley Center Global Environment Model versión 2, abarca una serie de configuraciones específicas que presentan diferentes niveles de complejidad. Estas variantes comparten un marco físico común, lo que posibilita la creación de modelos de distribución. Este enfoque modular permite ajustar la complejidad según las necesidades, manteniendo una base física uniforme para la evaluación de la distribución actual y futura (Barrera et al., 2020).

El modelo HADGEM2-ES fue desarrollado por el Met Office Hadley Centre, que es parte del Servicio Meteorológico del Reino Unido, y por el Instituto de Ciencias del Clima y Medio Ambiente de España. Un punto importante del modelo es que puede ser ejecutado bajo diferentes escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y otros forzamientos climáticos para evaluar al clima como podría cambiar en el futuro (Jian Lui, 2020).

- Sendas Representativas de Concentración (RCP)

Por sus siglas en inglés Representative Concentration Pathways son un conjunto de escenarios que describen diferentes trayectorias futuras de concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero y otras sustancias que influyen en el clima (Pérez et al., 2018) Estos escenarios son utilizados en modelos climáticos para proyectar como podrían evolucionar las concentraciones de estos gases a lo largo del tiempo, dependiendo de las decisiones humanas, las actividades económicas y los cambios de las emisiones (Pastor Saavedra et al., 2018)

Cuenta con una base de datos de alta resolución espacial que incluye emisiones de sustancias clasificadas por sectores, así como las emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI). Además, proporciona proyecciones del uso del suelo hasta el 2100. En base

de datos que se fundamenta en la conjunción de diversos modelos, que varían en su complejidad, enfocados en la química de la atmósfera y el ciclo del carbono (Carrillo et al., 2020). Los RCP son herramientas importantes para explorar y comprender los posibles futuros climáticos y evaluar sus impactos en diferentes contextos y regiones.

Las cuatro trayectorias RCP abarcan los diferentes escenarios: uno donde los esfuerzos de mitigación llevan a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP 2.6), dos escenarios de estabilización (RCP 4.5 y RCP 6.0). Estos nuevos RCP consideran el impacto de políticas destinadas en los escenarios de emisiones utilizados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) (Miranda et al., 2019).

- **RCP 2.6:** es el escenario más favorable en proyecciones, para el período 2046-2065, puede cumplir el objetivo de mantener la temperatura media global en superficie en el límite de 2°C (rango probable de 0.4-1.6 °C). En cuanto al forzamiento radiactivo, se alcanza un pico de 3 W/m² antes del 2100 y luego de este año desciende hasta los 2.6 W/m². Como los cambios en el nivel medio global del mar se prevé un rango probable de 0.117-0.31m, un calentamiento del océano en los primeros 100 m de profundidad en 0.6°C. en cuanto a las concentraciones de CO₂ para este escenario se proyectan 421 ppm (Facio & Coto, 2016).
- **RCP 8.5:** es el escenario extremo opuesto, considera un incremento muy alto de las emisiones. Alcanza 8.5 W/m², en cuanto a las concentraciones definidas de CO₂ para este escenario se proyectan unos 1317 ppm en 2100 y no se estabilizan hasta el 2050 (Toledo & López, 2021). Es importante recalcar las características del escenario: no se implementan medidas significativas para reducir las emisiones y se continúa dependiendo de los combustibles fósiles. Además, debido al impacto severo se proyecta un escenario de cambio climático extremo, con mayores aumentos de temperatura global, cambios en los patrones de precipitación y otros impactos asociados (Met Office, 2019).

8. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Mediante el modelo de máxima entropía se logra predecir la distribución futura de la especie invasora *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador?

Respuesta: Sí, el modelo de máxima entropía fue efectivo para predecir la distribución futura de la especie invasora *Thunbergia alata Sims*. Este éxito se fundamentó principalmente en la

capacidad del modelo para proporcionar las estimaciones probabilísticas de la idoneidad del área de establecimiento de la especie, utilizando las variables bioclimáticas y los registros de presencia de la especie invasora. En el estudio, se recopilieron los datos detallados sobre las condiciones ambientales actuales en las áreas donde la especie está presente en las diferentes ubicaciones en la región interandina del Ecuador. Además, el modelo de máxima entropía estableció una relación sólida entre los datos conocidos y permitió obtener las estimaciones fiables de idoneidad. La eficacia del modelo dependió de la cantidad y calidad de los datos que se utilizó en el entrenamiento.

El modelo de máxima entropía presenta varias ventajas en la distribución de la especie invasora, debido a su flexibilidad que permiten adaptarse a los datos, lo que resultó beneficioso cuando la información fue escasa en ciertas provincias de la región. Además, fue capaz de incorporar eficazmente múltiples variables bioclimáticas como son la temperatura y precipitación. La utilización de este modelo incorpora en una de las características principales, cuando se dispone de limitada información sobre la distribución de la especie, lo que generó como resultado una distribución de probabilidad futura que fue coherente con la información disponible.

9. METODOLOGÍA

9.1. Localización

9.1.1. Ubicación del área de estudio

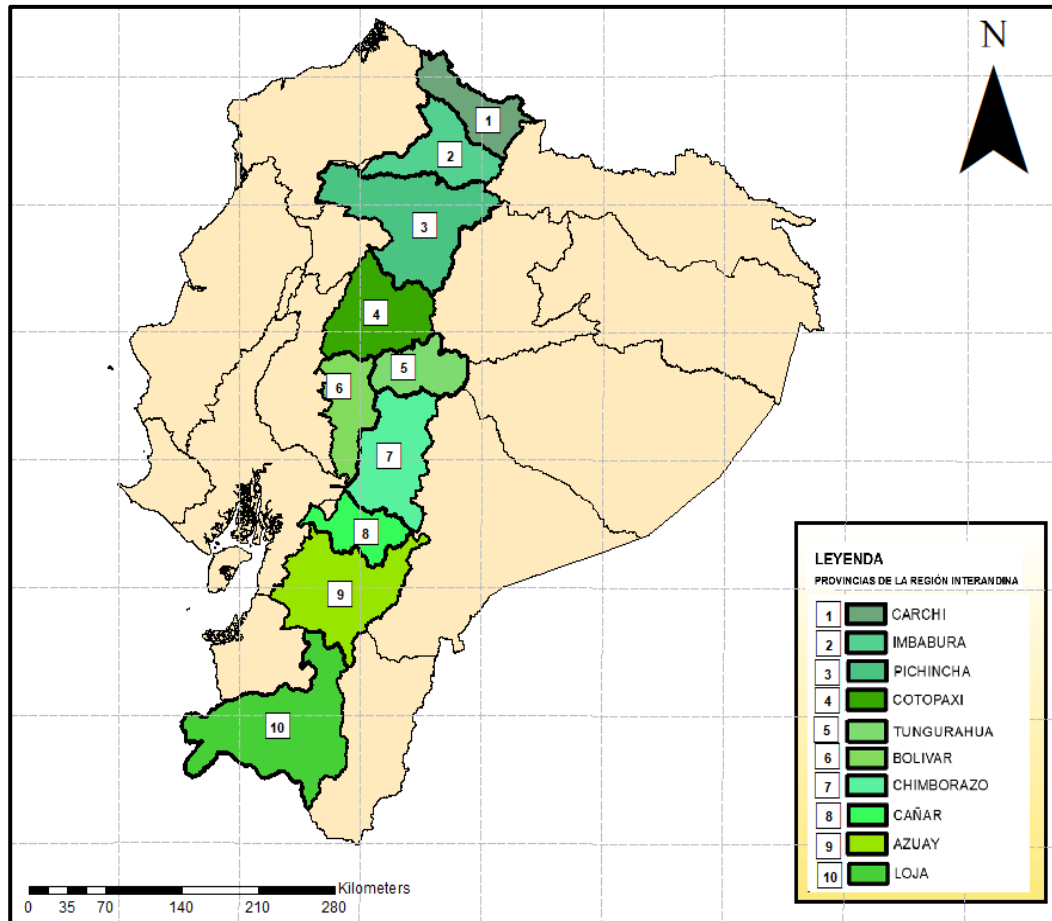
El proyecto se desarrolló en la región interandina del Ecuador, (ver Figura 7), que constituye una parte significativa del territorio ecuatoriano, abarcando la porción central de la Cordillera de los Andes. Esta área geográfica se caracteriza por su topografía montañosa, donde se intercalan valles, llanuras elevadas a diversas altitudes. La Sierra tiene una elevación media de 3 500 metros sobre el nivel del mar. El área total del estudio es de 59 928 Km² y está conformada por 10 provincias: Loja, Azuay, Cañar, Chimborazo, Bolívar, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura y Carchi (López Gabriel et al., 2020).

Esta región alberga una gran biodiversidad, con una variedad de ecosistemas que van desde los páramos hasta los bosques montanos. Según estudios de (Basantes et al., 2021), la diversidad biológica en la Sierra ecuatoriana es esencial para el equilibrio y proporciona servicios ambientales clave, como la regulación del agua y la conservación del suelo. En términos generales, la región exhibe dos épocas principalmente, la época seca que generalmente se extiende de junio a septiembre, caracterizándose por condiciones más secas y temperaturas

moderadas. Mientras que la época húmeda que abarca de octubre a mayo presenta precipitaciones más intensas y temperaturas variables (Vistín et al., 2022).

Figura 7.

Mapa de las provincias de la región interandina del Ecuador.



Nota. La figura representa el área de estudio establecida para el desarrollo del proyecto.

Elaborado por: Navas Paulina

9.2. Tipo de investigación

9.2.1. Exploratoria

Para la elaboración de los mapas de distribución actual y futura de la especie *Thunbergia alata Sims*, se utilizó la investigación exploratoria, debido a que permitió identificar los patrones de distribución, factores ambientales asociados y posibles variables influyentes. A través de la revisión bibliográfica y la recopilación de información preliminar, buscando así una visión general de los contextos geográficos, climáticos y ecológicos que rodean a esta especie invasora. En última instancia, la investigación exploratoria fue crucial para establecer la base conceptual y metodológica necesaria para el estudio más profundo de la distribución actual y

futura de la especie contribuyendo así a la generación significativa en este campo y ofreciendo perspectivas valiosas para la gestión de la especie.

9.2.2. Descriptiva

Desempeñó un papel fundamental en el enfoque hacia el análisis de la distribución de la especie debido a que fue herramienta esencial para proporcionar una visión detallada y sistemática de los patrones y características asociadas de esta especie específica. En este contexto, la investigación científica permitió documentar la presencia y abundancia de la especie específica, tanto en la actualidad como proyectando a condiciones futuras. Analizando de manera eficiente las características del hábitat, las condiciones climáticas predominantes y otros factores relevantes que puedan influir en la distribución de esta especie.

9.3. Métodos de investigación

9.3.1. Analítico

A través del método inductivo, permitió evaluar la afectación de la distribución de la especie *Thunbergia alata Sims* de esa manera se identificó las zonas afectadas, las que sean más susceptibles a impactos de esta especie. Este método ayudó a conocer el objeto de estudio y sus características con lo que se puede comprender el comportamiento y naturaleza de la especie. Con la ayuda de este método se analizaron las condiciones climáticas de la región interandina del Ecuador; asimismo, mejoró la comprensión de los factores que determinaron la distribución actual y futura. Esta aproximación analítica permitió discernir patrones, entender interacciones y proporcionar una base sólida para la formulación de conclusiones y recomendaciones.

9.3.2. Inductivo

Con el método inductivo, inició la investigación con observaciones específicas y datos de presencia recopilados de la especie que constituye un enfoque esencial para explorar, comprender y analizar de manera sistemática las complejidades asociadas a la presencia de la especie. Gestionando los registros de la presencia de la especie en la región interandina en Ecuador, obtenido a través de fuentes secundarias y variables bioclimáticas, se ha introducido la base de datos recopilada en varios programas, permitiendo anticipar la posible distribución.

9.3.3. Bibliográfico

Se aplicó mediante la búsqueda de información y registros de la presencia de la especie *Thunbergia alata Sims* documentos, tesis, libros y artículos donde el criterio de búsqueda con palabras clave que fueron distribución, modelamiento, especie, variables bioclimáticas, Modelos de Circulación Global, Área Bajo la Curva, obteniendo así información, la cual fue analizada y posteriormente utilizada en la redacción del proyecto. Este proceso aseguró la

eficacia del contenido, al incorporar datos fundamentales y respaldar argumentos de manera sólida.

9.4. Técnica

9.4.1. Análisis de datos

Mediante esta técnica se contrastó los datos ambientales obtenidos para el desarrollo del proyecto lo que implicó en análisis de los puntos de presencia de la especie, se llevó a cabo un proceso sistemático de depuración y validación. Además de las variables bioclimáticas representan principalmente aspectos climáticos y meteorológicos que permiten analizar al modelo en la relación entre las condiciones climáticas actuales y la presencia de la especie, lo cual facilita la identificación de patrones y preferencias climáticas de la *Thunbergia alata Sims*, contribuyendo a la predicción de su distribución donde aún no se ha registrado.

9.5. Instrumentos

9.5.1. Excel

El software se utilizó para construir la base de datos destinadas a ser ingresadas al programa ArcGIS, este proceso tuvo como objetivo principal la creación de los modelos de distribución. Es esencial en todas las etapas de la investigación, desde la organización de los datos hasta la generación de información visualmente clara analítica significativamente. Su versatilidad y capacidad para manipular datos de manera eficiente han enriquecido notablemente el enfoque metodológico.

9.5.2. ArcGIS

El empleo de manera integral el software ArcGIS, se integraron los datos ambientales, registros de presencia de la especie *Thunbergia alata Sims* y variables bioclimáticas en un entorno geoespacial. Lo cual permitió mapear y analizar la distribución actual y futura de la especie de estudio. Esta funcionalidad enriqueció a la investigación para proporcionar una perspectiva sobre cómo podría evolucionar la especie con el tiempo.

5.1.1. Software RStudio

Se empleó como una herramienta analítica para evaluar la distribución actual y prever posibles cambios futuros de la especie, a través de este proceso, se generó la matriz de la Correlación de Pearson, que examinó las relaciones estadísticas entre las variables bioclimáticas y la información registrada de presencia en la base de datos. Con una interfaz personalizada, RStudio su versatilidad y amplia gama de características que tiene un entorno eficiente para el desarrollo y análisis de código R, contribuyendo significativamente a la investigación.

5.1.2. Software MaxEnt

Esencial en la investigación, proporcionando una herramienta valiosa para la modelación precisa de la distribución actual y futura de la especie. Su capacidad de integrar datos complejos y generar proyecciones robustas enriquece significativamente el análisis ambiental. El software permitió proyectar los modelos a condiciones futuras para los años 2050 y 2080, integrando escenarios climáticos RCP 2.6 y 8.5 previstos, bajo los modelos climáticos MIROC5 y HADGEM2-ES. Este enfoque prospectivo nos ha capacitado para anticipar como los posibles cambios en las condiciones ambientales podrían influir en la distribución de la especie.

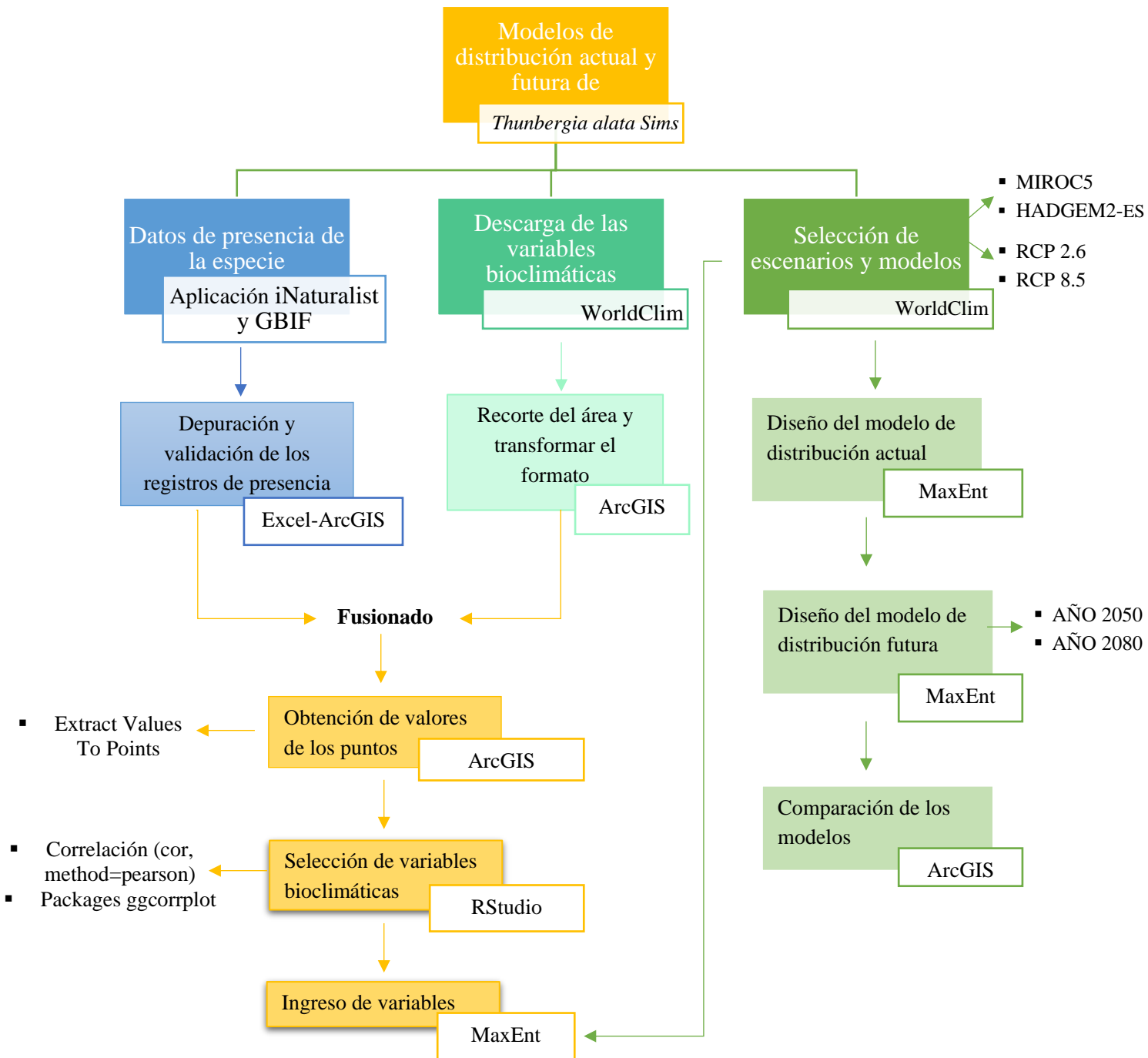
5.2. Metodología del modelamiento

5.2.1. Modelos de distribución

Para la ejecución del modelamiento de la distribución de la especie *Thunbergia alata Sims* se empleó una serie de pasos consecutivos, como se muestran en la Figura 8, para la obtención del resultado. En la primera fase, comprendida en la obtención de base a los datos de los registros de la especie en la región interandina del Ecuador mediante las aplicaciones iNaturalist y Global Biodiversity Information Facility. Por consiguiente, mediante el programa ArcGIS se procedió a la validación y depuración de los registros de datos de la especie. Posteriormente, se llevó a cabo la asociación de las variables bioclimáticas obtenidas de la página WorldClim en formato ASCII, logrando así interpretar la posibilidad de incidencia de la especie en diferentes especies de la región Sierra. Después de establecer esta relación, se introdujo en RStudio para realizar la correlación de las variables bioclimáticas y obtener el coeficiente de la correlación de Pearson. Este análisis resulta fundamental para optimizar la creación de modelos de distribución actuales y futuros de la *Thunbergia alata Sims* en la región Interandina del Ecuador.

Figura 8.

Esquema de flujo para la generación de los modelos de distribución de la especie



Nota. La figura representa las diferentes fases de la metodología utilizada para la ejecución del proyecto.

5.2.2. Registros de presencia

Se descargaron los registros de presencia de la especie *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador fueron descargados de las aplicaciones iNaturalistEc y Global Biodiversity Information Facility (GBIF), mismas que brindaron la base de datos con fiabilidad y accesibilidad de estas plataformas colaborativas de ciencia ciudadanía. Además, de tener una comunidad en línea que permite a observadores de la naturaleza compartir sus avistamientos y contribuir a la base de datos globales de la especie.

5.2.3. Depuración de los registros de presencia

Todos los registros obtenidos de presencia de la especie se filtraron para eliminar aquellos puntos sin información geográfica, coordenadas incompletas o ubicaciones en el océano. Además, se eliminaron todos los datos que presentaban discrepancia entre los datos de presencia de la especie invasora y las coordenadas, así como los que aparecen repetidos de un mismo píxel o a una distancia menor a 1 Km. En el software ArcGIS, sobre el mapa de la región interandina del Ecuador se ubicaron todos los registros de presencia, para de esta forma visualizar donde se encuentra la especie representada.

5.2.4. Validación de los registros de presencia

Dentro del proceso de validación de los datos se llevó a cabo visitas de campo para confirmar la presencia actual de la especie invasora *Thunbergia alata Sims* en las ubicaciones registradas. Este riguroso proceso de validación fortaleció la integridad de los datos utilizados en el estudio, proporcionando así una base confiable para el análisis siguiente. La validación de los registros de presencia también incluyó la verificación de la coherencia temporal y espacial de los registros, asegurando que estuvieran en concordancia con las coordenadas proporcionadas por las plataformas iNaturalistEc y Global Biodiversity Information Facility.

5.2.5. Variables bioclimáticas

Para investigar la actual incidencia y evaluar la potencial propagación de la especie *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador, debido al cambio climático, se utilizaron variables, modelos de distribución espacial, teniendo en cuenta además los escenarios futuros.

- **Presente:** Se utilizaron variables bioclimáticas con una resolución de 30 Arc-segundos, obtenidas de la capa de las provincias correspondientes a la región interandina ecuatoriana. Estos datos corresponden a la versión 2.1 de WorldClim para el período de 1970-2000 la misma fue lanzada en enero del 2020 (Araujo De Oliveira et al., 2019). Dentro de las 19 variables bioclimáticas obtenidas de WorldClim que se presentan en la Tabla 4, misma que

cada año son actualizadas dentro de la base de datos. Mediante el software RStudio se procedió a efectuar la correlación de Pearson entre las variables para determinar cuáles son las que aplicaban dentro del proyecto.

Tabla 4.

Variables bioclimáticas obtenidas de WorldClim.

ID	Variables	Descripción
BIO1	Temperatura media anual (°C)	La temperatura media de cada mes constituye la suma total de las entradas de energía en un ecosistema.
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)	La variación mensual entre la temperatura máxima y mínima representa la fluctuación térmica que cada especie experimenta.
BIO3	Isotermalidad (°C)	Mide las temperaturas diurnas y nocturnas en relación con las variables estacionales de verano a invierno, siendo el resultado de la división entre los índices Bio 2 y Bio 7.
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, %)	La cantidad de variación de temperatura a lo largo de un año específico (o promedio de varios años) se determina mediante la desviación mediante la desviación estándar de los promedios mensuales de temperatura.
BIO5	Temperatura máxima media del período más cálido (°C)	Temperatura máxima mensual durante un tiempo, año o período promedio de años.
BIO6	Temperatura mínima media del período más frío (°C)	Temperatura mínima mensual durante un tiempo, año o período promedio de años.
BIO7	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)	Variación de temperatura durante un período determinado. Es la resta entre BIO5 y BIO6.
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo (°C)	Índice trimestral de aproximación a temperaturas medias que prevalecen durante el trimestre más húmedo.

BIO9	Temperatura media del cuatrimestre más seco (°C)	Índice trimestral que indica la proximidad a las temperaturas medias predominantes durante el trimestre más seco.
BIO10	Temperatura media del cuatrimestre más cálido (°C)	Índice trimestral que refleja la aproximación a las temperaturas 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 período más lluvioso (mm)	Precipitación total que prevalece durante el mes más lluvioso.
BIO14	Precipitación del período más seco (mm)	Cantidad total de precipitación registrada durante el mes de menor pluviosidad.
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)	Variaciones totales mensuales de precipitación a lo largo del año.
BIO16	Cuatrimestre más lluvioso (mm)	Precipitación total que prevalece en el trimestre más húmedo.
BIO17	Cuatrimestre más seco (mm)	Precipitación total que prevalece en el trimestre más seco.
BIO18	Cuatrimestre más cálido (mm)	Precipitación total que prevalece en el trimestre más cálido.
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)	Precipitación total que prevalece en el trimestre más frío.

Nota. Esta tabla muestra las 19 variables bioclimáticas obtenidas de WorldClim, se detallan aspectos como las variables y la descripción de cada una de las mismas. Adaptado de *WorldClim*, por Fick, SE y RJ Hijmans, 2017, (<https://www.worldclim.org/>)

- **Futuro:** Para modelar la distribución de la especie *Thunbergia alata Sims*, en la región interandina del Ecuador, se emplearon las variables bioclimáticas correspondientes a los años 2050 y 2080. En cada uno de estos años, se aplicó el Modelo Global General (MCG) MIROC5, que corresponde a la quinta fase del Proyecto de Inter comparación de Modelos Climáticos. Además, se consideró dos escenarios para cada modelo de circulación global:

para cada modelo RCP 2.6 y RCP 8.5. “Considerando el 2.6 escenario optimista y el 8.5 escenario pesimista” (Guión Conceptos Básicos sobre Cambio Climático, s.f.). del Programa WorldClimate Research (WCRPs) y el modelo HADGEM2 ES.

5.2.6. Recursos estadísticos para el análisis de datos

Se llevó a cabo el análisis de las variables bioclimáticas en el programa RStudio, empleando la correlación de Pearson. Este método permitió la selección de aquellas variables bioclimáticas con menor correlación entre sí, pero que contribuyen de manera más efectiva a la elaboración de la distribución.

5.2.7. Modelos de distribución de la especie

MaxEnt: se llevó a cabo la elaboración de los modelos de distribución, tanto actuales como futuros para la especie *Thunbergia alata Sims*. Estos modelos se basaron en variables bioclimáticas obtenidas de WorldClim y en los registros de presencia de la especie. Para proyectar los modelos de distribución futura, se consideraron dos horizontes temporales: 2050 y 2080, bajo los escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5. En consecuencia, se generaron un total de cuatro modelos para el año 2050 y otros cuatro modelos para el año 2080, además del modelo de distribución actual de la especie.

En la creación de los modelos, se optó por curvas de respuesta, llevando a cabo pruebas de Jackknife y salida logística con un rango de 0 a 1, donde se considera aceptable un valor superior a 0.75. además, se estableció un umbral de convergencia de 500 iteraciones para eliminar duplicados en los registros de presencia. Con el objetivo de evita que se sobreajuste el modelo, se optó por utilizar el método de ejecución Bootstrap que es el sesgo y varianza de una estadística, el cual consistió en 10 réplicas con una división del conjunto de datos en un 25% de pruebas al azar y el 75% para ejecutar el programa (Li et al., 2020).

Obtenidos los modelos de distribución se analizaron mediante el área bajo la curva (Area Under the Curve) expuesto en la Tabla 5, el mismo que oscila entre 0 y 1, lo que conlleva a su interpretación, crucial para evaluar el rendimiento del modelo. Un valor de 1 indica perfecta discriminación, lo que implica que el modelo es capaz de distinguir con precisión entre las diferentes categorías. Por otro lado, un valor igual a 0,5 implica que el modelo no tiene la capacidad predictiva mejor que una selección al azar, es decir, no es capaz de discriminar adecuadamente. Finalmente, si el valor es menor a 0,5 esto indica un rendimiento del modelo inferior al azar, lo que implica que el modelo está realizando predicciones en la dirección opuesta a la correcta (Eysenbach & Levine, 2019).

Tabla 5.*Categorización del AUC (Área Bajo la Curva)*

Clasificación	Rangos
Excelente	1 – 0,90
Buena	0,90 – 0,80
Aceptable	0,80 – 0,70
Mala	0,70 – 0,60
No válida	0,60 – 0,50

Nota. Esta tabla muestra la clasificación de las Áreas bajo la Curva.
Tomado de *AMC Computing Surveys*, 55 (8), 1-37

De la misma manera se tuvo en cuenta la contribución de las variables bioclimáticas mediante las pruebas de Jackknife obtenidas a través del software MaxEnt. Estas pruebas fueron utilizadas para evaluar la importancia relativa de las variables en el modelo de distribución experimental con respecto a las condiciones bioclimáticas. “La prueba de Jackknife ayudó a estimar cuales variables tuvieron un papel más significativo en la ejecución del modelo” (Cao et al., 2021). El análisis de los modelos generados mediante el programa MaxEnt, se llevó a cabo la creación de modelos de distribución, identificando las áreas con mayor probabilidad de albergar la especie *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se exponen los hallazgos de la investigación, revelando resultados fundamentales obtenidos a través de la implementación de MaxEnt para el modelado de las distribución actual y futura de la especie *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador. Este proceso está sustentado en la integración de las variables bioclimáticas de WorldClim y los registros de presencia. A través de horizontes temporales para 2050 y 2080 bajo los Modelos de Circulación Global MIROC5 y HADGEM2-ES y bajo dos escenarios climáticos que son RCP 2.6 y 8.5, es así como se obtuvo se delinearón patrones de la presencia actual y los posibles cambios al futuro.

10.1. Registros de presencia de la *Thunbergia alata Sims*

El registro de presencia de la especie invasora *Thunbergia alata Sims* en la región interandina se obtuvo de las plataformas de iNaturalist y Global Biodiversity Information Facility- GBIF, identificándose un total de 1 407 registros de la especie inicialmente distribuidas en la región interandina, luego de una depuración y validación de los datos se logró obtener 260 datos de presencia de la especie, estos puntos están especificados por cada provincia, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.

Registros de presencia utilizados en el proyecto

Provincias	Número de presencia
Carchi	4
Imbabura	10
Pichincha	143
Cotopaxi	5
Bolívar	2
Tungurahua	15
Chimborazo	1
Cañar	1
Azuay	17
Loja	62
Total, de registros	260

Elaborado por: Navas Paulina

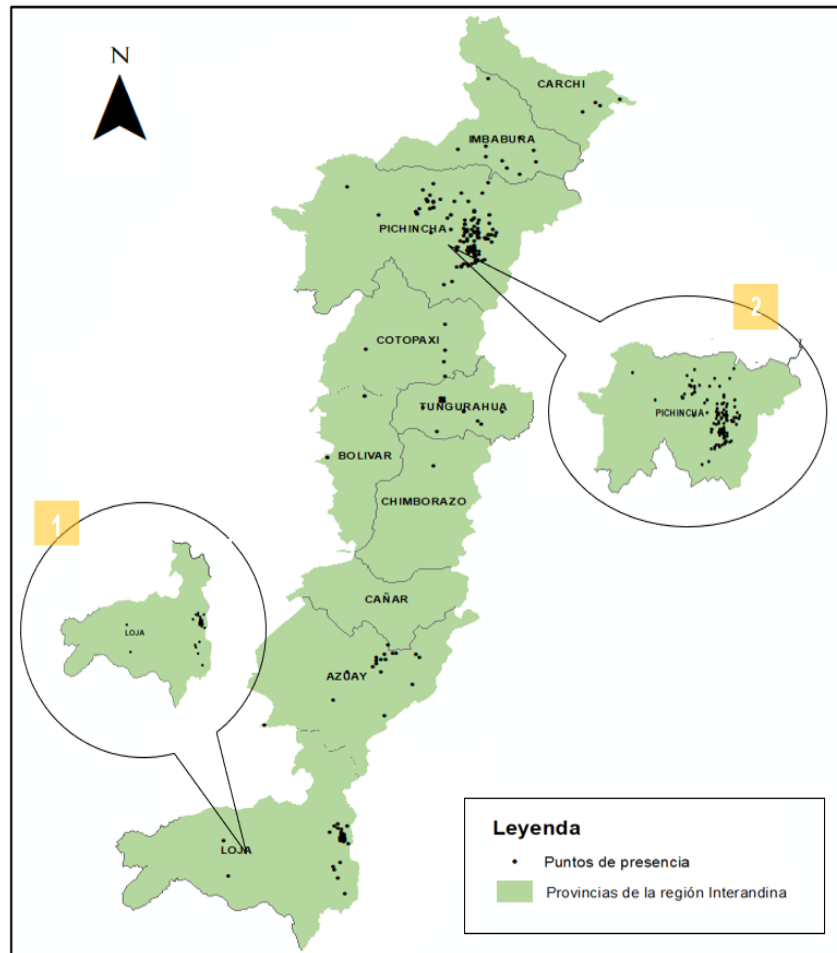
La presencia de la especie invasora *Thunbergia alata Sims*, varía significativamente en las diferentes provincias del Ecuador. En las provincias de Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo y Cañar no se registra una presencia significativa de la especie invasora. La ausencia de los registros de la especie puede ser atribuida a la combinación de varios factores como son la limitada participación de la comunidad en la observación y reporte de esta especie, la falta de conciencia sobre su presencia o la posibilidad de que la especie no esté extendida en las áreas cubiertas por la aplicación.

En contraste, las provincias de Pichincha y Loja son áreas donde se ha observado mayor presencia de la especie *Thunbergia alata Sims*. Esto puede deberse a las condiciones climáticas

ambientales más propicias para su desarrollo, junto con una posible introducción y propagación inadvertida de la especie en estas provincias (Abdel-Warith et al., 2020). Recalcando que esta especie es conocida por su rápido crecimiento y capacidad de adaptarse a diversos entornos, lo que podría explicar su prevalencia mayoritaria en estas áreas específicas.

Figura 9.

*Puntos de presencia de la especie *Thunbergia alata* Sims en la Sierra*



Elaborado por: Navas Paulina

En la Figura 9, representa los puntos de presencia de la especie invasora *Thunbergia alata* Sims distribuidos en la región interandina del Ecuador. Además, se observa una concentración significativa de estos puntos en las provincias de Pichincha (ver Figura 9.1) como de la provincia de Loja (ver Figura 9.2).

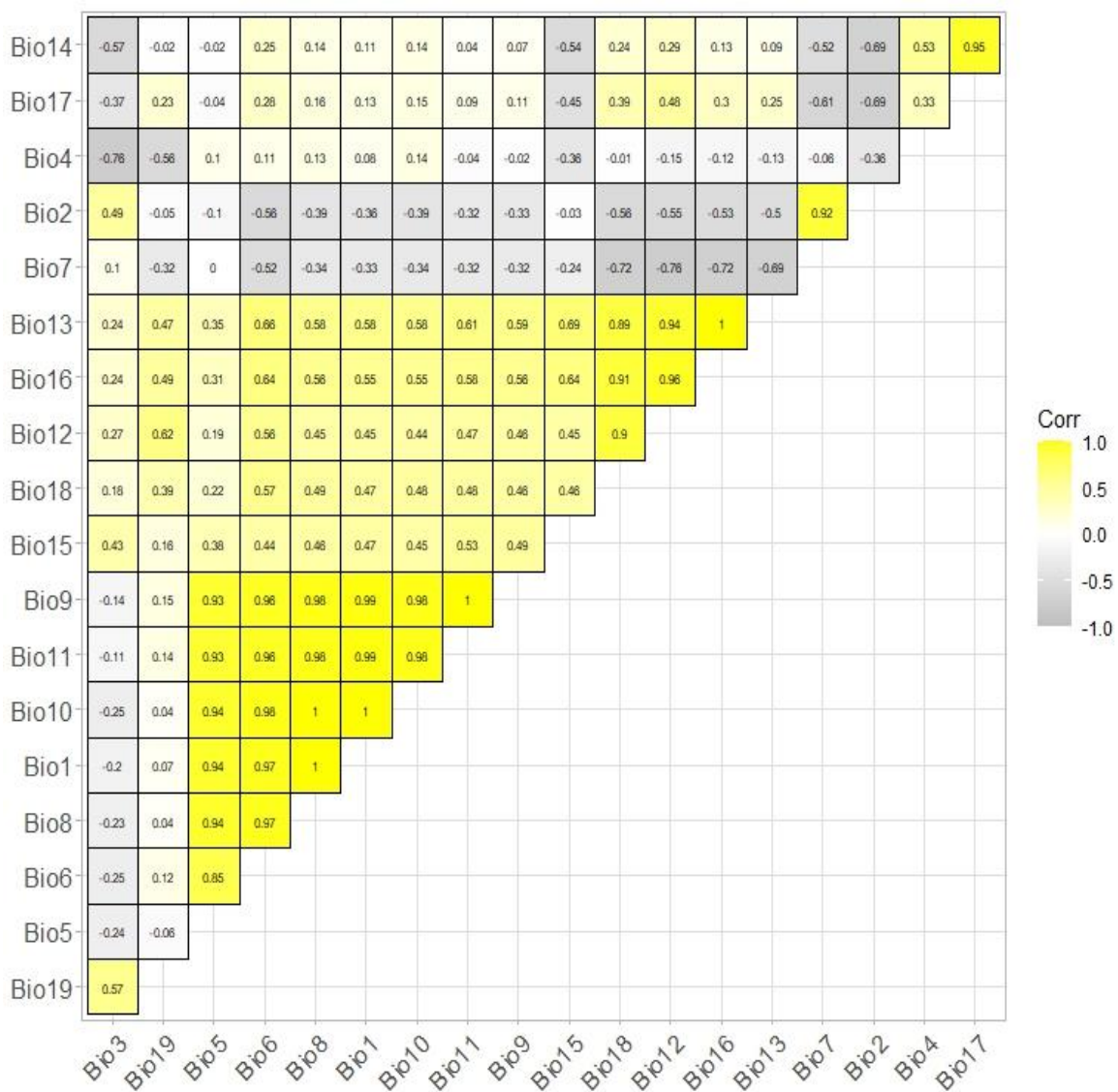
10.2. Variables Ambientales

Se realizó el análisis de las 19 variables bioclimáticas recopiladas de WorldClim, de la plataforma que se actualiza de manera anual. Estas variables fueron evaluadas mediante el software RStudio, para calcular la correlación de Pearson, cuyos resultados se presentan en la

Figura 10. Después de realizar el análisis, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura especializada, aplicando criterios específicos que incluyeron la disponibilidad de datos confiables y la relevancia teórica de las variables bioclimáticas en el marco de la ecología y biología. Este enfoque riguroso, en la selección de las variables bioclimáticas no solo fortalece la robustez de los resultados, sino que también asegura su significado, respaldando así la validez de los resultados obtenidos mediante el análisis de correlación de Pearson.

Figura 10.

Correlación de Pearson entre las 19 Variables Bioclimáticas



Elaborado por: Navas Paulina

Una vez analizada el resultado de la correlación de Pearson obtenido de RStudio se seleccionaron 9 variables bioclimáticas, escogiendo en un rango a partir de 0.75 a 1, a las cuales son descritas a continuación Tabla 7:

Tabla 7.

Variables bioclimáticas aplicadas al proyecto

Variables Bioclimáticas Seleccionadas		
Abreviaturas	Variabes bioclimáticas	Unidades
Bio 1	Temperatura media anual	
Bio 2	Oscilación diurna de la temperatura	
Bio 5	Temperatura máxima media del período más cálido	
Bio 6	Temperatura máxima media del período más frío	
Bio 7	Oscilación anual de la temperatura	°C
Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo	
Bio 9	Temperatura media del cuatrimestre más seco	
Bio 10	Temperatura media del cuatrimestre más cálido	
Bio 11	Temperatura media del cuatrimestre más frío	

Elaborado por: Navas Paulina

El empleo de estas variables es crucial para comprender el desarrollo de la especie invasora *Thunbergia alata Sims*, ya que revelan sus características fisiológicas y fenotípicas. En otras palabras, estas variables pueden ser indicativas de la capacidad de adaptación de la especie. Además, es factible que esta pueda tolerar a diversas condiciones ambientales.

La temperatura desempeña un papel fundamental en las relaciones identificadas, como se ha mencionado previamente, la variable asociada al rango de temperatura medio diurno puede ser especialmente relevante debido a la necesidad de la especie invasora de mantener rangos de temperatura variables.

10.3. Modelamiento de distribución de la especie

10.3.1. Evaluación estadística del modelo

El promedio del Área bajo la Curva calculado a partir de 10 datos mencionados en la Tabla 8, respecto a la posible expansión de la especie invasora *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador es de 0.9020. Este valor evidencia que los datos utilizados tienen una

alta capacidad predictiva, con una certeza superior al 90%, lo que resalta la fiabilidad de los modelos empleados para predecir la distribución de la especie invasora.

Tabla 8.

Validación estadística del AUC

Réplica	Presencia	Modelamiento	AUC
1	260	MaxEnt	0.906
2	260	MaxEnt	0.8969
3	260	MaxEnt	0.8969
4	260	MaxEnt	0.9136
5	260	MaxEnt	0.8924
6	260	MaxEnt	0.9053
7	260	MaxEnt	0.8983
8	260	MaxEnt	0.9019
9	260	MaxEnt	0.9035
10	260	MaxEnt	0.9063
Promedio			0.9020

Elaborado por: Navas Paulina

Es esencial mencionar que la metodología implementada en la presente investigación ha sido aplicada en otros estudios, como por ejemplo el modelo de distribución de *Polylepis incana* en los Andes ecuatorianos para estudios de fisiología vegetal y planes de rehabilitación forestal, mismo que obtuvo un resultado de Área bajo la Curva (AUC) de 0.979, demostrando que la relación es totalmente positiva en la que obtuvieron resultados satisfactorios con un AUC de valor mencionado anteriormente.

10.4. Resultados del modelo de distribución actual de la especie

- Resultado del Área Bajo la Curva de *Thunbergia alata* Sims

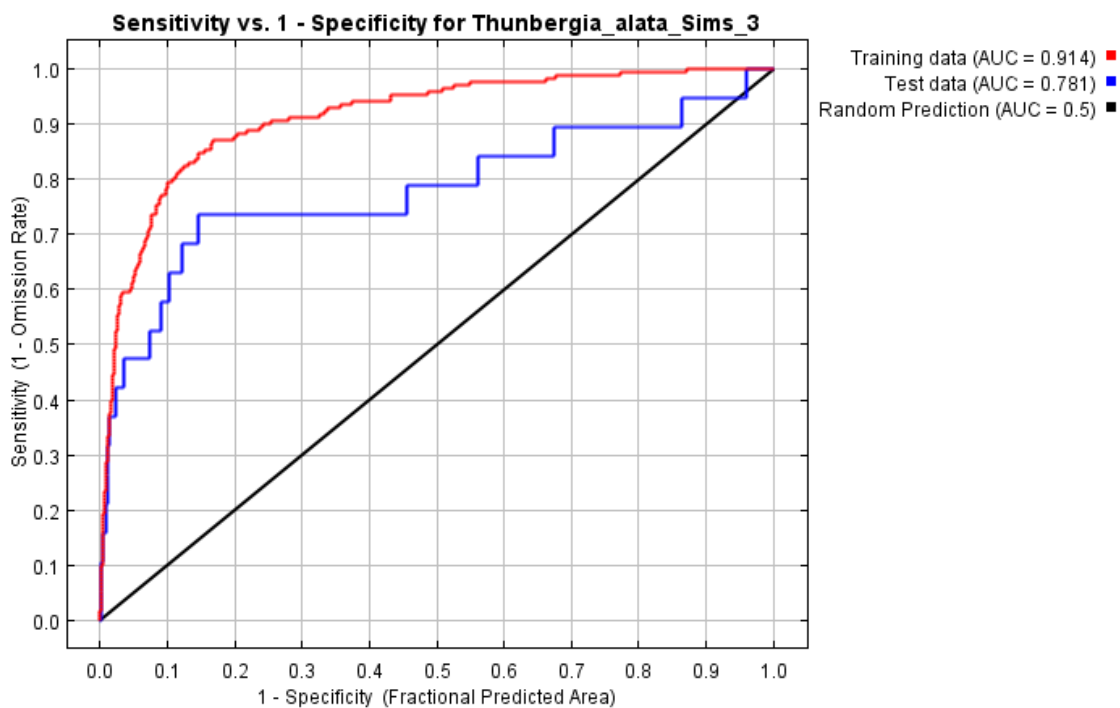
La representación gráfica presentada en la Figura 11, muestra la distribución estadística, la cual proporciona información crucial sobre la fiabilidad del modelo de distribución. Dentro de esta distribución de datos sirve como base fundamental para la aplicación de la prueba de Jackknife correspondiente. En cuanto al rendimiento, se logró un AUC de 0.914, lo que indica la precisión del modelo.

Los valores del AUC (Área Bajo la Curva) se emplean para evaluar la calidad del modelo. Cuando el AUC oscila entre 1 y 0.90, se considera que el modelo es excelente. Un rango de 0.90 a 0.80 indica un modelo de calidad, mientras los valores por debajo de 0.60 señala un

modelo inválido. Además, en relación con el análisis de las variables, se observa que aquellas barras azules son más largas, lo que sugieren mayor probabilidad de distribución para la especie invasora *Thunbergia alata Sims*. Este descubrimiento resalta la idoneidad de ciertas condiciones ambientales para el crecimiento óptimo de dicha especie, como se menciona en el trabajo de (Quiñones et al., 2019) (pág. 45).

Figura 11.

Área bajo la curva de la distribución actual



Fuente: Programa MaxEnt

Elaborado por: Navas Paulina

La representación gráfica muestra claramente la evaluación del modelo. La línea roja refleja el valor del AUC, que alcanza un 0.914 lo que demuestra la fiabilidad y la confiabilidad de los modelos en sus predicciones. Por su parte la selección azul representa la desviación estándar del AUC, situada en 0.005, obtenida a partir de las 10 réplicas realizadas. Asimismo, la línea negra señala la fiabilidad del modelo: cuanto más cercana este a uno mayor será la excelencia del modelo evaluado.

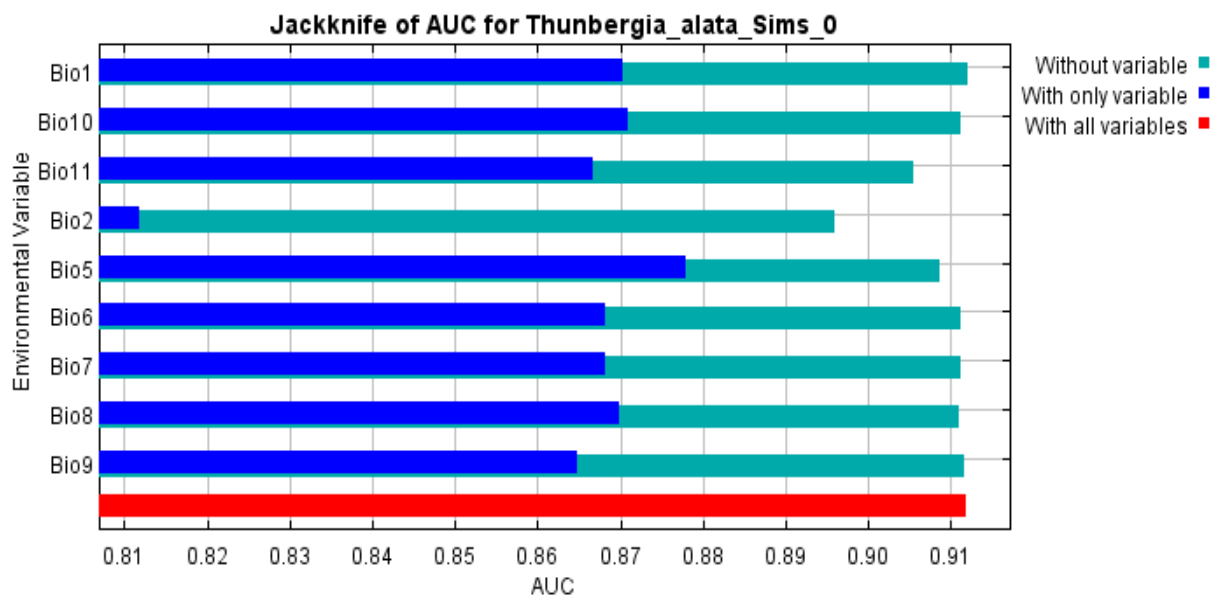
- Prueba de Jackknife correspondiente al AUC

En la Figura 12, se destaca la contribución de las variables bioclimáticas en la creación de los modelos de distribución. En esta evaluación, se identifican las variables que ofrecen mayor aporte cantidad de información al modelo, las cuales son: la Bio 5 correspondiente a la

temperatura máxima media del período (año) más cálido y Bio 10 que representa la temperatura media del cuatrimestre más cálido, estas variables presentan un mayor beneficio cuando se emplean de manera individual, señalando así las condiciones más propicias para la existencia de la especie. Por otra parte, la Bio 2 correspondiente a la oscilación diurna de la temperatura es la variable de menor aporte en el modelo.

Figura 12.

Prueba de Jackknife de las variables bioclimáticas – Actual



Fuente: Programa MaxEnt

Elaborado por: Navas Paulina

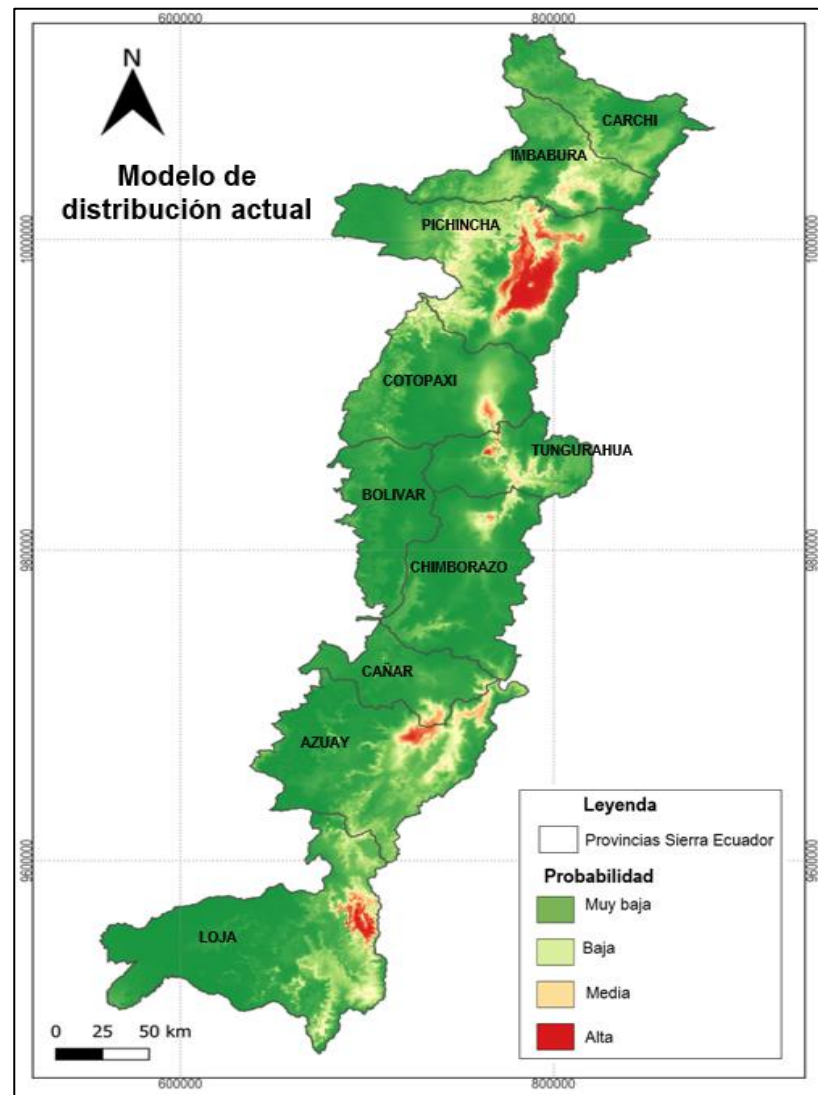
En la Figura 12, indica que las barras de color azul es el rango de importancia de las variables con la que han contribuido el modelo para la presencia o idoneidad para la especie *Thunbergia alta Sims*. Cabe indicar que el presente gráfico, muestra que la especie es sensible a las condiciones climáticas, y se ha observado que su crecimiento y desarrollo están estrechamente relacionados con ciertos factores ambientales. La temperatura máxima media durante el período más cálido del año tiene un impacto significativo en esta especie, ya que las temperaturas extremadamente altas pueden afectar su capacidad de crecer y florecer adecuadamente. Por otro lado, la temperatura media durante el cuatrimestre más cálido también juega un papel crucial, ya que temperaturas muy bajas pueden influir negativamente en su germinación, crecimiento y supervivencia durante esta etapa.

Estudios previos y observaciones empíricas han destacado la importancia de estos parámetros climáticos en el comportamiento fenológico y fisiológico de la *Thunbergia alta Sims*. Las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, pueden limitar su capacidad para llevar a cabo

procesos metabólicos esenciales. A su vez, han demostrado la sensibilidad de esta especie a las variaciones térmicas, destacando como las condiciones extremas de temperatura, tanto en períodos cálidos como fríos, pueden restringir el desarrollo óptimo, en última instancia, impactar a la salud y la vitalidad. Por tanto, la relación entre la temperatura máxima en el período cálido y la temperatura media en el cuatrimestre cálido son fundamentales para comprender y predecir el crecimiento de la especie (Pérez-Irineo et al., 2019).

10.4.1. Modelo de distribución actual

Para delimitar con precisión el área específica, se estableció el umbral promedio en el mapa de distribución de la especie, el cual exhibe un AUC de 0.914. Este valor refleja un modelo altamente confiable para su evaluación, al analizar el mapa las provincias que son predominantes en la distribución de la especie *Thunbergia alata Sims* se localizan exclusivamente en: Pichincha, Loja y Azuay.

Figura 13.*Modelo de distribución actual***Elaborado por:** Navas Paulina

El modelo de distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims*, en la región interandina del Ecuador, como muestra la Figura 13, están clasificadas en probabilidad de establecimiento con una clasificación de probabilidad muy baja, baja, media y alta. El color rojo representa las áreas con probabilidad alta de establecimiento de la especie con un total de 4 920.09 Km² lo que equivale a un 8.21%, una probabilidad media representado con el color anaranjado indica área de 5 765.07 Km² que equivale al 9.62%, el color verde claro representa una baja probabilidad con un área de 11 206.54 Km² que equivale un 18.70%, mientras que el color verde oscuro indica una probabilidad muy baja de presencia de la especie 38 036.30 km el cual equivale a un 63.47%, conforme con las variables utilizadas en este estudio.

Además, se logra observar que la mayor distribución de la especie *Thunbergia alata Sims* se sitúa en las provincias de Pichincha, Azuay, Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua y Loja. De igual manera se puede inferir que las provincias que presentan una menor distribución son Carchi, Cañar y Bolívar. Es crucial destacar que el mapa resalta los lugares con condiciones óptimas para la presencia de la especie. Los resultados presentados también están influidos por las coordenadas específicas de los registros de presencia utilizados en la construcción del modelo. Otra consideración importante es la geomorfología característica de la región interandina. Los lugares más adecuados para la presencia de la especie se encuentran en los fondos de los callejones interandinos, donde la temperatura es menor. Es evidente que las condiciones más propicias para el desarrollo de la especie se encuentran en los valles con óptimas temperaturas y regímenes estacionales de precipitación, factores que desempeñan un papel fundamental en la fase de expansión de la especie.

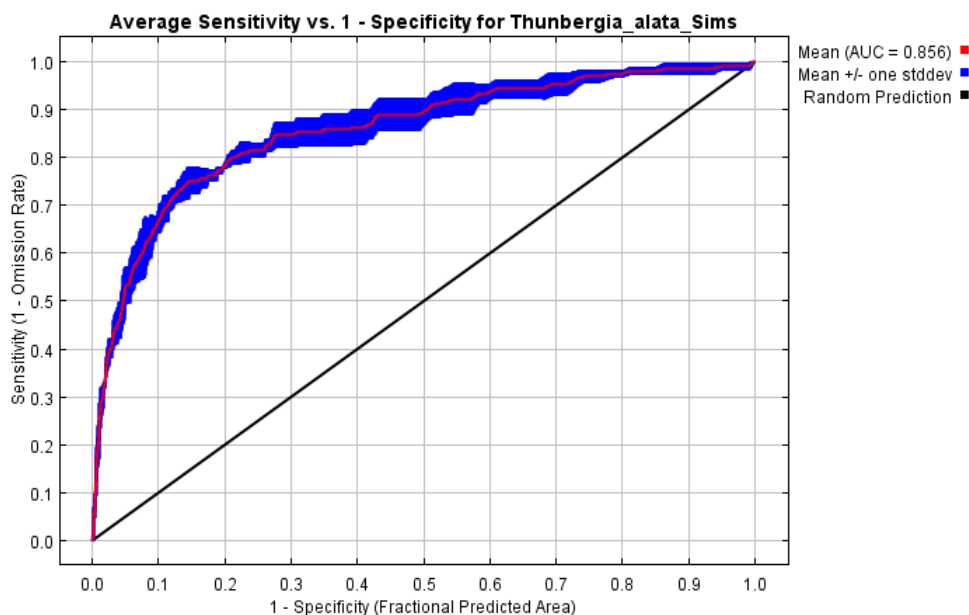
10.5. Resultados de los modelos de distribución de *Thunbergia alata Sims* bajo el modelo MIROC5 año 2050

- Resultado de AUC de *Thunbergia alata Sim* – RCP. 2.6 2050

El Área Bajo la Curva (AUC), para este modelo fue de 0.856, una vez más demostrando la confiabilidad para este modelo ya que no existe una variación en los resultados, como se muestra en la Figura 14.

Figura 14.

AUC Futuro 2050 escenario RCP 2.6 Modelo MIROC5



Elaborado por: Navas Paulina

En la figura presentada, de Average Sensitivity vs Specificity de la especie invasora *Thunbergia alata Sims*, utilizando en el contexto de la evaluación del rendimiento de modelos de máxima entropía (MaxEnt) el cual constituye una herramienta visual significativa. La Sensibilidad, también conocida como Tasa de Verdaderos Positivos, representa la proporción de casos positivos correctamente identificados por el modelo en relación con el total real de casos positivos. Por otro lado, la Especificidad, o Tasa de Verdaderos Negativos, mide la capacidad del modelo para identificar correctamente casos negativos en relación con el total real de casos negativos.

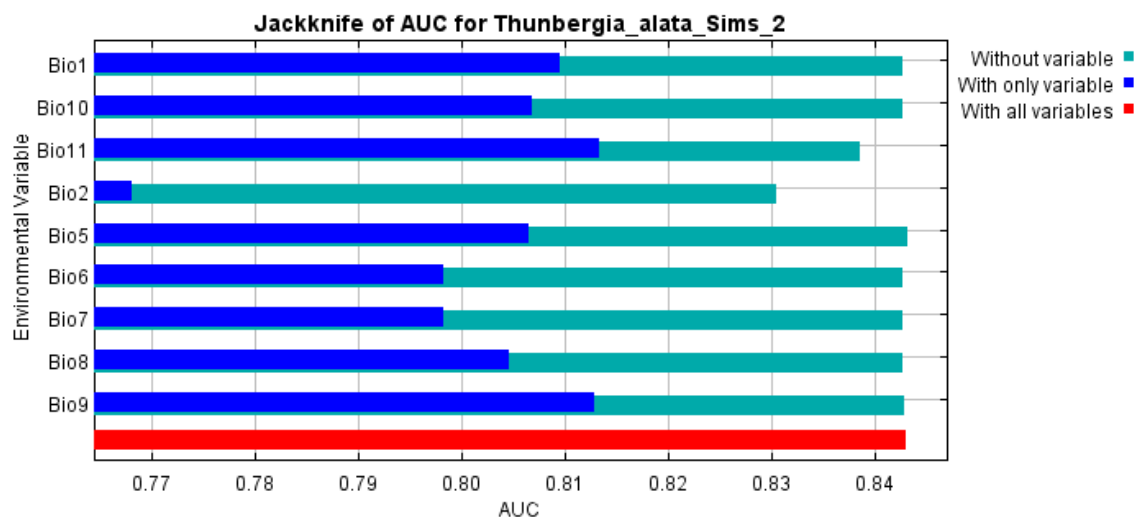
Como se puede observar el modelo es ideal debido a que tiene puntos en la esquina superior izquierda, lo que indica la alta sensibilidad y especificidad. Tomando en cuenta que el gráfico indica la capacidad de seleccionar el umbral de probabilidad óptimo. Es así como se facilitó la identificación del umbral con un valor superior al 0.75 lo que se adecua a la minimización de falsos negativos o falsos positivos.

- Prueba Jackknife correspondiente al AUC

De acuerdo con la Figura 15, se evidencia que mediante esta prueba se puede observar que las variables de mayor aporte para el modelo fueron las variables Bio 11 equivalente a la temperatura media de cuatrimestre más frío se representa mediante la Bio 6, mientras que la Bio 9 refleja la temperatura media del cuatrimestre más seco. Por otro lado, las variables bioclimáticas con menor probabilidad es la Bio 6, la cual representa la oscilación diaria de la temperatura.

Figura 15.

Prueba de Jackknife Futuro 2050 escenario RCP 2.6 Modelo MIROC5



Elaborado por: Navas Paulina

La Prueba de Jackknife de AUC, es una técnica estadística que permitió evaluar la robustez y estabilidad del modelo, cada una de las variables bioclimáticas desempeñan un papel crucial en el rendimiento del modelo. Dentro del gráfico la línea roja representa la ganancia del modelo utilizando todas las variables, las líneas azules muestran la ganancia del modelo utilizando cada variable de manera aislada, y las líneas turquesas representan la ganancia del modelo cuando se excluye cada variable.

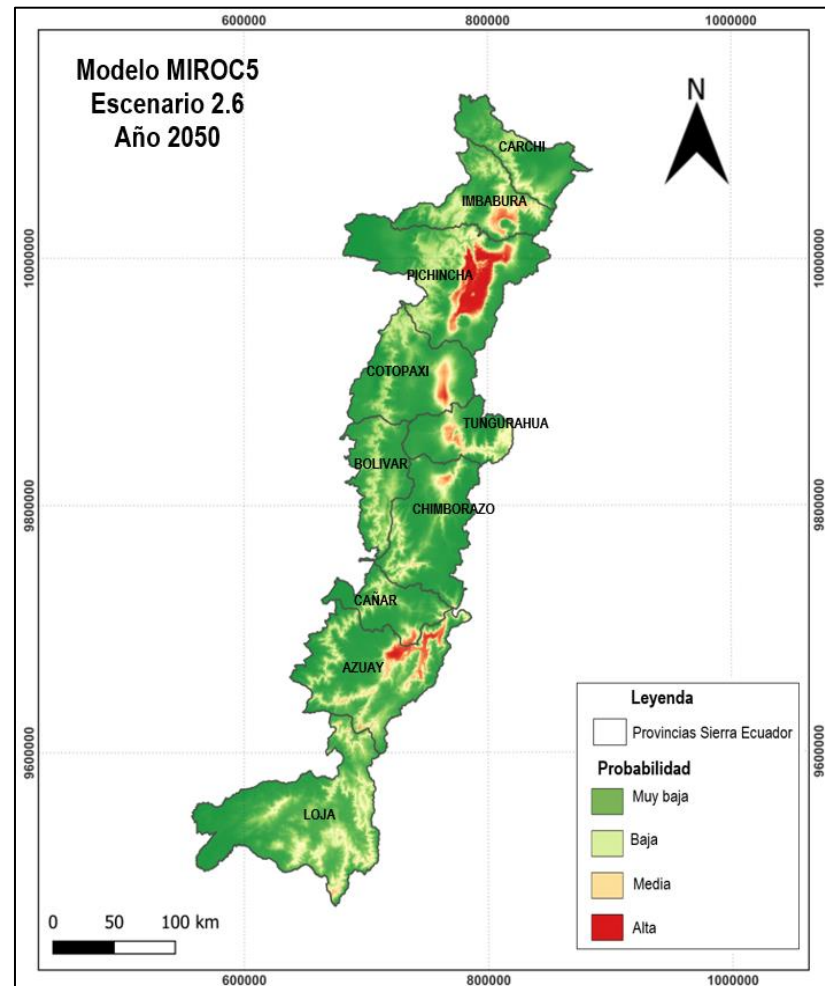
10.5.1. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global

MIROC5 RCP 2.6. año 2050

Se obtuvo la distribución bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 del escenario RCP 2.6 en el año 2050 como se muestra en la Figura 16, se observa una diferencia en la distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims*, con un aumento notable en la probabilidad de adaptabilidad, particularmente en las provincias de Bolívar, Carchi y Cañar. En este escenario se puede observar la presencia de la especie con mayor intensidad en las provincias de Pichincha, Azuay, Cotopaxi, Tungurahua, Imbabura y Chimborazo.

Figura 16.

Modelo de distribución 2050 MIROC5 RCP 2.6



Elaborado por: Navas Paulina

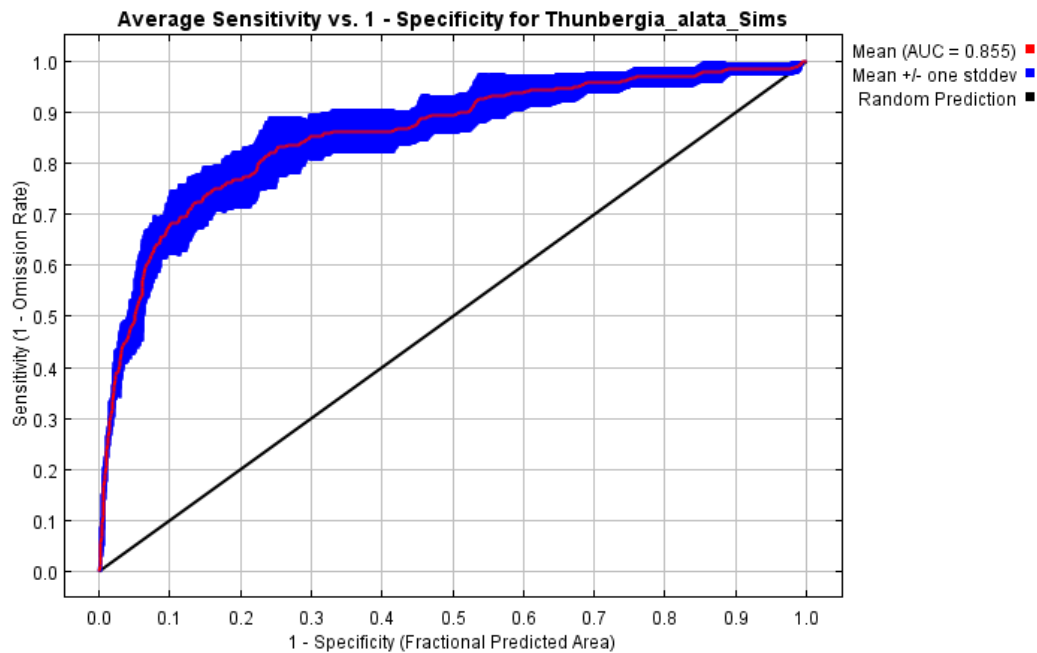
Tomando en cuenta la probabilidad muy baja indica un área de 31 372.31 Km² equivalente a un 52.35%. A diferencia de la distribución actual este el cual representa una de 11.12% de este rango, es decir la probabilidad de existencia de la especie *Thunbergia ala Sims* ha aumentado en toda la región interandina del Ecuador. Una probabilidad baja con un área de 15 791.03 Km², equivalente a 26.35%. a diferencia de la distribución actual, ha aumentado al 7.65% de afectación. Una probabilidad media con un área de 7 401.11 Km² equivalente al 12.35%, en comparación al modelo actual ha aumentado en un 2.73%. Una probabilidad muy alta con un área de 5 363.56 Km² equivalente al 8.95%. la afectación se ha incrementado un 0.74%.

- **Resultado de AUC de *Thunbergia alata* Sim – RCP 8.5. 2050**

En la Figura 17, se aprecia que el Área Bajo la Curva (AUC) para este modelo fue de 0.855, un valor similar al anterior modelo, lo que quiere decir que es confiable para la determinación de la presencia de la especie *Thunbergia alata* Sims.

Figura 17.

AUC Futuro 2050 escenario RCP 8.5 Modelo MIROC5



Elaborado por: Navas Paulina

En este contexto el modelo de distribución de la especie para el año 2050 bajo el modelo MIROC5 y un RCP de 8.5, está respaldado por un valor superior a 0.75 lo que indica un rendimiento robusto del modelo, lo que sugiere que es consistente y confiable para la determinación de la presencia de la especie invasora *Thunbergia alata* Sims en la región interandina. Dentro de la confianza del modelo indica una alta capacidad de discriminación entre las áreas donde la especie está presente y donde no se presenta aún, lo que indica que garantiza las áreas propicias para la presencia de esta.

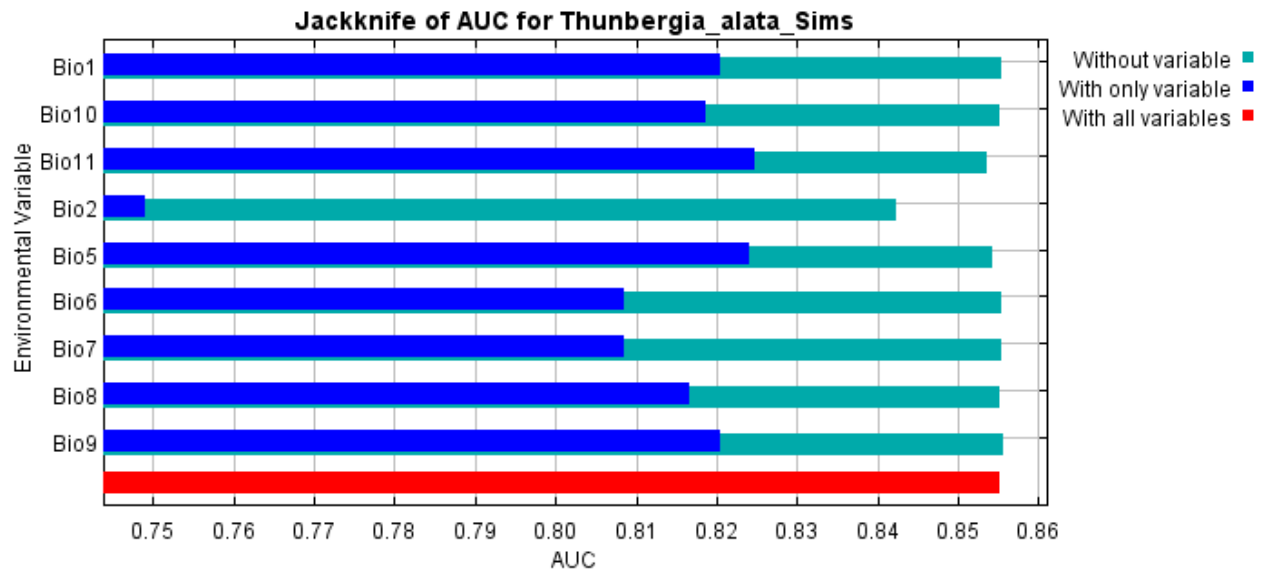
- **Prueba Jackknife correspondiente al AUC**

Mediante esta prueba Figura 18, se puede observar que las variables de mayor aporte para el modelo fueron las Bio 11 equivalente a la temperatura media del cuatrimestre más frío seguida de la variable Bio 5 que representa la temperatura máxima media del período más cálido. La variable ambiental que más reduce la ganancia cuando se excluye es la Bio 2, que corresponde

a la oscilación diurna de temperatura. Por ende, parece contener mayor cantidad de información que no está presente en las otras variables.

Figura 18.

Prueba de Jackknife Futuro 2050 escenario RCP 8.5 Modelo MIROC5



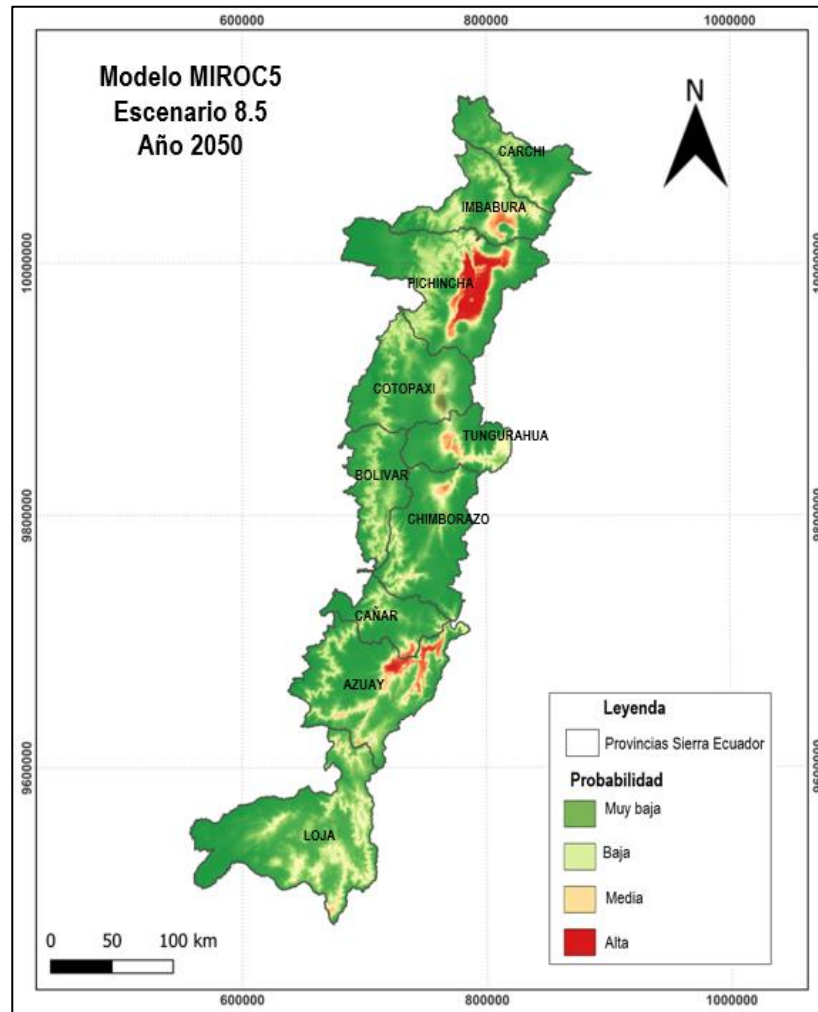
Elaborado por: Navas Paulina

El análisis detallado no solo destaca la contribución única de cada variable, sino que subraya como la combinación de todas ellas potencia el rendimiento global del modelo. La distinción entre las diferentes variables bioclimáticas del modelo, respecto a la variabilidad de la oscilación diurna de temperatura no debe ser un factor determinante para la especie en el contexto ecológico específico.

10.5.2. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global

MIROC5 RCP 8.5. año 2050

El modelo de distribución futura bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 bajo el escenario RCP 8.5 para el año 2050 como se muestra en la Figura 19, el cual se vio una diferencia significativa de la distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims* aumentando la probabilidad de adaptabilidad especialmente en todas las provincias de la región interandina del Ecuador. En este escenario se puede observar la presencia de la especie con mayor intensidad en las provincias de Pichincha, Azuay, Tungurahua, Imbabura y Chimborazo.

Figura 19.*Modelo de distribución futura 2050 MIROC5 RCP 8.5***Elaborado por:** Navas Paulina

La probabilidad muy baja del modelo de distribución futura MIROC5 bajo el escenario RCP 8.5 indica un área de 30 755.05 Km² equivalente a 51.32%. A diferencia de la distribución actual el que representa una disminución de 12.15% de este rango. Una probabilidad baja con un área de 13 975.96 Km² equivalente a 23.32% a diferencia de la distribución actual, aumenta en 4.62% de afectación. Una probabilidad media con un área de 8 605.66 Km² equivalente a 14.36%, es decir el aumento significativo en 4.74% a diferencia del modelo actual. Y finalmente, con una probabilidad alta con un área de 6 592.08 Km² equivalente a 11.00%, que ha incrementado en un 2.79% de afectación de la especie.

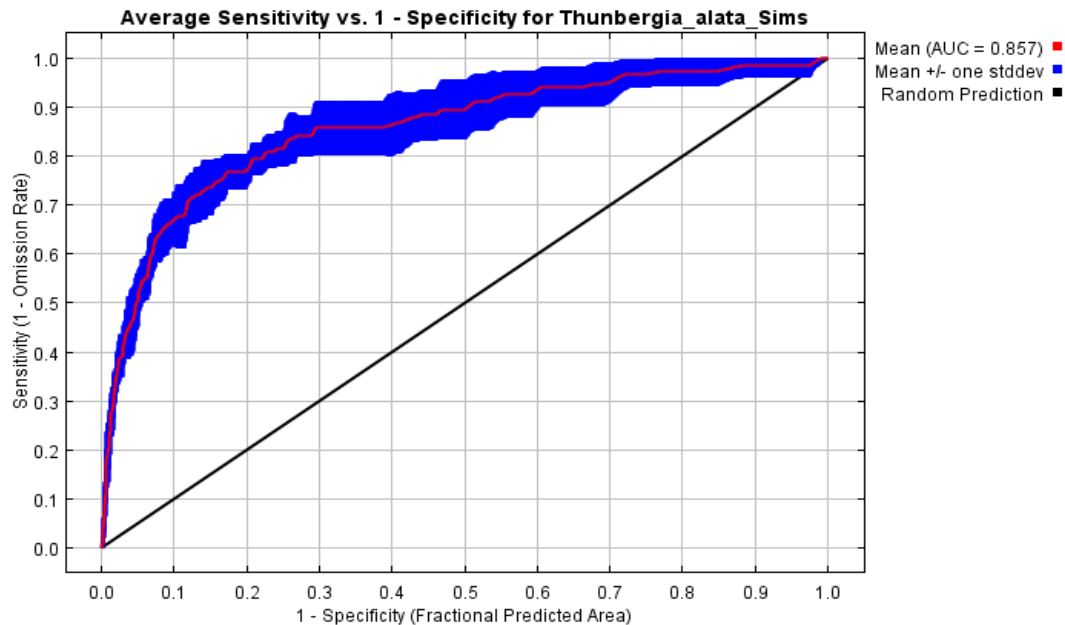
10.6. Resultados de los modelos de distribución de *Thunbergia alata* Sim bajo el modelo MIROC5 año 2080

- **Resultado de AUC de *Thunbergia alata* Sims – RCP 2.6. 2080**

El AUC para este modelo fue de 0.857, una vez más, se evidencia la confiabilidad de este modelo, ya que no se observa variación en los resultados, como se muestra en la Figura 20.

Figura 20.

AUC Futuro 2080 escenario RCP 2.6 Modelo MIROC5



Elaborado por: Navas Paulina

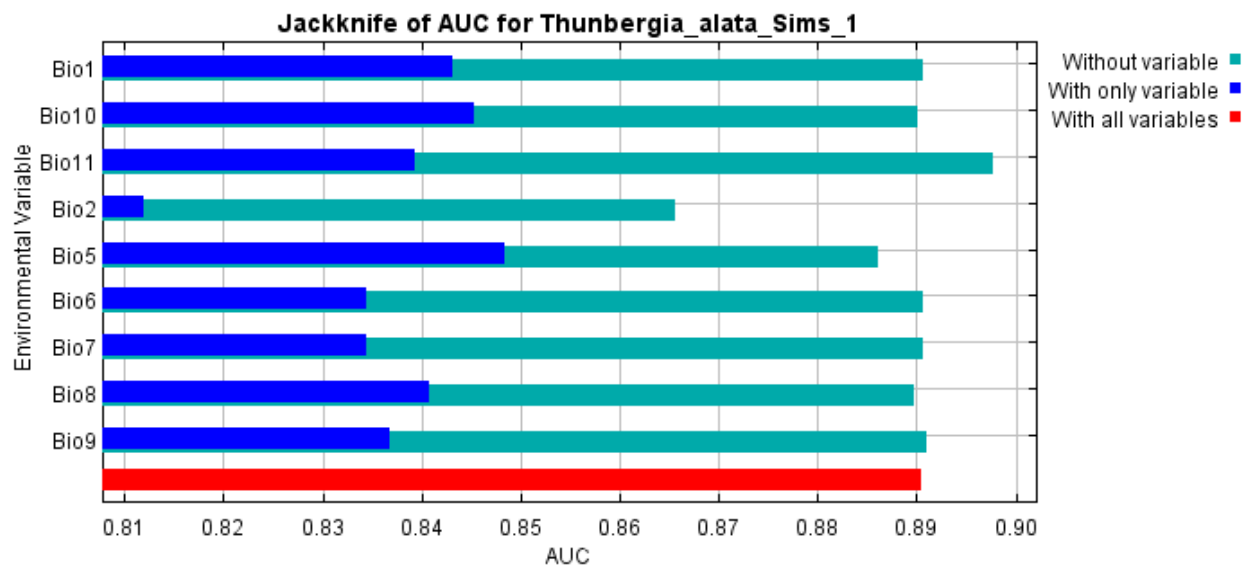
Con un valor superior al 0.75 en el Área Bajo la Curva, respalda la afirmación de que el modelo es adecuado para la determinación de la presencia de la especie invasora, este valor indica que el modelo tiene una alta probabilidad de clasificar correctamente las áreas donde la especie puede encontrarse. Además, cabe indicar que este valor representa la capacidad del modelo para distinguir entre la presencia y ausencia de la especie, las variables bioclimáticas incluyen información adicional para la ejecución del modelo.

- Prueba Jackknife correspondiente al AUC

El siguiente gráfico Figura 21, muestra que variables de mayor aporte para el modelo fueron la Bio 5 equivalente a la temperatura máxima media del periodo más cálido, seguida de la Bio 10 que representa la temperatura media del cuatrimestre más cálido. Cabe señalar que la variable ambiental de menor aporte en el modelo es la Bio 2 que representa la oscilación diurna de la temperatura.

Figura 21.

Prueba de Jackknife Futuro 2080 escenario RCP 2.6 Modelo MIROC5



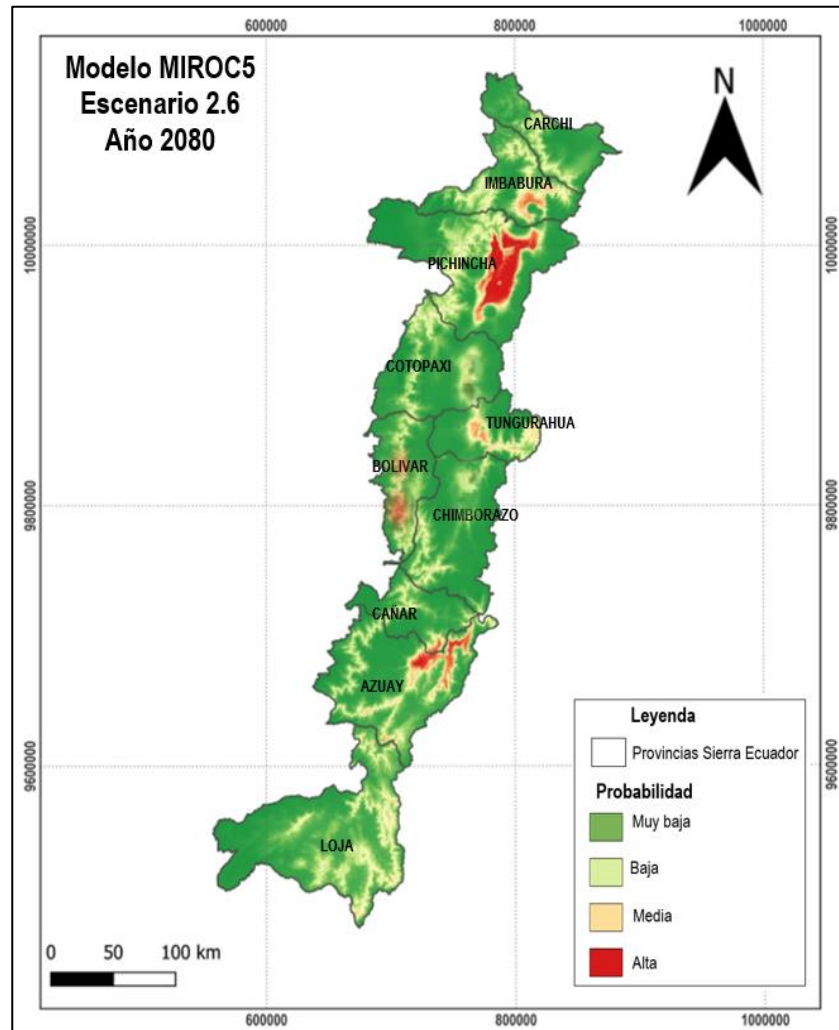
Elaborado por: Navas Paulina

Dentro de la prueba de Jackknife resalta no solo la singular aportación de cada variable, sino también como la integración de todas ellas potencia de manera significativa el rendimiento integral del modelo. Esta afirmación se basa en la comprensión de que la especie puede responder de manera diferencial a los factores ambientales, y la importancia de cada variable puede variar según el hábitat y las condiciones locales. Además, la falta de influencia significativa de la oscilación diurna de temperatura en el modelo podría surgir de que, en el contexto particular de la región interandina, esta variable no desempeña un papel crucial en la determinación de la presencia de la especie.

10.6.1. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global

MIROC5 RCP 2.6. año 2080

El modelo de distribución futura bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 bajo el escenario RCP 2.6 para el año 2080, como se muestra en la Figura 22, el cual se vio una diferencia bastante significativa en comparación a la distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims*, es decir que la probabilidad de adaptación de la especie ha aumentado especialmente en todas las provincias de la región interandina del Ecuador. En este escenario se puede observar la presencia de la especie con mayor intensidad en las provincias de Pichincha, Azuay, Cotopaxi, Tungurahua y Bolívar.

Figura 22.*Modelo de distribución futura 2080 MIROC5 RCP 2.6***Elaborado por:** Navas Paulina

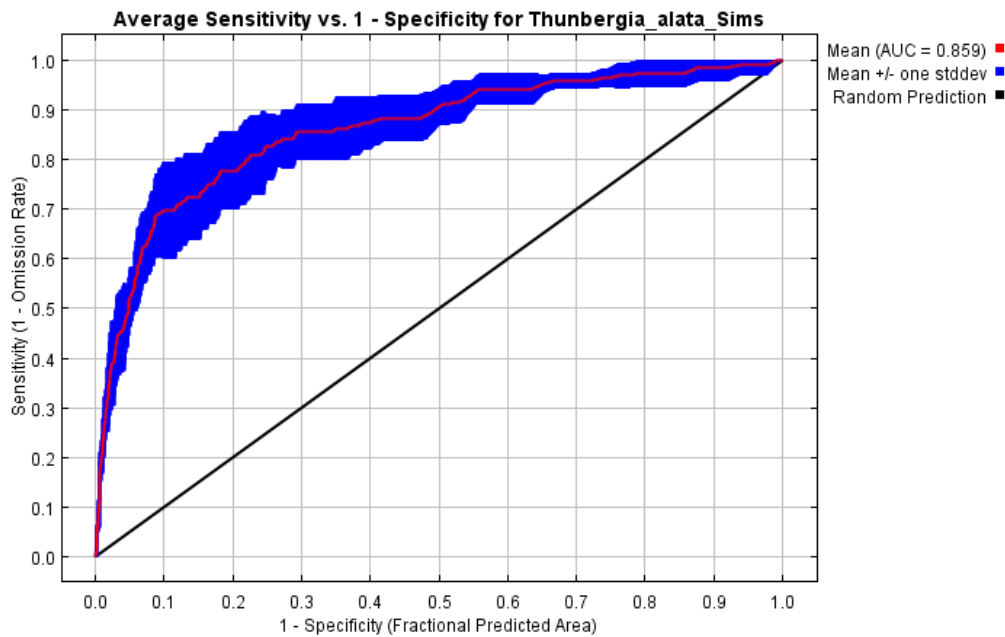
La probabilidad muy baja del modelo de distribución futura MIROC5 bajo el escenario RCP 2.6 para el año 2080 señala un área de 30 733.03 Km², equivalente a 51.35%. En comparación con la distribución actual, esto implica una disminución de 12.12% de este rango. Una probabilidad baja con un área de 15 880.92 Km² equivalente a 26.50% a diferencia de la distribución actual, aumenta en 7.80% de afectación. Una probabilidad media con un área de 8 539.74 Km² equivalente a 14.25%, es decir el aumento significativo en 2.73% a diferencia del modelo actual. Y finalmente con una probabilidad alta con un área de 4 734.31 Km² equivalente a 7.90%, que ha incrementado en un 0.31% de afectación de la especie.

- **Resultado de AUC de *Thunbergia alata* Sim – RCP 8.5 Año 2080**

En la Figura 23, para este modelo el AUC fue de 0.859, de la misma manera, se observa una mínima variación en los resultados en comparación con otros modelos, lo que sugiere que es un modelo sumamente confiable al superar el umbral del valor de 0.75.

Figura 23.

AUC Futuro 2080 escenario RCP 8.5 Modelo MIROC5



Elaborado por: Navas Paulina

El valor del AUC se basa en la aplicación del término “netamente confiable”, mismo que refleja la evaluación subjetiva basada en la comparación de resultados. La capacidad discriminativa es bastante sólida del modelo debido a que el valor es cercano a 1. La observación de una mínima variación de los resultados en comparación con el otro modelo HADGEM2-ES, es coherente con la idea de consistencia en el rendimiento del modelo. La estabilidad en los resultados aporta confianza en la capacidad del modelo para generalizar al conjunto de las variables bioclimáticas.

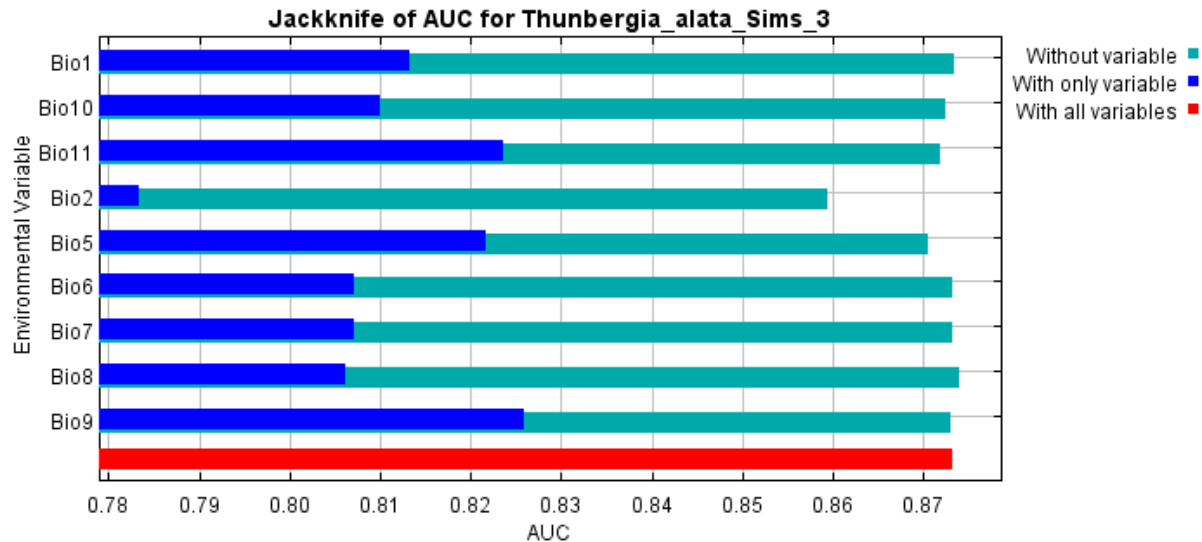
- **Prueba Jackknife correspondiente al AUC**

La siguiente Figura 24, muestra que la variable ambiental que presenta mayor ganancia cuando se utiliza de forma independiente es la Bio 9, que indica la temperatura media del cuatrimestre más seco. Por ende, parecer ser la información más valiosa por sí sola en este contexto. En contraste, la variable que más reduce la ganancia al ser omitida es la Bio 11, que corresponde a

la temperatura media del cuatrimestre más frío, evidenciando así que posee una cantidad significativa de información.

Figura 24.

Prueba de Jackknife Futuro 2080 escenario RCP 8.5 Modelo MIROC5



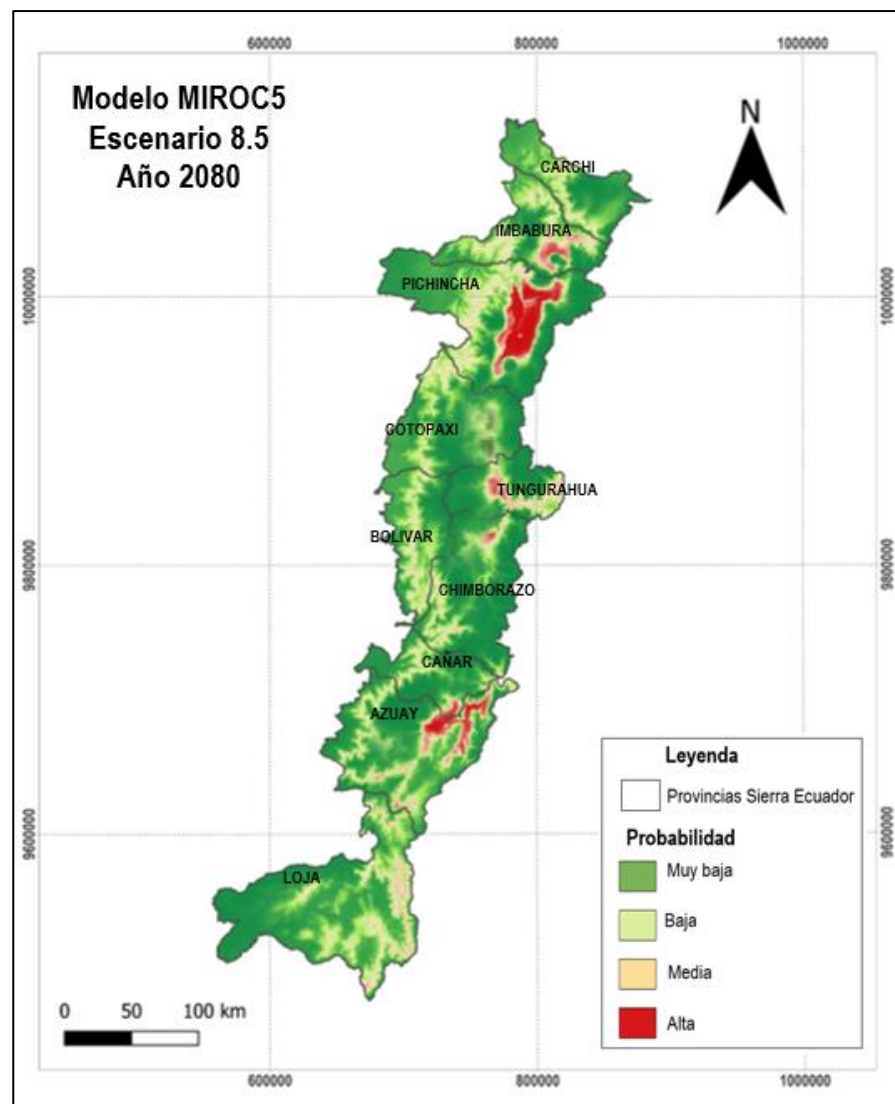
Elaborado por: Navas Paulina

La ganancia de la Bio 9 y la disminución en ganancia al omitir la Bio 11 indican que estas variables contribuyen significativamente al rendimiento del modelo. La interpretación se fundamenta en la comprensión ecológica del comportamiento de la *Thunbergia alata Sims*. La respuesta de la especie a las condiciones varía, y estas dos variables específicas están alineadas con las preferencias climáticas de la especie para su establecimiento para el futuro.

10.6.2. Modelo de Distribución bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5

RCP 8.5. año 2080

El modelo de distribución futura bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 bajo el escenario RCP 8.5 para el año 2080 Figura 25, mismo que presenta una diferencia significativa en comparación a la distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims*, es decir que la probabilidad de adaptación de la especie ha aumentado en todas las provincias de la región interandina del Ecuador en diferentes las diferentes probabilidades. Bajo este escenario se puede observar la presencia de la especie con mayor intensidad en las provincias de Pichincha, Azuay, Tungurahua, Imbabura, Chimborazo y Bolívar.

Figura 25.*Modelo de distribución futura 2080 MIROC5 RCP 8.5***Elaborado por:** Navas Paulina

La probabilidad muy baja del modelo de distribución futura MIROC5 bajo el escenario RCP 8.5 para el año 2080 abarca un área de 36 094.63 Km² equivalente a 60.23%. A diferencia de la distribución actual el que representa una disminución de 3.24% de este rango. Una probabilidad baja con un área de 14 728.32 Km² equivalente a 24.56% a diferencia de la distribución actual, aumenta en 5.86% de afectación. Una probabilidad media con un área de 6 148.61 Km² equivalente a 10.26%, es decir el aumento significativo en 0.64% a diferencia del modelo actual. Y finalmente con una probabilidad alta con un área de 2 966.436 Km² equivalente a 4.95%, que ha incrementado en un 0.31% de afectación de la especie.

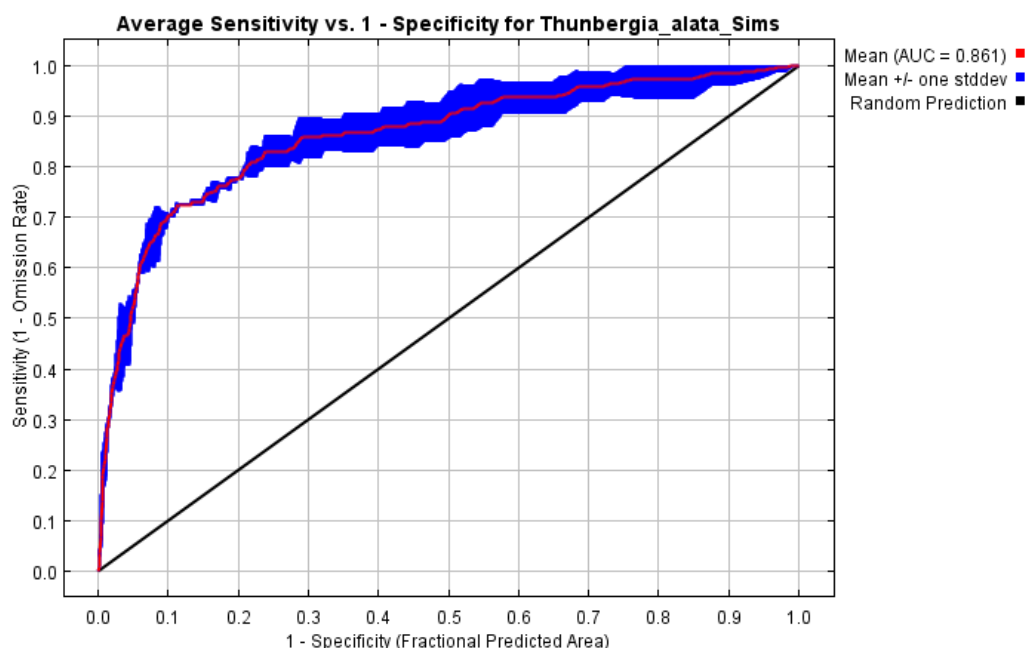
10.7. Resultados de los modelos de distribución de (*Thunbergia alata Sims*) bajo el modelo HADGEM2-ES año 2050

- Resultado de AUC de *Thunbergia alata Sim* – RCP. 2.6 2050

El AUC para este modelo fue de 0.861, una vez más demostrando la efectividad del modelo con un valor superior a 0.75 que lo categoriza en un rango bueno de confiabilidad para este modelo ya que no existe una variación en los resultados, como se muestra en la Figura 26.

Figura 26.

AUC Futuro 2050 escenario RCP 2.6 Modelo HADGEM2-ES



Elaborado por: Navas Paulina

En este contexto, la representación del Área Bajo la Curva para los datos de entrenamiento (línea roja) y para los datos de prueba (línea azul) muestra un ajuste similar, orientadas hacia la parte superior izquierda; la interpretación se basa en que, a medida que ambas curvas se aproximan, mejor es el modelo. Esto indicaría que no hay errores de omisión (la especie si está, pero se predice ausente (el 100 % de sensibilidad y ningún error de comisión (la especie puede estar ahí, sobre predicción) 100 % de especificidad).

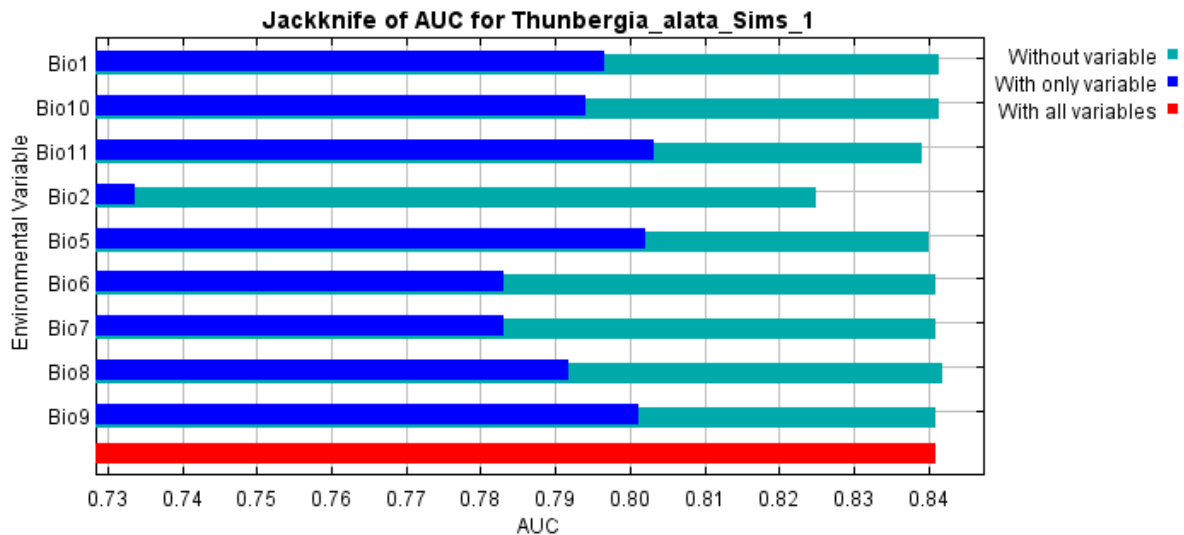
- Prueba Jackknife correspondiente al AUC

En la Figura 27, mediante esta prueba se puede observar que las variables de mayor aporte para el modelo fueron las Bio 11 que representa la temperatura media del cuatrimestre más frío, seguida de la Bio 5 equivalente a la temperatura máxima media del período más cálido. La

variable ambiental de menor aporte en el modelo es Bio 2 que equivale a la oscilación diurna de la temperatura.

Figura 27.

Prueba de Jackknife Futuro 2050 escenario RCP 2.6 Modelo HADGEM2-ES



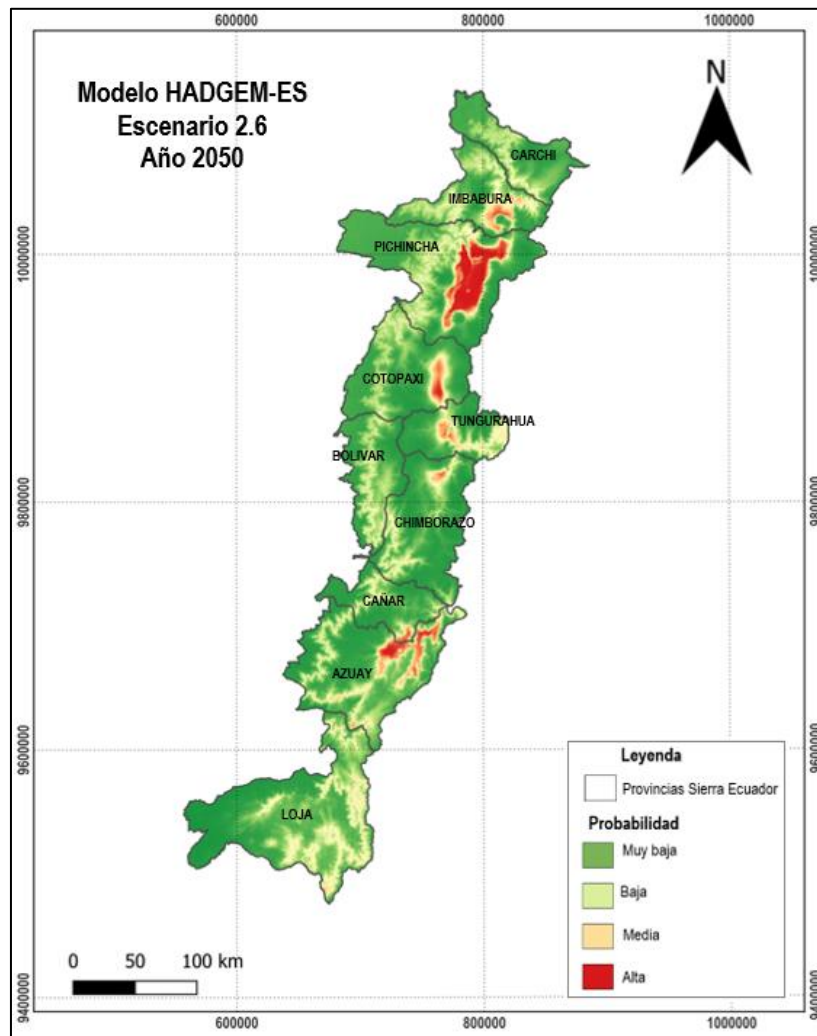
Elaborado por: Navas Paulina

Este análisis se basa en principios ecológicos y en la interpretación de cómo diferentes variables bioclimáticas afectan el establecimiento de la especie. La priorización de la Bio 11 y la Bio 5 sugiere que las variaciones térmicas extremas, especialmente durante el período más frío y cálido, son factores determinantes en la modelización de la distribución de la especie. Por otro lado, la menor contribución de la Bio 2 destaca la relativa importancia reducida de las variaciones diurnas de temperatura.

10.7.1. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global

HADGEM2-ES 2.6. año 2050

En el escenario RCP 2.6 para el año 2050, bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES Figura 28, mismo que presenta una diferencia significativa en comparación a la distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims*, es decir que la probabilidad de adaptación de la especie ha aumentado en todas las provincias con los diferentes rangos de probabilidad. Se obtuvo como resultado que la especie tiene presencia con mayor intensidad en las provincias de Pichincha, Azuay y Cotopaxi.

Figura 28.*Modelo de distribución futura 2050 HADGEM2-ES RCP 2.6***Elaborado por:** Navas Paulina

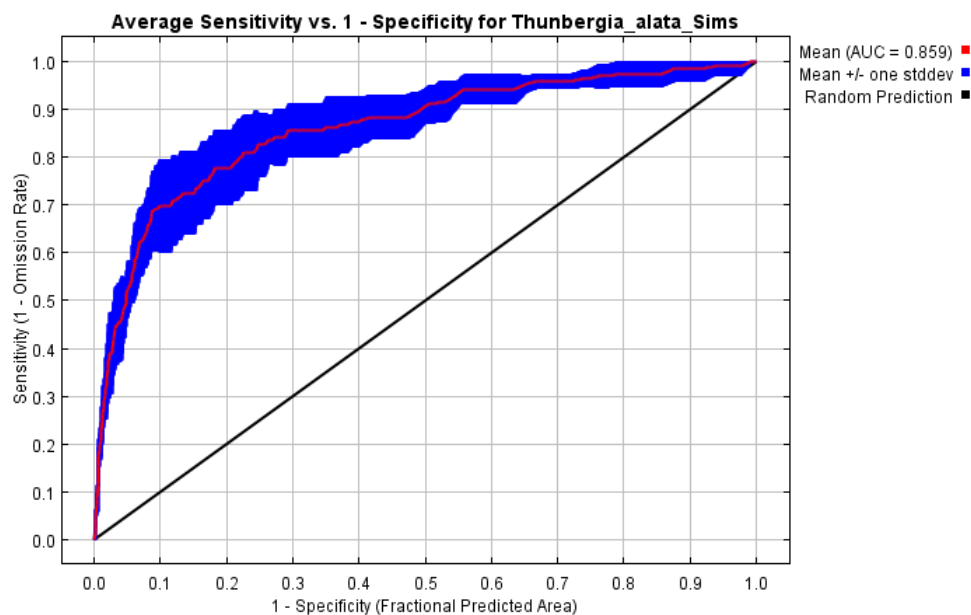
La probabilidad muy baja del modelo de distribución futura HADGEM2-ES bajo el escenario RCP 2.6 para el año 2050 representa un área de 31 839.75 Km² equivalente a 53.13%. A diferencia de la distribución actual el que representa disminución de 10.34% de este rango. Una probabilidad baja con un área de 14 718.32 Km² equivalente a 24.56% a diferencia de la distribución actual, aumenta en 5.86% de afectación. Una probabilidad media con un área de 7 940.46 Km² equivalente a 13.25%, es decir el aumento significativo en 3.63% a diferencia del modelo actual. Finalmente, con una probabilidad alta con un área de 5 429.48 Km² equivalente a 9.06%, que ha incrementado en un 0.85% de afectación de la especie.

- **Resultado de AUC de *Thunbergia alata* Sim – RCP 8.5. 2050**

El AUC para este modelo fue de 0.859, esto implica que el modelo tiene un rendimiento satisfactorio, siendo una referencia valiosa proporcionada por el software de máxima entropía MaxEnt, es importante destacar que se trabaja con datos de presencia, y no de ausencia, y tiende a ser más alto para la especie con rangos más limitados en relación con el área de estudio, como se evidencia en la Figura 29.

Figura 29.

AUC Futuro 2050 escenario RCP 8.5 Modelo HADGEM2-ES



Elaborado por: Navas Paulina

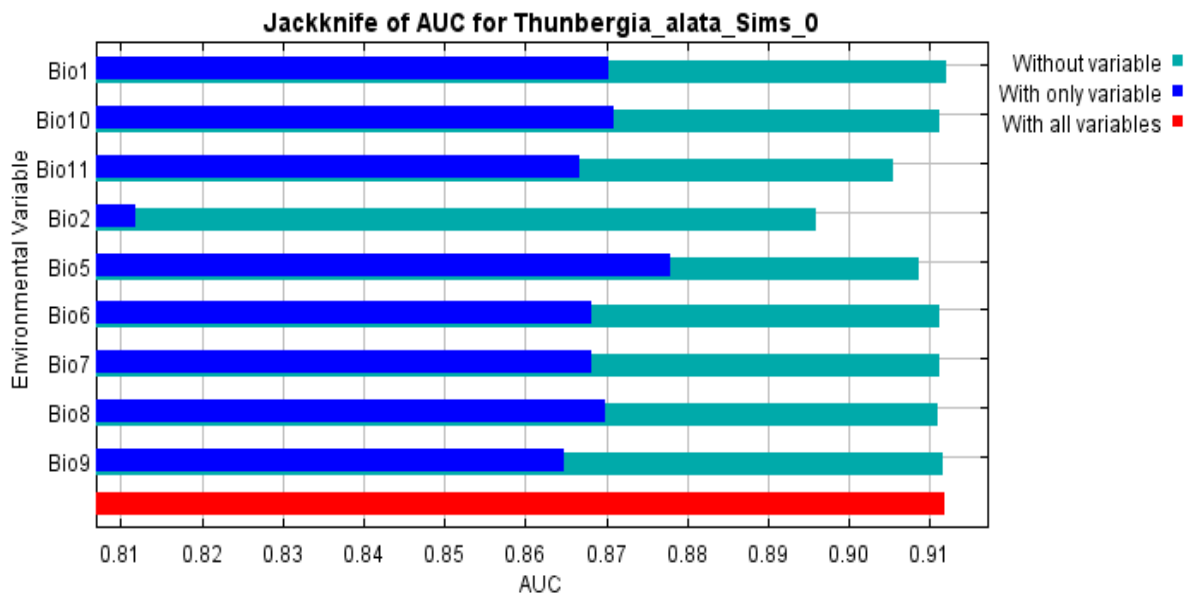
El Área Bajo la Curva para el año 2050 bajo el modelo HADGEM2-ES y el escenario RCP 8.5 indica que la habilidad del modelo para clasificar las presencias fue buena y se pueden considerar aceptables y más precisos que un modelo obtenido al azar. Este valor evidencia la habilidad sustancial del modelo para entender la presencia de la especie, estos resultados pueden considerarse no solo como aceptables, sino también superiores en precisión en comparación con el modelo generado.

- **Prueba Jackknife correspondiente al AUC**

La prueba de Jackknife en la Figura 30, en el escenario RCP 8.5 para el año 2050, resalta la relevancia de las variables, indicando que Bio 5 y Bio 10 son las de mayor ganancia y parecen contener la información más valiosa, relacionada con el rango de temperatura. Y el resto de las variables aportan en menor medida, pero aún así ejercen influencia en el modelo.

Figura 30.

Prueba de Jackknife Futuro 2050 escenario RCP 8.5 Modelo HADGEM2-ES



Elaborado por: Navas Paulina

Dentro de este hallazgo se fundamenta la comprensión de como las variables estacionales en la temperatura impactan las respuesta biológicas y ecológicas de la especie. El rango térmico proporcionado por las variables Bio 5 y Bio 10 permiten capturar tanto los extremos como las medidas de las temperaturas en el período cálido, brindando así una visión integral de las condiciones climáticas. Aunque otras variables pueden tener una ganancia menor, su contribución aún es valiosa debido a que influyen en el modelo.

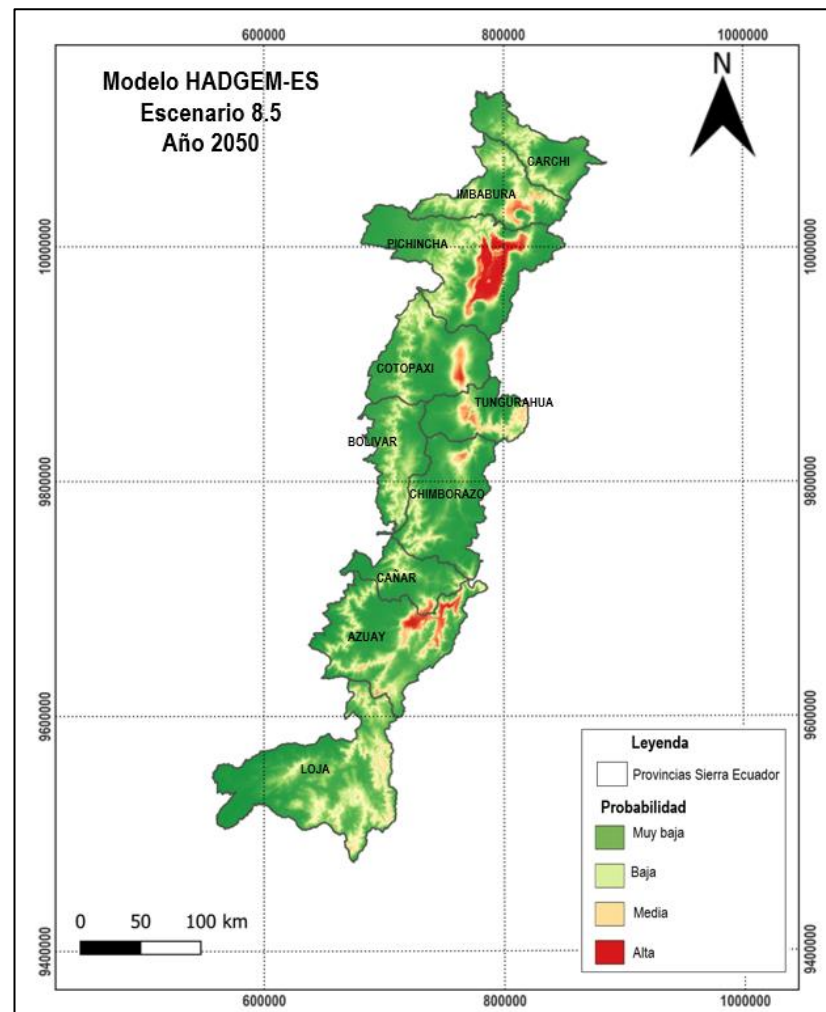
10.7.2. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global

HADGEM2-ES RCP 8.5. año 2050

En el escenario RCP 8.5 para el año 2050, bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES Figura 31, indica una diferencia misma que presenta una diferencia poco significativa en comparación a la distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims*. Se obtuvo como resultado que la especie tiene presencia con menor intensidad en las provincias de Tungurahua, Chimborazo e Imbabura.

Figura 31.

Modelo de distribución futura 2050 HADGEM2-ES RCP 8.5



Elaborado por: Navas Paulina

La probabilidad muy baja del modelo de distribución futura HADGEM2-ES bajo el escenario RCP 8.5 para el año 2050 representa un área de 35 753.04 Km², equivalente a 59.66%. A diferencia de la distribución actual el que representa disminución de 3.81% dentro de este rango. Una probabilidad baja con un área de 13 339.90 Km² equivalente a 22.36% a diferencia de la distribución actual, aumenta en 3.66% de afectación en toda la región interandina del Ecuador. Una probabilidad media con un área de 5 729.12 Km² equivalente a 9.56%, es decir el aumento poco significativo en 0.06% a diferencia del modelo actual de la especie. Finalmente, con una probabilidad alta con un área de 5 045.94 Km² equivalente a 8.42%, que ha incrementado en un 0.21% de afectación de la especie *Thunbergia alata Sims*.

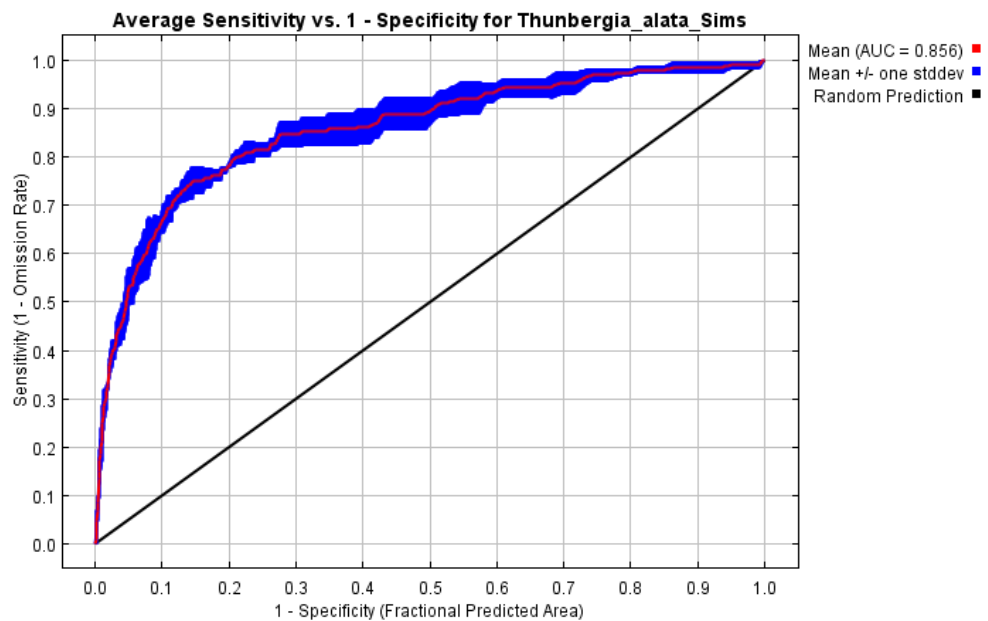
10.8. Resultados de los modelos de distribución de (*Thunbergia alata Sims*) bajo el modelo HADGEM2-ES año 2080

- Resultado de AUC de *Thunbergia alata Sim* – RCP 2.6. 2080

En la Figura 32, el AUC para este modelo fue de 0856, este indicador sugiere que el modelo tiene un buen rendimiento, reafirmado así la confiabilidad, ya que no se observa variación en los resultados.

Figura 32.

AUC Futuro 2080 escenario RCP 2.6 Modelo HADGEM2-ES



Elaborado por: Navas Paulina

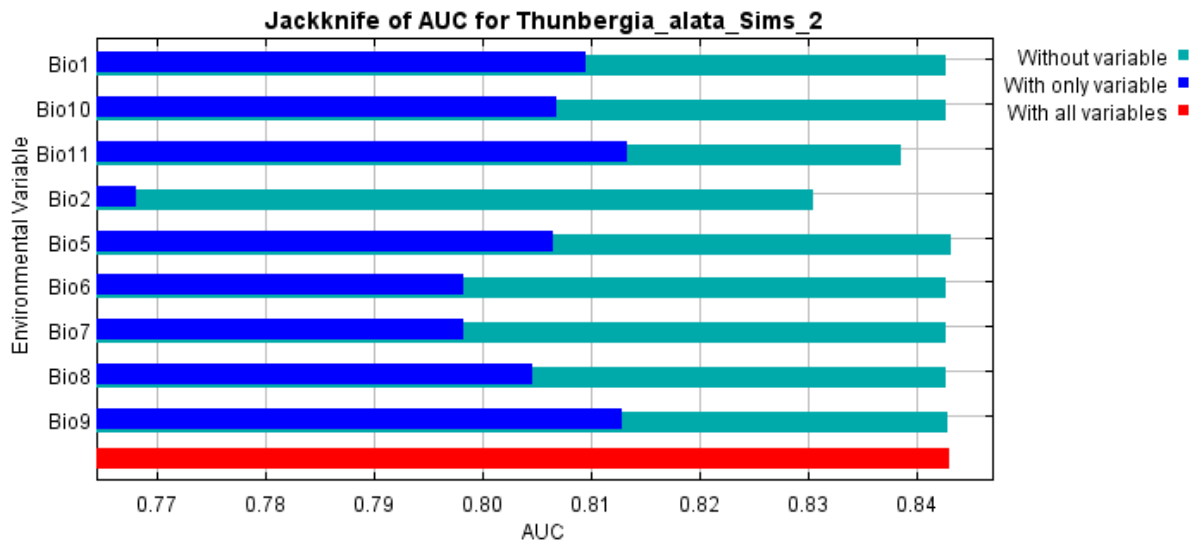
La contribución para cada variable se determinó permutando aleatoriamente los valores de las variables bioclimáticas con los puntos de presencia de la especie. El clasificador aleatorio que tiene el AUC de 0.5, un muy buen clasificador tiene un área muy cercana a 1. Este marco de referencia permitió discernir la contribución real de las variables bioclimáticas al rendimiento del modelo, al contrastarlo con el rendimiento de un clasificador puramente aleatorio.

- Prueba Jackknife correspondiente al AUC

Se puede observar en la Figura 33, que la variable de este escenario son diferentes al modelo de escenario RCP 2.6 para el año 2050, ocupando así el primer lugar la variable Bio 11 equivalente a la temperatura media del cuatrimestre más frío, seguido de la Bio 9 el cual hace referencia a la temperatura media del cuatrimestre más seco.

Figura 33.

Prueba de Jackknife Futuro 2080 escenario RCP 2.6 Modelo HADGEM2-ES



Elaborado por: Navas Paulina

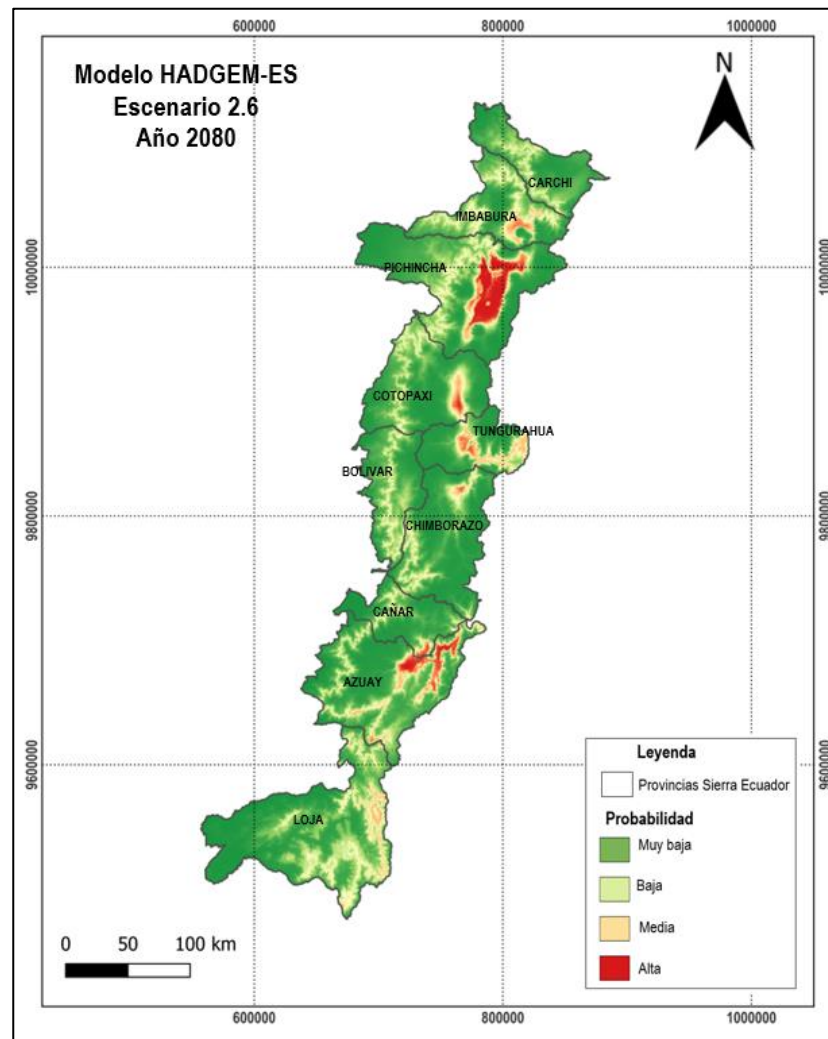
Se muestra la ganancia que genera cada variable en tres diferentes escenarios: corriendo el modelo con una sola variable (representado azul), con todas las variables menos una (representada verde) y con todas las variables (representado rojo). Esto refleja cuanta información útil contiene cada variable. El Eje x representa la ganancia y el Eje Y representa la variable. La valoración en la ganancia entre los escenarios propicia la importancia relativa de cada variable en la modelización, permitiendo una evaluación más precisa de su contribución al poder predictivo del modelo.

10.8.1. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES RCP 2.6. año 2080

En el escenario RCP 2.6 para el año 2080, bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES Figura 34, indica una diferencia misma que presenta una diferencia significativa en comparación a la distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims*. Se obtuvo como resultado que la especie tiene presencia con menor intensidad en las provincias de Tungurahua, Chimborazo, Imbabura y Loja.

Figura 34.

Modelo de distribución futura 2080 HADGEM2-ES RCP 2.6



Elaborado por: Navas Paulina

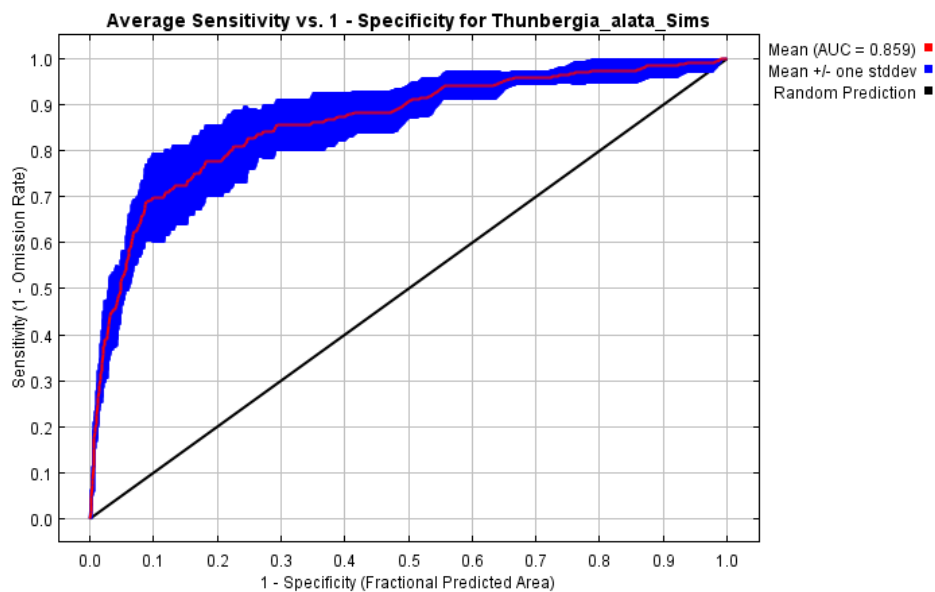
La probabilidad muy baja del modelo de distribución futura HADGEM2-ES bajo el escenario RCP 2.6 para el año 2080 cubre un área de 31 342.34 Km², equivalente a 52.30%. En comparación con la distribución actual el que representa disminución de 11.17% en este rango. Una probabilidad baja con un área de 14 999.98 Km² equivalente a 25.05% a diferencia de la distribución actual, aumenta en 6.33% de afectación en toda la región interandina del Ecuador. Una probabilidad media con un área de 7 940.46 Km² equivalente a 13.25%, es decir el aumento poco significativo en 3.63% a diferencia del modelo actual de la especie. Finalmente, con una probabilidad alta con un área de 5 645.22 Km² equivalente a 9.42%, que ha incrementado en un 1.21% de afectación de la especie *Thunbergia alata Sims*.

- **Resultados de los modelos de distribución de (*Thunbergia alata Sims*) bajo el modelo HADGEM2-ES año 2080**
- **Resultado de AUC de *Thunbergia alata Sims* – RCP 8.5 Año 2080**

En la Figura 35, representa que para este modelo el AUC fue de 0.859, de igual forma existe una variación mínima de los resultados en relación con el resto del modelo, es decir, es un modelo netamente confiable porque supera el rango de 0.75.

Figura 35.

AUC Futuro 2080 escenario RCP 8.5 Modelo HADGEM2-EC



Elaborado por: Navas Paulina

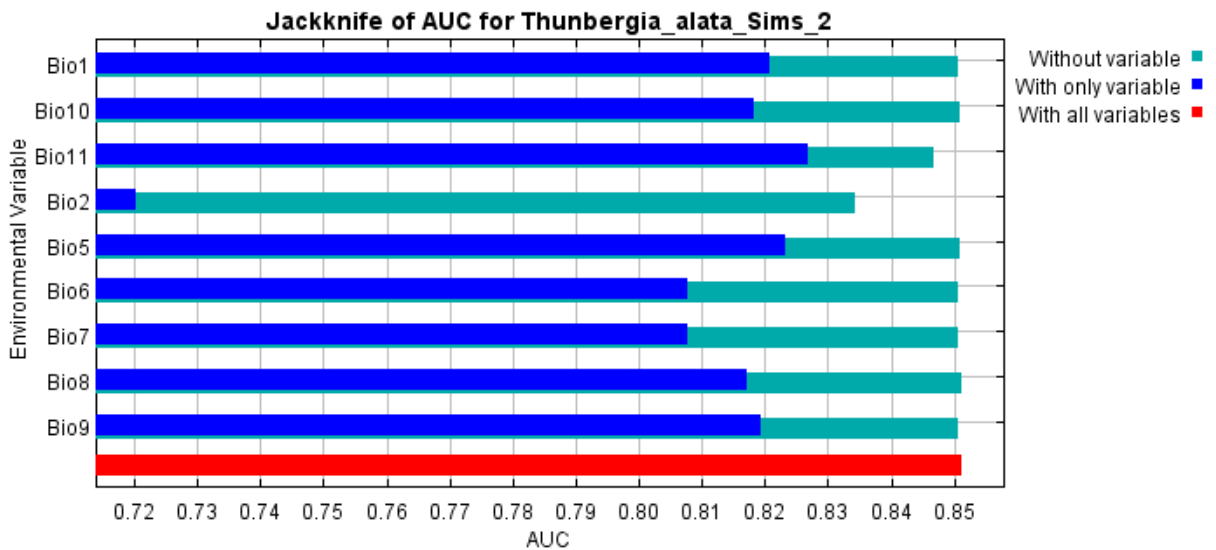
La confianza del modelo se fundamenta en la capacidad de discriminación entre las áreas donde la especie está presente y donde aún no se presenta. La alta capacidad de discriminación, respaldada por el valor del modelo, sugiere que este puede identificarse de manera confiable las áreas propicias para la especie *Thunbergia alata Sims*. Esta evaluación brinda confianza en la utilidad del modelado para proyectar la distribución futura.

- **Prueba Jackknife correspondiente al AUC**

La siguiente Figura 36, muestra que la variable con mayor ganancia cuando se usa de manera aislada es Bio 11, por lo ende, parece la información más valiosa por sí sola es la variable Bio 2, ya que es la que más reduce la ganancia al ser omitida, indicando que contiene la mayor cantidad de información.

Figura 36.

Prueba de Jackknife Futuro 2080 escenario RCP 8.5 Modelo HADGEM2-ES



Elaborado por: Navas Paulina

Desde una perspectiva científica, estos resultados se interpretan considerando la relación intrínseca de la especie con las condiciones bioclimáticas, la Bio 11 puede ser crítica para la determinación de la presencia de la especie, debido a que la especie a menudo responde de manera sensible a las condiciones térmicas extremas. En este contexto, la Bio 2, que refleja la oscilación diurna de la temperatura, puede tener un impacto más relevante en la capacidad del modelo para discriminar entre la presencia y ausencia de la especie, debido a su variabilidad a lo largo del día.

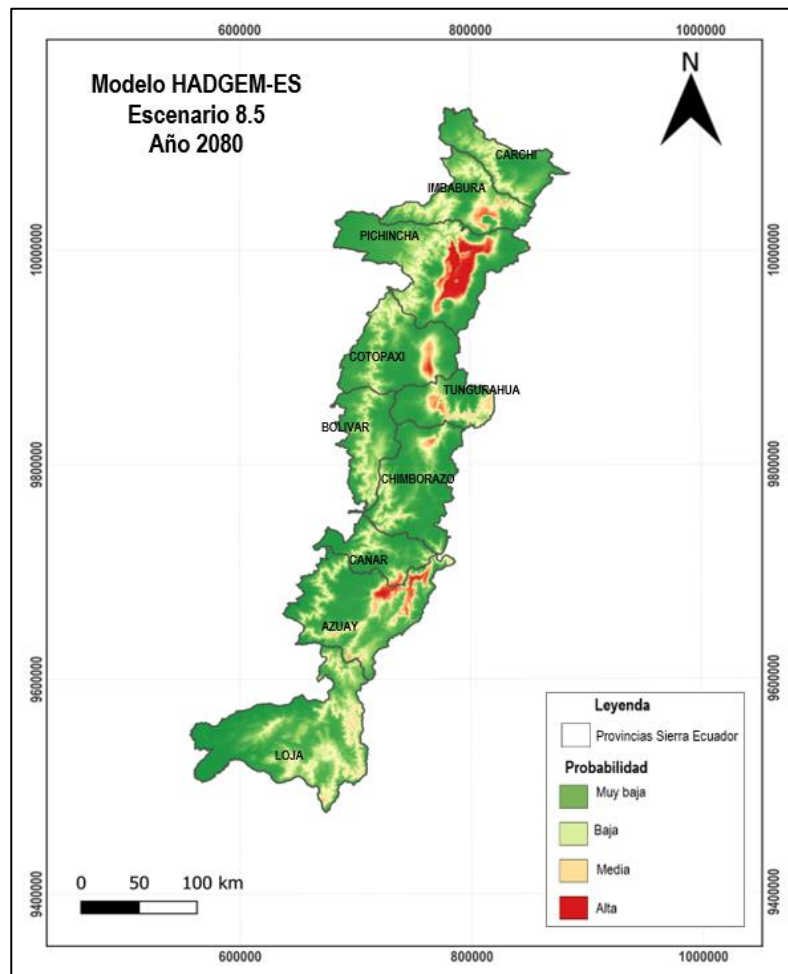
10.8.2. Modelo de Distribución futuro bajo el Modelo de Circulación Global

HADGEM2-ES RCP 8.5. año 2080

En el escenario RCP 8.5 para el año 2080, bajo el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES Figura 37, indica una diferencia misma que presenta una diferencia significativa en comparación a la distribución actual de la especie *Thunbergia alata Sims*. Se obtuvo como resultado que la especie tiene presencia con mayor intensidad en las provincias de Pichincha y Azuay.

Figura 37.

Modelo de distribución futura 2080 HADGEM2-ES RCP 8.5



Elaborado por: Navas Paulina

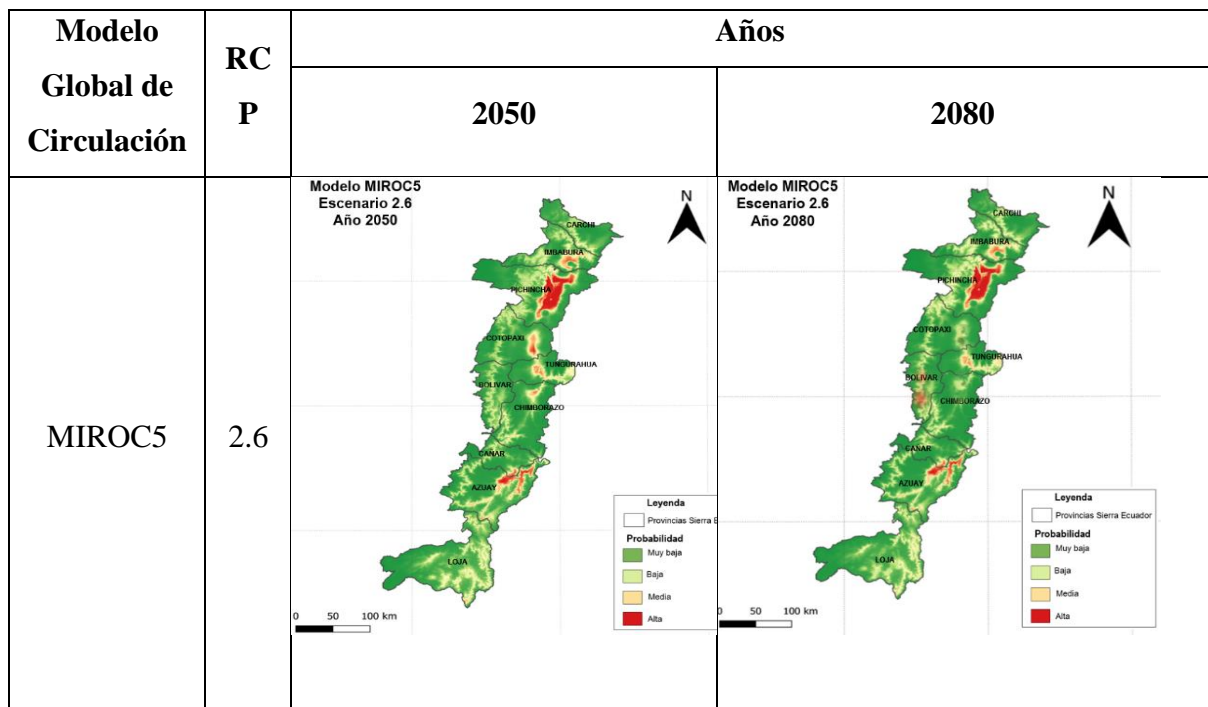
La probabilidad muy baja del modelo de distribución futura HADGEM2-ES, bajo el escenario RCP 8.5 para el año 2080 abarca un área de 35 854.92 Km², equivalente a 59.83%. En contraste con la distribución actual, esto refleja una disminución de 3.64% de este rango. Una probabilidad baja con un área de 13 333.98 Km² equivalente a 22.25% a diferencia de la distribución actual, aumenta en 3.55% de afectación en toda la región interandina del Ecuador. Una probabilidad media con un área de 5 729.12 Km² equivalente a 9.56%, es decir el aumento poco significativo en 0.06% a diferencia del modelo actual de la especie. Finalmente, con una probabilidad alta con un área de 5 009.98 Km² equivalente a 8.42%, que ha incrementado en un 0.15% de afectación de la especie *Thunbergia alata Sims*.

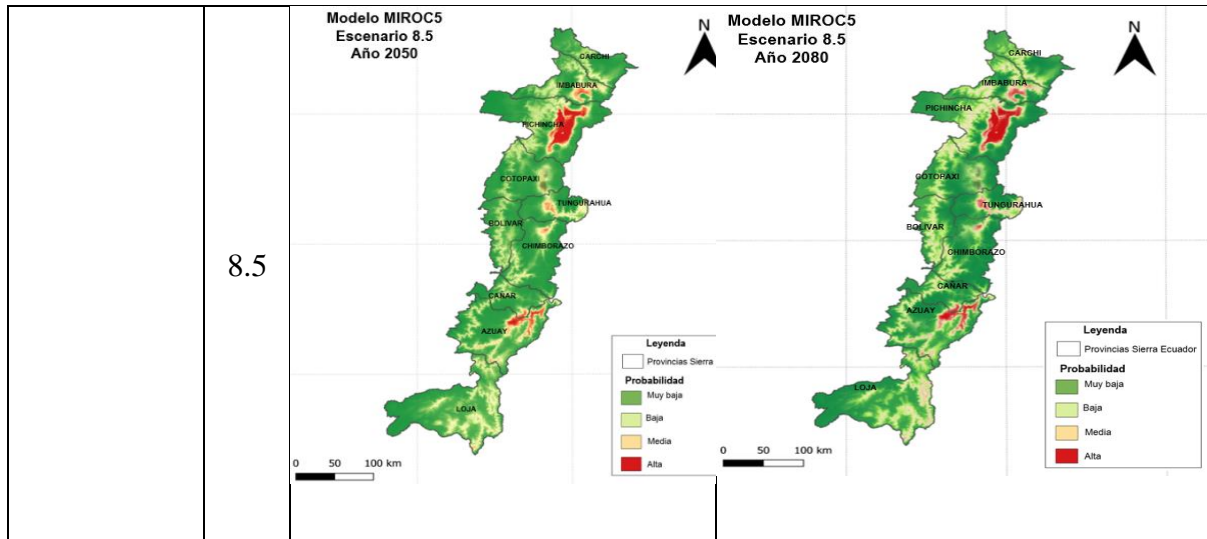
10.9. Comparación de los Modelos de Distribución actual y futura de *Thunbergia alata Sims* bajo el Modelo Climático Global MIROC5

La presente sección aborda la comparación del modelo de distribución actual y futura de la especie, contándose específicamente en la influencia del Modelo Climático Global MIROC5. El propósito principal de esta evaluación es analizar como las proyecciones de distribución de la especie que varíen en respuesta a al escenario climático ya sea del año 2050 y 2080; a su vez bajo el RCP de 2.6 que es un escenario optimista y por el contrario un RCP de 8.5 un escenario pesimista, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

Modelos de distribución futura 2050 & 2080 bajo el modelo MIROC5.





Elaborado por: Navas Paulina

Los resultados presentados en la tabla revelan patrones notables de la distribución futura de la especie, basado en los escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5 para los años 2050 y 2080. En particular, se observa una marcada disminución en la probabilidad baja de distribución en comparación con la distribución actual. Este descenso es consistente en ambos escenarios climáticos, indicando una tendencia a la reducción en la extensión de la especie a condiciones menos favorables.

Contrastando esta disminución en la probabilidad baja, se destaca una diferencia significativa en la probabilidad alta de la distribución futura. Para los años 2050 y 2080 bajo ambos escenarios climáticos, se aprecia un notable incremento en la probabilidad de que se encuentren las áreas con condiciones climáticas más propicias. Este aumento sugiere una adaptabilidad de la especie hacia entornos que podrían volverse más adecuados en el futuro, evidenciando así una respuesta a los cambios climáticos proyectados.

De acuerdo con el estudio llevado a cabo en México, centrado en la distribución de la especie de *Agave*, bajo el enfoque del escenario MIROC5 realizado por (Mendieta, 2022), se reconoce que este modelo desempeña un papel fundamental en la comprensión de los posibles escenarios futuros del clima. El estudio destaca que la resolución espacial y temporal del modelo es ajustable, lo que fundamenta la capacidad para adaptarse y simular eventos climáticos a diferentes escalas, desde fenómenos locales hasta patrones climáticos globales a largo plazo. Algunas de las características sobresalientes del modelo incluyen, mejoras sustanciales en las características climatológicas. Específicamente, se indica que existe un impacto significativo de la actualización de los esquemas de parametrización en el clima del modelo. Este hallazgo

subraya la importancia de considerar y mejora constantemente los aspectos fundamentales que influyen en la precisión y la confiabilidad de las proyecciones.

La información proporcionada a través de la Tabla 10, revela los resultados de los mapas generados bajo el Modelo de Circulación Global MIROC5 para el año 2050 bajo las condiciones de RCP 2.6 y 8.5. Estos mapas destacan claramente que las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay presentan una probabilidad alta de desarrollo de la especie invasora de especie *Thunbergia alata Sims*. Al proyectar, la evaluación hacia el año 2080 bajo las mismas condiciones, se observa una persistencia en la tendencia, confirmando las provincias a diferencia de la provincia de Bolívar que aumenta la tendencia a probabilidad alta de desarrollo, pero solamente bajo el RCP 2.6, esto se puede deberse a la condición climática que este expuesta en el futuro.

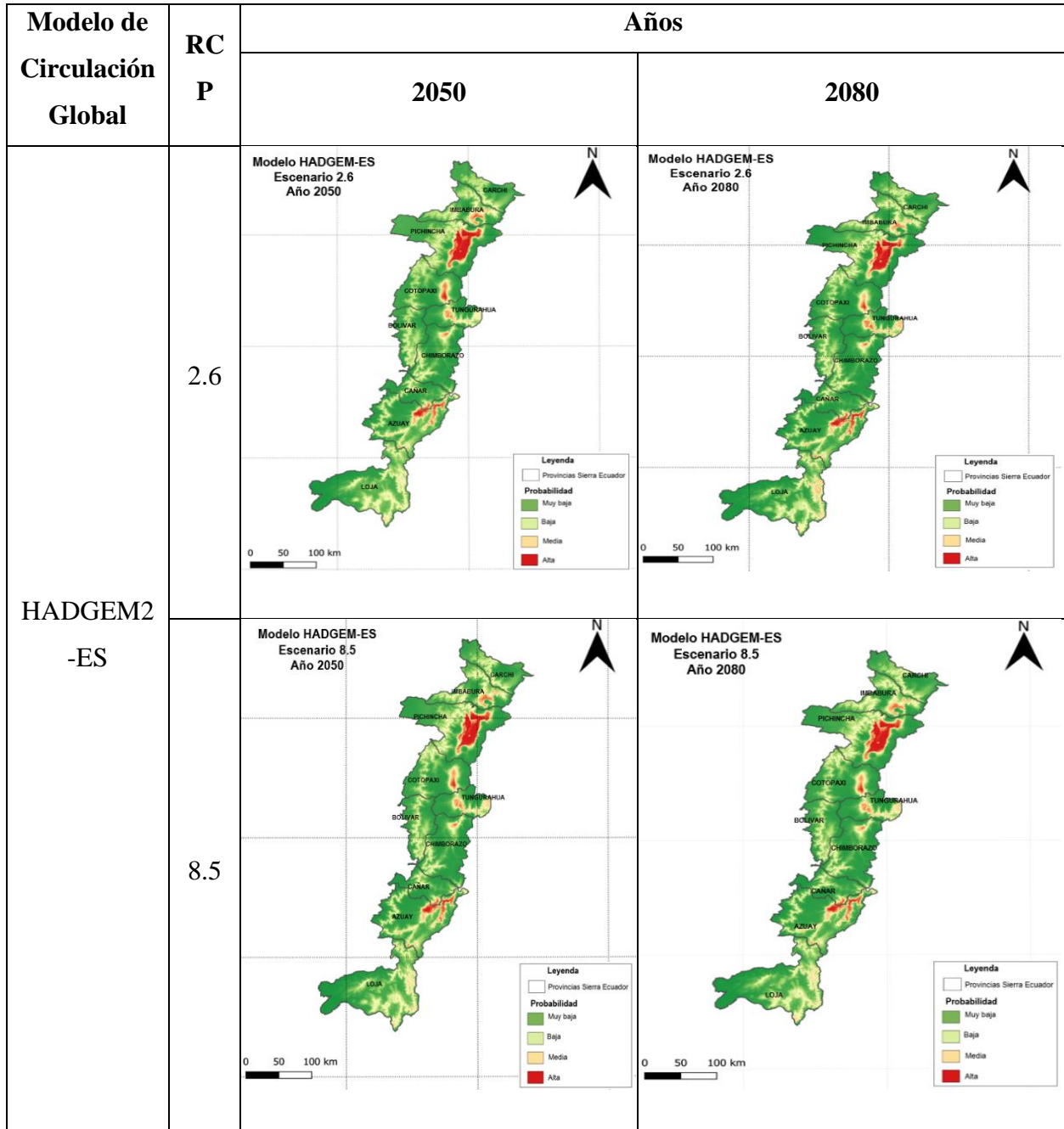
La adaptabilidad de la especie invasora *Thunbergia alata Sims*, mediante esta proyección futura puede demostrar una alta adaptabilidad a las nuevas condiciones climáticas proyectadas. Esto puede deberse a la capacidad para proyectarse en diversos entornos y su habilidad para colonizar los territorios con condiciones específicas de la región interandina del Ecuador.

10.10. Comparación de los Modelos de Distribución actual y futura de *Thunbergia alata Sims* bajo el Modelo Climático Global HADGEM2-ES

La presente sección aborda la comparación del modelo de distribución actual y futura de la especie, focalizado especialmente en la influencia del del Modelo Climático Global HADGEM2-ES. El objetivo principal de esta evaluación es analizar como las proyecciones de distribución de la especie varían en respuesta a los escenarios climáticos proyectados para los años 2050 y 2080. Se considerarán dos escenarios contraste: el RCP de 2.6 caracterizado como un escenario optimista, y el RCP 8.5, identificado como un escenario pesimista, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10.

Modelos de distribución futura 2050 & 2080 bajo el modelo HADGEM2-ES



Elaborado por: Navas Paulina

Los resultados expuestos en la tabla revelan patrones significativos en la distribución futura de la especie *Thunbergia alata Sims*, tomando como base los escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5 para los años 2050 y 2080. Específicamente, se observa una marcada disminución de la probabilidad muy baja de distribución en comparación con la distribución actual. El

decrecimiento se mantiene de manera consistente en ambos escenarios climáticos, señalando una tendencia a la reducción en la extensión de la especie hacia condiciones menos favorables.

En contraste con esta la probabilidad muy baja de distribución en condiciones menos favorables, se destaca una diferencia significativa en la probabilidad de distribución en áreas con condiciones climáticas más propicias en el futuro. Tanto para los años 2050 como para 2080, bajo ambos escenarios climáticos RCP 2.6 y 8.5, se observa un notable aumento en la probabilidad alta de encontrar áreas con condiciones climáticas más adecuadas. Este incremento sugiere la capacidad de la especie para adaptarse a entornos que podrían volverse más propicios en el futuro, demostrando así una respuesta discernible a los cambios climáticos proyectados.

El estudio realizado por (Durán et al., 2018) tuvo como objetivo evaluar el impacto del cambio climático en la distribución de *Morus alaba L.* en México. Utilizando el modelo de Máxima Entropía (MaxEnt), donde se analizaron nichos de distribución para las climatológicas 1950-2000 (referencia), 2041-2060 y 2060-2080, considerando las concentraciones de gases de efecto invernadero RCP 4.5 y 8.5 se emplearon 21 variables bioclimáticas obtenidas del portal Global Climate Data de WorldClim. El modelo de circulación general utilizado fue HADGEM2-ES considerado por los autores del estudio como confiable y preciso en la simulación de variables climáticas además que tiene la capacidad de proporcionar datos en la resolución adecuada. Además, indican que el uso de este modelo garantiza la representación precisa de las condiciones climáticas, por lo tanto, fortalece la robustez de los resultados obtenidos en el estudio.

Mediante la Tabla 10, exhibe los mapas generados mediante el Modelo de Circulación Global HADGEM2-ES para el año 2050 bajo RCP 2.6 y 8.5. Estos mapas indican de manera clara que las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay presentan una probabilidad alta de desarrollo de la especie invasora de especie *Thunbergia alata Sims.* En consonancia con estos hallazgos, al proyectar la evaluación hacia el año 2080 bajo las mismas condiciones, se observa una persistencia en la tendencia, confirmando las provincias mencionadas que mantendrán una alta probabilidad para el desarrollo.

El análisis de esta información se basa fundamentalmente a las condiciones ambientales idóneas proyectadas al futuro que presentan estas provincias, esto podría deberse a la capacidad para prosperar en entornos diferentes y su habilidad de colonizar territorios con condiciones específicas. Otro punto importante para resaltar que el cambio climático y la invasión de especies puede tener efectos sinérgicos, si las condiciones ambientales cambian favorablemente

para la especie invasora *Thunbergia alata Sims*, podría competir con las especies nativas, alterando así la composición de la vegetación en estas provincias.

10.11. Comparación de los Modelos de Distribución de *Thunbergia alata Sims* bajo los modelos climáticos globales MIROC5 y HADGEM2-ES

Los modelos de distribución futuras realizadas permitieron identificar las provincias que podrían ser afectadas por la distribución de la especie invasora *Thunbergia alata Sims*, bajos los modelos climáticos globales, MIROC5 y HADGEM2-ES para los años 2050 y 2080 en los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 respectivamente, como se muestra en la Tabla 11. Se puede observar para el año 2050 y bajo el escenario de RCP 2.6 del Modelo de Circulación Global MIROC5 para el año 2080 con un área total de 6 592.08 Km² el cual representa el índice alto que la especie *Thunbergia alata Sims* desarrolle en la región interandina del Ecuador. Mientras que la probabilidad media que se desarrolle se presenta en el escenario de RCP 8.5 del Modelo de Circulación Global MIROC5 para el año 2080 con un área de 8 605.66 Km². El modelo que tiene posibilidades medias de adaptación HADGEM2-ES para el año 2050 bajo el escenario RCP 8.5 tiene posibilidades medias de adaptación, con un área de 8 539.74 Km², por lo que existe un crecimiento continuo de las posibilidades de adaptación de la especie.

Tabla 11.

Comparación de la distribución actual y futura 2050 & 2080 bajo los modelos MIROC5 y HADGEM2-ES

Probabilidad de establecimiento <i>Thunbergia alata Sims</i> -Actual y Futura Región Interandina del Ecuador												
Lg	Actual		R C P	Lg	MIROC5				HADGEM2-ES			
	Km ²	%			2050		2080		2050		2080	
					Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
	38 036.30	63.47	2.6		31 372.31	52.35	30 733.03	51.35	31 839.75	53.13	31 342.34	52.30
	11 206.54	18.70			15 791.03	26.35	15 880.92	26.50	14 718.32	24.56	14 999.98	25.05
					7 401.11	12.35	8 539.74	14.25	7 940.46	13.25	7 940.46	13.25
	5 765.07	9.62	8.5		5 363.56	8.95	4 734.31	7.90	5 429.48	9.06	5 645.22	9.42
					30 755.05	51.32	36 094.63	60.23	35 753.04	59.66	35 854.92	59.83
	4 290.09	8.21			13 975.96	23.12	14 728.32	24.56	13 339.90	22.36	13 333.98	22.25
					8 605.66	14.36	6 148.61	10.26	5 729.12	9.56	5 729.12	9.56

Elaborado por: Navas Paulina

En todos los modelos de distribución futura se puede observar que la menor posibilidad de desarrollar la especie se encuentra en las provincias de Carchi y Cañar. Además, las provincias que se podrían ver mayormente afectadas en un futuro son Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay. Como podemos observar en los modelos de distribución se pueden distinguir que las zonas con rangos medias y bajas no se observa cambios de la zona en la adaptación de la especie *Thunbergia alata Sims* en las provincias de la región interandina del Ecuador están ubicados especialmente hacia la zona oriente donde se encuentran condiciones más frías y un poco húmedas, debió a que en el límite de la cordillera oriental existen condiciones un poco más frías. Cabe recalcar que en todas las provincias de la región existe afectación a diferentes rangos, es decir que ninguna provincia queda exenta de que la especie se pueda desarrollarse con facilidad debido a que coexisten zonas calientes templadas y frías lo que revela el potencial de adaptación de esta.

Una investigación realizada por el autor Portilla Farfán en el año 2018 y publicado en la Revista Scielo. El trabajo principalmente data de la Agroclimatología del Ecuador mismo que permitió la identificación precisa de las zonas que albergan los diferentes tipos de vegetación y cultivos. Este análisis reveló que con respecto a las áreas propicias para el establecimiento de la especie para los años 2050 y 2080 en los dos Modelos de Circulación Global MIROC5 y HADGEM2-ES en el RCP 2.6 y 8.5, se anticipa que predominará en gran medida en los bosques secos y las tierras agrícolas interandinas de la región. La importancia de estas zonas específicas resalta la eficaz correlación con las variables bioclimáticas que aportan a los modelos. Esta conexión entre las zonas identificadas contribuye a la comprensión holística del potencial establecimiento de la especie.

La comparación de los modelos indica una consistencia en la tendencia de la distribución de la especie, con variaciones en el tamaño de las áreas que exhiben condiciones propicias para su existencia. En este contexto, los mapas generados para la distribución actual y futura se presentan como valiosas herramientas orientativas para la investigación y la planificación de acciones de control y prevención. Estos mapas, al identificar zonas aptas y no aptas para la especie, ofrecen una guía sólida para la toma de decisiones. Es importante destacar que los mapas proyectados hacia un futuro representan una posibilidad, según lo señalado por (Abad-Auquilla, 2020), lo que subraya la importancia de considerar esta perspectiva probabilística en la formulación de estrategias de gestión y conservación de la biodiversidad nativa.

Los resultados de los modelos revelan alteraciones notables, especialmente en el incremento de la temperatura, y en menor medida las pautas de precipitación. Es imperativo tener en cuenta, que, aunque las proyecciones obtenidas en este estudio coinciden de alguna manera con investigaciones previas, es difícil determinar con precisión las condiciones climáticas futuras. Este aspecto resalta la necesidad de reconocer la inherente incertidumbre asociada con las predicciones climáticas, como señala (Rosete Blandariz, 2019).

Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio se prestan para su aplicación en diversas acciones relacionadas con la prevención, control y mitigación. En este contexto específico sería posible llevar a cabo un análisis de las posibles pérdidas de la biodiversidad nativa, es decir la afectación que tiene la especie invasora. A partir de dicho análisis, se podrían desarrollar estrategias y prácticas agrícolas efectivas, orientadas a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), según lo propuesto por (Johanna et al., 2020).

En cuanto a los resultados, los modelos muestran una notable capacidad para reproducir tanto el clima presente como sus variaciones. Esto aporta confianza a los escenarios de RCP 2.6 y 8.5 proyectados para los años 2050 y 2080. Es importante destacar que diversas investigaciones respaldan la viabilidad del modelado, especialmente al considerar que se basa exclusivamente en los datos actuales.

11. IMPACTOS

11.1. Impacto social

El proyecto presenta los resultados obtenidos de los modelos de distribución actual y futura de la especie invasora *Thunbergia alata Sims*, siendo útil la investigación para comprender la expansión de esta especie la cual compite con la biodiversidad nativa, afectando de manera directa a la productividad agrícola, y, por ende, la seguridad alimentaria. Lo cual implicaría la toma de decisiones para controlar la expansión e invasión de esta especie. Además, el proyecto fomenta la participación ciudadana al utilizar datos de la ciencia ciudadana, involucrando a la recolección de la información de la presencia de la especie, fortaleciendo la conexión entre la población local y la investigación científica, promoviendo la conciencia ambiental y a la colaboración en la gestión sostenible de los recursos naturales.

11.2. Impacto ambiental

El presente estudio para predecir la distribución de la especie *Thunbergia alata Sims* permite conocer la posibilidad de incidencia del desplazamiento de especies nativas, alterar la composición de la flora y fauna y modificar los patrones de polinización y dispersión de semillas afectando así la biodiversidad. Promoviendo el manejo adecuado, implementando medidas de control y gestión efectivas. Cabe recalcar que la identificación de áreas invadidas y la evaluación de posibles cambios inducidos por el cambio climático proporcionan información clave para la gestión de la especie invasora y la adaptación de los desafíos ambientales. También influyen en la toma de decisiones sobre el manejo de recursos naturales y la planificación territorial. A través de la divulgación de resultados, se promueve la sensibilización ambiental, destacando la conservación de la biodiversidad local.

11.3. Impacto económico

Esta investigación da a conocer las áreas con mayor posibilidad de desarrollar la especie invasora, con el fin de que la propagación descontrolada puede afectar áreas turísticas y paisajes naturales, lo que a su vez podría impactar negativamente en la economía local basada en el turismo. Es importante destacar que posee una trascendencia económica multifacética, en el

ámbito agrícola, la identificación de las áreas propicias para el cultivo de la especie podría dinamizar la producción agrícola, mejorando de esa forma la eficiencia de los cultivos. Asimismo, a la industrial florícola podría capitalizar la información sobre las condiciones climáticas ideales optimizando sus procesos de producción. Además, esta investigación podría influir en políticas de uso del suelo y abrir puertas a posibles aplicaciones farmacéuticas o industriales basadas en las propiedades de la especie invasora *Thunbergia alata Sims*.

12. CONCLUSIONES

En el transcurso de este estudio, se ha explorado y analizado detalladamente la distribución actual y futura de la especie invasora *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador ha proporcionado información valiosa para comprender los factores determinantes de la presencia. El modelo de distribución actual revela las áreas propicias para su desarrollo, mientras que la proyección futura considera cambios en su distribución en respuesta a las condiciones ambientales cambiantes. Además, los resultados obtenidos ofrecen una base sólida para la implementación de estrategias de conservación y manejo sostenible de la región, destacando la adaptabilidad y la gestión informada para garantizar la prevención a largo plazo de la especie.

En la presente investigación, se recopilieron datos de presencia de la especie a partir de dos fuentes fundamentales: la plataforma Global Biodiversity Information Facility y también iNaturalistEC. Este esfuerzo de recopilación generó inicialmente un conjunto de 1 407 registros que abarcan toda de la región interandina, destacando a Pichincha y Loja como las provincias que presentan un mayor número de registros. No obstante, para garantizar la calidad y fiabilidad de los datos, se llevó a cabo un proceso riguroso de depuración. Esto incluyó la aplicación de criterios estrictos, como la revisión de la discrepancia entre los datos y las coordenadas, así como la identificación y eliminación de los registros repetidos de un mismo píxel o aquellos que se encontraban a una distancia menor a 1 Km. Después de este proceso y la validación subsiguiente, se logró obtener un conjunto final de 260 datos de presencia.

Una vez desarrollado el modelo de distribución actual para la predicción de la *Thunbergia alata Sims* en la región Interandina del Ecuador, obteniendo como base el registro de presencia, la correlación de las variables bioclimáticas y mediante el software MaxEnt el cual nos permitió obtener datos de Área Bajo la Curva (AUC) de 0.914 es decir, un valor superior de 0.75 logrando así demostrar la idoneidad y confiabilidad del modelo. La generación del modelo de distribución actual de la especie invasora de la especie se obtuvo como resultado que las

provincias registran la probabilidad alta de desarrollo son: Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay y Loja, con un área de 4 290.09 Km² equivalente a un 8.21% del total del área de la región Interandina del Ecuador y a su vez con una probabilidad muy baja con un área de 38 036.30 Km² equivalente a un 63.47%.

Al proyectar la distribución futura bajo los Modelos de Circulación Global MIROC5 y HADGEM2-ES, considerando los horizontes de temporales de 2050 y 2080 y los escenarios climáticos RCP 2.6 y 8.5, hemos obtenido perspectivas cruciales sobre el impacto potencial de los cambios climáticos de la especie. Los resultados indican que, en los modelos propuestos, las variables bioclimáticas para el futuro, que proporcionan más útil fueron identificadas en las pruebas Jackknife son Bio 5 temperatura máxima media del período más cálido, la Bio 11 temperatura media del cuatrimestre más frío. En todos los modelos de distribución futura se puede observar que la menor posibilidad de desarrollar la especie *Thunbergia alata Sims* se encuentran en las provincias de Carchi y Cañar. Y a su vez las provincias que se podrían ver mayormente afectadas en un futuro son Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay. Cabe recalcar que el área promedio de la posibilidad alta de desarrollarse la especie con un área de 6 553.13 Km² equivalente a un 10.84% del total del área de la región Interandina del Ecuador y a su vez con una probabilidad muy baja con un área de 31 321.86 Km² equivalente a un 52.29%. Además, se observó que las áreas de posibilidad alta de desarrollo de la especie pertenecen a bosques secos como también a las tierras agrícolas interandinas de la región.

13. RECOMENDACIONES

Al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), deberían trabajar en un conjunto de forma articulada, además de incentivar a los investigadores del Ecuador para que aumenten las investigaciones sobre investigaciones la implementación de diversos modelos de distribución con el propósito de realizar una comparación exhaustiva de los resultados obtenidos.

A la Fundación Maquipucuna, enfocada en la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible que trabaja en la región interandina, debería impartir charlas de educación ambiental sobre las consecuencias y las medidas de control de la especie *Thunbergia alata Sims*.

Al Ministerio de Agricultura y Ganadería a nivel regional deberían divulgar los hallazgos a los productores agrícolas para mantenerlos informados acerca de la potencial expansión de la especie invasora *Thunbergia alata Sims* en el futuro. Esto permitirá estar preparados y tomar

medidas preventivas adecuadas para evitar la expansión de esta para evadir la pérdida de la biodiversidad.

Estudiantes y profesionales de ciencias ambientales de las Instituciones de Educación Superior del Ecuador, pueden generar estrategias públicas para la creación de proyectos de investigación sobre la especie invasora, con la finalidad de crear medidas de control eficaces para salvaguardar la integridad de la inmensa biodiversidad de Ecuador.

14. REFERENCIAS

- Abad-Auquilla, A. (2020). El cambio de uso de suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 68–91. <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.4>
- Abdel-Warith, A.-W. A., Younis, E.-S. M., Al-Asgah, N. A., H Abd-Elkader, M. O., & Ahmed Elsayed, E. (2020). Effects of Sub-lethal Lead Nitrate and Copper Sulfate Concentrations on Hematological Parameters During Long-term Exposure in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). In *Journal of Scientific & Industrial Research* (Vol. 79).
- Abolmaali, S. M. R., Tarkesh, M., & Bashari, H. (2018). MaxEnt modeling for predicting suitable habitats and identifying the effects of climate change on a threatened species, *Daphne mucronata*, in central Iran. *Ecological Informatics*, 43, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.10.002>
- Aguirre, Z., Nelson, M., Díaz, J., & Coronel, W. Q. (2019). *Arvenses asociadas a cultivos y pastizales del Ecuador* (Biodiversida, Vol. 2). Herbario Reinaldo Espinosa. www.ediloja.com.ec
- Arambarri, A. M. (2018). The “clearing technique 5-5-5”, a natural method for treatment of plant materials. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 53(4), 579–586. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n4.21980>
- Araujo De Oliveira, G., Ferreira, L., Romão Batista, D., José, ;, Cirilo, A., Alfredo, ;, Neto, R., Suzana, ;, Gico, M., & Montenegro, L. (2019). *XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS VALIDAÇÃO DE DADOS MATRICIAIS DO PROJETO WORLDCLIM PARA CARACTERIZAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES NO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL*. <http://worldclim.org/version2>
- Barber, R. A., Ball, S. G., Morris, R. K. A., & Gilbert, F. (2022). Target-group backgrounds prove effective at correcting sampling bias in Maxent models. *Diversity and Distributions*, 28(1), 128–141. <https://doi.org/10.1111/ddi.13442>
- Barrera, M., Jaime, J., Fernández, F., Carlo, G., Solera Abel, S., & Joaquín, A. Á. (2020). Local Intensity, Linear Scaling, Power Transformation y Quantile-Mapping. In *Delta Change Approach*. Teutschbein & Seibert.

- Basantes, N., Alejandra, M., Latinoamericana, F., & Sociales, C. (2021). CHARACTERISTICS OF AGROECOLOGICAL RE-PEASANTIZATION IN THE ANDESECUADORIANS: CASES OF THE NORTHERN HIGHLANDS. *Periodicidad: Semestral*, 11, 2021.
- Bhogen, T., Ajit, S., Das, K., & Singh, P. K. (2015). Study of Alien and Invasive Flora of Valley District of Manipur and Their Control. *IJIRST-International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1. www.ijirst.org
- Cao, Z., Zhang, L., Zhang, X., & Guo, Z. (2021). Predicting the potential distribution of *hylomecon japonica* in china under current and future climate change based on maxent model. *Sustainability (Switzerland)*, 13(20). <https://doi.org/10.3390/su132011253>
- Cárdenas, D., Baptiste, M. P., Castaño Arboleda, N., & Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2018). *Plantas exóticas con alto potencial de invasión en Colombia* (Vol. 1). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos.
- Carrera-Villacrés, D. V., Buenaño, A. D., Estrada, G. E., Robles, G. M., Torres, R. S., Quinteros, J., & Gómez, A. (2020). Relationship between the morphometric and physicochemical parameters of the Urkuhuayku microbasin where the Urku Yaku 2.0 fog collector system tower is located. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.161>
- Carrillo, J. M., Lora, B. J., Gabriela, M., Romero, C., & Torres, Y. P. (2020). *Revista Hidrolatinoamericana*. www.iahr.org
- Carvajal, E., Gutiérrez, D., & Ledesma, R. (2020). Plantas exóticas naturalizadas con potencial de invasoras en zonas periurbanas del Alta Amazonia Ecuatoriana. *Ciencia y Tecnología*, 13(1), 69–79. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i1.354>
- Castro-Díez, P. (2018). Las invasiones biológicas y su impacto en los ecosistemas. *Ecosistemas*, 24(1), 1–3. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-1.01>
- Cervantes Serna, J., Serna-Lagunes, R., Salazar-Ortiz, J., & Pérez-Sato, A. (2018). Nicho ecológico fundamental de *Ecnomiohyala miotympanum* (Cope, 1863) con DIVA-GIS y MaxEnt Fundamental ecological niche of *Ecnomiohyala miotympanum* (Cope, 1863) with DIVA-GIS and MaxEnt. *Abril-Junio*, 8(2), 84–93. <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v8i2.608>

- Cláudia Nogueira Silva, A. DA. (2019). *ANA CLÁUDIA NOGUEIRA DA SILVA PLANTAS ORNAMENTAIS EXÓTICAS INVASORAS NO PAISAGISMO: CARACTERÍSTICAS E ÁREAS DE OCORRÊNCIA NO BRASIL.*
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2018). Selection of environmental predictors for species distribution modeling in Maxent. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(2), 187–201. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034>
- Daniel, T., Jesús, L., Morales, G., & Mora-Olivo, A. (2018). *Taxonomic and Photographic Guide to the Acanthaceae of Tamaulipas, Mexico.* <https://www.researchgate.net/publication/357381434>
- Durán, N., Loya, J., Ruiz, J., & Raymundo, D. (2018). Impactos del cambio climático en la distribución potencial de *Morus alba* L. en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(13), 2–9.
- Eladio, J., Pérez, M., & Coto, M. L. (2018). *Guía ilustrativa de la tunbergia (Thunbergia alata) Illustrative guide to blackeyed Susan vine (Thunbergia alata).*
- Escobedo, N., Jéssica, K., López López, E., Denisse, D., & González, E. (2018). *Informe final Distribución potencial de las abejas nativas de Guatemala ante posibles escenarios del cambio climático, fase II: Bombus (Apidae: Bombini) Equipo de investigación.*
- Eysenbach, B., & Levine, S. (2019). *If MaxEnt RL is the Answer, What is the Question?* <http://arxiv.org/abs/1910.01913>
- Fabián Zambrano-Intriago, L., Patricia Buenaño-Allauca, M., Javier Mancera-Rodríguez, N., & Jiménez-Romero, E. (2018). *Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas por los habitantes del área rural de la Parroquia San Carlos, Quevedo, Ecuador Ethnobotanical study of medicinal plants used by rural inhabitants of the parish San Carlos Quevedo in Ecuador.*
- Facio, R., & Coto, A. (2016). *UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.*
- Fick, SE y RJ Hijmans, 2017. WorldClim 2: nuevas superficies climáticas de resolución espacial de 1 km para áreas terrestres globales. *Revista Internacional de Climatología* 37 (12): 4302-4315 .

- Gabel, N. H., Wise, R. R., & Rogers, G. K. (2020). Distribution of cystoliths in the leaves of acanthaceae and its effect on leaf surface anatomy. *Blumea: Journal of Plant Taxonomy and Plant Geography*, 65(3), 224–232. <https://doi.org/10.3767/blumea.2021.65.03.07>
- Giovanny, R., Malaver, V., Drn, T., Eduard, J., & Rojas, R. (2020). *Plan de Prevención, Control y Manejo de las poblaciones de Thunbergia alata Bojer ex Sims para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR DIRECCIÓN DE RECURSOS NATURALES DRN LUIS FERNANDO SANABRIA MARTÍNEZ Director General.*
- Guión Conceptos Básicos sobre Cambio Climático. (s.f.). LIMACOP20. Recuperado el 04 de 09 de 2020, de CMP10.
- Granera Rugama, J. A. (2019). La integral definida como el área bajo una curva en un entorno computacional. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 30, 3–19. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i30.7883>
- Guevara, L., León-Paniagua, L., Rios, J., Anderson, R. P., Guevara, L., & León-Paniagua, L. (2018). *Variación entre Modelos de Circulación Global para 3 reconstrucciones de distribuciones geográficas del Último Máximo Glacial: relevancia para la filogeografía Variation among Global Circulation Models for reconstructions of 7 geographic distributions at the Last Glacial Maximum: relevance 8 for phylogeography.*
- Gurrola-López, G. H., Rivera-Rodríguez, L. B., González-Bernal, M. A., & Medina-Osuna, R. E. (2023). Registros de la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en Culiacán, Sinaloa. *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología*, 24(1). <https://doi.org/10.28947/hrmo.2022.24.1.657>
- Gutiérrez-Bonilla, F. D. P., Baptiste, M. P., García, L. M., Cárdenas, J., Salgado-Negret, B., Vásquez Valderrama, M., ... & Reyes, S. (2018). Plantas exóticas con alto potencial de invasión en Colombia.
- Herrera-Feijoo, R. J., de Decker, M., Chicaiza-Ortiz, C., Peñafiel Arcos, P., & Garzón Ortega, C. (2021). Posibles cambios en el rango de distribución de *Tapirus pinchaque* bajo escenarios de cambio climático. *Green World Journal*, 4(2), 004. <https://doi.org/10.53313/gwj42004>

- INEC. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*.
- Jian Liu (2020). HadGEM2-ES, Model Item, OpenGMS, <https://geomodeling.njnu.edu.cn/modelItem/7d8460a3-3db2-4cd1-ba91-65590a8233c5>
- Johanna, L., Gonzalez, R., Ingeniería, P., Santiago, A., & Cali, D. (2020). *AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL MUNDO Y EN COLOMBIA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA*.
- Li, Y., Li, M., Li, C., & Liu, Z. (2020). Optimized maxent model predictions of climate change impacts on the suitable distribution of *Cunninghamia lanceolata* in China. *Forests*, *11*(3). <https://doi.org/10.3390/f11030302>
- López Gabriel, Barros Yolanda, Salgado Adriana, & Troncoso Norma. (2020). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ATLAS CLIMATOLÓGICO DEL ECUADOR PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1720/1/CD-2755.pdf>
- Maldonado J. (2020). “THE ENVIRONMENTAL CONSTITUTIONALISM IN ECUADOR.” *Actualidad Jurídica Ambiental*, *4*, 20–23.
- Manzanilla-Quiñones, U., Delgado-Valerio, P., Pedraza-Santos, M. E., & Molina-Sánchez, Y. A. (2023). Environmental suitability modeling in the identification of potential sites for dendrochronological data collection. *Madera y Bosques*, *29*(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912464>
- Marchi, M., Sinjur, I., Bozzano, M., & Westergren, M. (2019). Evaluating WorldClim version 1 (1961-1990) as the baseline for sustainable use of forest and environmental resources in a changing climate. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(11). <https://doi.org/10.3390/su11113043>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, & J. (2021). REVISTA CHILENA DE HISTORIA NATURAL Species distributions models: A synthetic revision. In *Revista Chilena de Historia Natural* (Vol. 84).
- Mcns, H., Del Valle Lerma, F. DE, & Ezcurra, C. (2019). *APORTES BOTÁNICOS DE SALTA-Ser. Flora A C A N T H A C E A E Juss* (Vol. 6). www.darwin.edu.ar/
- Mendieta, O. (2022). *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO*.

- Met Office, H. C. (2019). *Introduction to HadGEM2-ES*.
- Mira, Y., Castañeda, D., Morales, J., & Patiño, L. (2021). Phytopathogenic fungi with potential as biocontrol agents for weeds of importance in crops of Antioquia, Colombia. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00467-6>
- Miraglia, M. (2019). Applications of the historical cartography and the geographical information technologies in the environmental history. *Revista de Historia Regional*, 24(1), 24–41. <https://doi.org/10.5212/Rev.Hist.Reg.v.24i1.0002>
- Miranda, R. P., Sánchez, M. E. R., Hernández, A. G., Mata, S. R., Sánchez, F. M., & Padilla, V. J. A. (2019). Modeling of the current distribution and under climate change of endemic pinyon pines of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.613>
- Mota-Vargas, C., Luévano, A. E., Ortega-Andrade, H. M., & Prieto-Torres, D. A. (2019). *Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL ACTUAL Y BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS TORTUGAS DE LA FAMILIA PODOCNEMIDIDAE* View project *Actualización de la Lista Roja de Anfibios de Ecuador* View project. <https://www.researchgate.net/publication/339181920>
- Moya, A. (2018). Evaluación del Modelo Climático Global MIROC5 y estimaciones de temperatura y precipitaciones para las zonas sur y norte del Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 05(02). <https://doi.org/10.18259/acs.2015028>
- Ochoa Ochoa, L. M., & Ríos Muñoz, C. A. (2019). Estimación de adecuabilidad de especies en ambientes antropizados desde el enfoque de modelado de nicho. In *Antropización: Primer Análisis Integral*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. <https://doi.org/10.22201/ib.9786073020305e.2019.c18>
- Omale, J., Mutai, P., Njogu, peter, Mukungu, N., Mwangi, J., & Odongo, E. (2020). ETHNOBOTANICAL SURVEY OF ANTIMICROBIAL MEDICINAL PLANTS USED IN TRADITIONAL MEDICINE IN WESTERN KENYA. *Applied Medical Research*, 7(1), 6. <https://doi.org/10.5455/amr.20190707020750>

- Pacífico, D., Centro, Y., Nicaragua Volumen, D. E., Nicaragua, D. E., Alemán, F., José, Z., Quezada, B., Miguel, B., & Zapata, G. (2019). *FLORA ARVENSE Y RUDERAL*.
- Pastor Saavedra, A., Sánchez García, E., Voces Aboy, J., Navascués Fernández-Victorio, B., & Doblas-Reyes, F. (2018). Predicciones mensual, estacional y anual. In *Física del caos en la predicción meteorológica* (pp. 447–476). Agencia Estatal de Meteorología. <https://doi.org/10.31978/014-18-009-x.28>
- Pérez, Y., Hernández, A., & Gómez, R. (2018). Fitófagos de banano y plátano bajo condiciones de cambio climático en Cuba. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(2), 16. <https://doi.org/10.15359/rca.52-2.8>
- Peréz&Arbelazia. (2019). EcologadeespeciesInvasoras. *Jardín Botánico*, 2, 20–32.
- Pérez-Irineo, G., Barrera, C. B., & Santos-Moreno, A. (2019). Density, environmental suitability and ecological niche in four American feline species (Carnivora: Felidae). *Revista de Biología Tropical*, 67(3), 667–678. <https://doi.org/10.15517/RBT.V67I3.34819>
- Portilla Farfán, F. Introducción. In: Agroclimatología del Ecuador [online]. Quito: Editorial AbyaYala, 2018, pp. 17-40. ISBN: 978-9978-10-492-7. <https://doi.org/10.7476/9789978104927.0001>.
- Politis, G., Domic, A. I., Bonomo, M., & Capriles, J. M. (2019). *MODELAMIENTO DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES DE LA DISTRIBUCIÓN DE SITIOS GOYAMALABRIGO MEDIANTE MAXENT*. <https://www.researchgate.net/publication/332970581>
- Puga, N. D., Olguín, J. L. L., Corral, J. A. R., Eguiarte, D. R. G., Paredes, J. D. G., González, S. M., & González, M. R. C. (2020). Impact of climate change on the potential distribution of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray in Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11, 93–106. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V11S2.4705>
- Quesada-Quirós, M., Acosta-Vargas, L. G., Arias-Aguilar, D., & Rodríguez-González, A. (2019). 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*, 14(34), 01. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991>

- Quiñones, U. M., Valerio, P. D., Ramos, J. H., Sánchez, A. M., Magaña, J. J. G., & del Carmen Rocha Granados, M. (2019). Similarity of ecological niche of *Pinus montezumae* and *P. pseudostrobus* (Pinaceae) in Mexico: Implications for the selection of seed production and conservation areas. *Acta Botanica Mexicana*, 126. <https://doi.org/10.21829/ABM126.2019.1398>
- Ramírez Díaz, F. (2020). *Características florísticas y estructurales de dos fragmentos de bosques dominados por Guadua angustifolia Kunth pertenecientes a la cuenca media y baja del Río La Vieja.*
- Rempel, C., Paula de Borba Morás, A., Bernardes Bica, J., Fernando Herrmann, M., Markus, E., Figueroa, A., Lizandro Schmidt, J., França Costa, K., Kreutz, C., Rocha Pereira, O., de Paula Athayde Filho, F., Pedroso de Moraes, G., Wortmann Marques, M., Leandro Bueno, M., & Rodrigo Lehn, C. (2018). *ORQUIDEAS NO PARQUE NATURAL CHICAQUE, ANDES ORIENTAIS DA COLÔMBIA SAMAMBAIAS E LICÓFITAS DA SUB-BACIA DO RIO FIÚZA, NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.* <http://www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/botanica/botanica.htm>
- Ricardo Alvaro-Alba, W., & Joven, B. (2018). Clave para géneros y algunas especies de plantas ornamentales de Tunja (Boyacá-Colombia) Key to Genera and Species of some Ornamental Plants of Tunja (Boyacá-Colombia). *Ciencia En Desarrollo*, 2(2), 39–59.
- Ríos-Muñoz, C. A., Vega-Flores, M., Vega-Flores, K. M., Hernández-Rubio, S., & Espinosa-Martínez, D. V. (2021). *DEL CONCEPTO A SU APLICACIÓN: EL PROCESO DEL MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS Y SUS ALGORITMOS FROM THE CONCEPT TO ITS APPLICATION: THE PROCESS OF ECOLOGICAL NICHE MODELLING AND THEIR ALGORITHMS* (Vol. 04, Issue 01).
- Romero, M. Á. V., Chitiva, L. C., Bravo-Chaucanés, C. P., Hernández, A. X., Parra-Giraldo, C. M., & Costa, G. M. (2023). Black-eyed Susan vine (*Thunbergia alata*): chemical and antifungal potential evaluation of an invasive plant species in Colombia. *Universitas Scientiarum*, 28(2), 217–229. <https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.SC282.BESV>
- Rosete Blandariz, S. (2019). Phyto-resources of interest for tourism in the dry forests of the coastal region, Jipijapa, Manabí, Ecuador Fitorecursos de interés para el turismo en los bosques secos de la región costa, Jipijapa, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2, 12–18.

- Sánchez, A., & Quijano, A. (2020). *Trabajo de grado para optar por el título de Biólogo Asesor*.
- Sánchez J, & Lorenzo P. (2019). FLORA ORNAMENTAL DE MURCIA. FAMILIA ACANTHACEAE. *Plantas Ornamentales de Los Jardines de Murcia*, 2, 1–2.
- Silva, N. C. B., Ramos, Y. J., Lopes, R. C., & Peixoto, A. L. (2023). The importance of home gardens for the conservation of knowledge and practices about medicinal plants in an Environmental Protection Area in the Atlantic Forest of the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 22(4), 451–471. <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.4.34>
- Silva-Balaguera, A., Leguizamón, O. D., & Valiente, L. L. (2018). Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): una revisión. *Ingeniería Solidaria*, 14(26). <https://doi.org/10.16925/in.v14i26.2417>
- Soberón, J., & Miller, C. P. (2019). Evolución de los Nichos Ecológicos. In *Miscelánea Matemática* (Vol. 49).
- Taco, R. E. P., Pando, L. R. G., & Otiniano, A. M. J. (2020). Environmental sustainability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) production in the inter-Andean valleys of Peru. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 21(3). https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL21_NUM3_ART:1309
- Toledo, R., & López, Z. (2021). *NOVIEMBRE 2021 P PLAN DE ACCIÓN PARA EL CLIMA Y LA ENERGÍA SOSTENIBLE* Página 2.
- Velez, J., & Diaz, T. (2018). *Procesos de invasión de plantas terrestres en los parques ecológicos distritales de humedal de Bogotá*.
- Vistín, D. A., Salas, E. M., Balseca, J. E., & Lara, N. X. (2022). Distribución potencial de *Polylepis incana* en los Andes ecuatorianos para estudios de fisiología vegetal y planes de rehabilitación forestal. *Ecología Austral*, 33(1), 001–012. <https://doi.org/10.25260/ea.23.33.1.0.1991>
- WorldClim. (2020). DATOS CLIMATICOS HISTÓRICOS. Obtenido de WorldClim: worldclim.org/data/worldclim21.html