

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v9i17.0323>

EVALUACIÓN ESPACIO - TEMPORAL DE SUSANITA (*Thunbergia alata sims*) EN LA REGIÓN INTERANDINA DEL ECUADOR BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2025

SPATIAL-TEMPORAL EVALUATION OF SUSANITA (*Thunbergia alata sims*) IN THE INTER-ANDEAN REGION OF ECUADOR UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS, 2025

Lima-Sánchez Gabriela Lisette ¹; Rivera-Moreno Marco Antonio ²;
Navas-Martínez Paulina Elizabeth ³

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de CAREN, Ingeniería Ambiental. Latacunga, Ecuador. Correo: gabriela.lima1797@utc.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-8506-3528>

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de CAREN, Ingeniería Ambiental. Latacunga, Ecuador. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3614-9360>.

³ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de CAREN, Ingeniería Ambiental. Latacunga, Ecuador. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6641-2364>.

Resumen

El estudio tuvo como objeto evaluar la distribución espacio-temporal de *Thunbergia alata Sims* (Susanita) en la región interandina del Ecuador bajo escenarios de cambio climático y proyecciones futuras. Se aplicó un enfoque metodológico mixto que integró registros de presencia depurados (1.407 observaciones), variables bioclimáticas seleccionadas mediante el análisis de correlación de Pearson y modelado de nicho ecológico con MaxEnt, utilizando datos de plataformas abiertas (GBIF, iNaturalist) y proyecciones climáticas de los modelos MIROC5 y HADGEM2 – ES en escenarios RCP 2.6 y 8.5. Los resultados mostraron una alta capacidad predictiva del modelo (AUC>0.90), confirmando su fiabilidad para estimar la idoneidad ambiental de la especie. Actualmente, la distribución se concentra en Pichincha, Loja y Azuay; sin embargo, las proyecciones evidencian una expansión hacia Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua, favorecida por el incremento de temperaturas medias y la reducción de la estacionalidad térmica. Se concluye que el cambio climático actúa como facilitador de la invasión, incrementando el riesgo ecológico en ecosistemas andinos de alta biodiversidad. La información generada constituye una base científica para orientar acciones de monitoreo temprano, restauración ecológica y gestión territorial, con el fin de prevenir impactos negativos sobre la biodiversidad nativa.

Palabras clave: cambio climático, especie invasora, modelado MaxEnt, región interandina, *Thunbergia alata*.

Abstract

The study aimed to evaluate the space-time distribution of *Thunbergia alata Sims* (Susanita) in the inter-Andean region of Ecuador under climate change scenarios and futures projections. A mixed methodological approach was applied, integrating validated occurrence records (1,407 observations), bioclimatic variables selected through Pearson correlation analysis, and ecological niche modeling with MaxEnt, using open-source data (GBIF, iNaturalist) and climate projections from MIROC5 and HADGEM2-ES models under RCP 2.6 and 8.5 scenarios. Results showed high predictive performance (AUC > 0.90), confirming the reliability of the model to estimate environmental suitability. Currently, distribution is concentrated in Pichincha, Loja, and Azuay; however, projections indicate expansion towards Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo, and Tungurahua, driven by increasing mean temperatures and reduced thermal seasonality. It is concluded that climate change acts as a facilitator of invasion, increasing ecological risk in

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 13 de octubre de 2025.

Fecha de aceptación: 18 de diciembre de 2025.

Fecha de publicación: 12 de enero de 2026.



Andean ecosystems with high biodiversity. The generated information provides a scientific basis to guide early monitoring, ecological restoration, and territorial management, aiming to prevent negative impacts on native biodiversity.

Keywords: climate change, inter- Andean region, invasive species, MaxEnt modeling, *Thunbergia alata*.

1. Introducción

La especie vegetal *Thunbergia alata* Sims, conocida como “Susanita”, es una planta trepadora natural de Sudáfrica considerada invasora; ampliamente utilizada con fines ornamentales debido a que posee flores muy atractivas por sus colores vistosos en tonos naranja, amarillo y blanco con centro oscuro (Herrera et al., 2022). A pesar del interés ornamental, investigaciones científicas la citan como una especie con potencial invasivo y presenta compuestos bioactivos fitoquímicos, farmacológicos y ambientales (Valderrama Molina, 2024). A causa de esto, su cultivo se ha extendido a regiones tropicales y subtropicales, facilitando su introducción a Sudamérica, principalmente en países como Brasil, Colombia, Ecuador y Perú, en donde se ha establecido como una amenaza persistente en los ecosistemas clave de páramo y bosques montanos, especialmente en la región

interandina del Ecuador (Romero et al., 2023).

La introducción de especies ornamentales puede generar procesos de invasión biológica y provocar afectaciones en la estructura y diversidad de las comunidades nativas. (Wang et al., 2025). En el caso de *T. alata* Sims, recientes estudios proyectan su expansión potencial en ecosistemas andinos bajo escenarios climáticos futuros y la reportan como una de las especies más problemáticas en varios países de Sudamérica (Ángel-Vallejo et al., 2024). Entre los principales impactos destacan el desplazamiento de especies nativas, la modificación de la heterogeneidad del hábitat y dificultades para controlarla debido a su rápido crecimiento y habilidad para colonizar los bosques y sotobosques (Iseli et al., 2023). Estas circunstancias evidencian la necesidad urgente de desarrollar

estrategias de gestión basadas en evidencia científica.

En el contexto ecuatoriano, la expansión de *Thunbergia alata Sims* fue inicialmente limitada por su estatus de especie no nativa; sin embargo, los efectos del cambio climático están fomentando su dispersión hacia mayores altitudes y superando barreras climáticas que antes restringían su establecimiento (González-Trujillo, et al., 2024). La región interandina, caracterizada por sus complejos gradientes altitudinales y un elevado número de especies biológicas, se vuelve especialmente susceptible a la introducción y diseminación de la especie, ya sea accidental o intencionada (Fuentes-Lillo et al., 2023). Esto genera desafíos ambientales como la disminución de la biodiversidad, el cambio en los ciclos geo bioquímicos y la interrupción de la cadena trófica, lo cual origina dificultades ecosistémicas, sociales y riesgos económicos (González & Angamarca, 2025). Su perfil fitoquímico, su actividad antifúngica in vitro, su toxicidad y su microbiota asociada hacen de ella un enemigo potencial para la vegetación nativa;

sin embargo, se han analizado posibles métodos de control y aprovechamiento (Romero et al., 2023).

Además, en investigaciones recientes se ha examinado su distribución presente y futura a través del modelado de nicho ecológico en modelos MaxEnt para la región interandina del Ecuador, con predicciones sobre el cambio en aptitudes climáticas (Ángel-Vallejo et al., 2024). Esta especie conocida como "Susanita" ha sido catalogada como un peligro para la biodiversidad nativa en Ecuador, Esto se debe a que tiene el potencial de invadir áreas forestales, bordes, orillas de caminos y lugares perturbados donde puede cubrir a otras plantas hasta disminuir su crecimiento, someterlas a la sombra o competir con ellas por luz y espacio (Quijano-Abril et al., 2021).

Asimismo, en el país hay escasa investigación sobre las especies invasoras y su distribución, como *Thunbergia alata Sims*, debido a la escasez de datos; por lo tanto, resulta complicado implementar acciones preventivas y administrar la conservación en áreas propensas a

ser invadidas por esta especie extranjera (Gabel et al., 2021). La existencia y crecimiento de esta especie han mostrado ser un verdadero desafío para los ecosistemas nativos, pues tienen la capacidad de sustituir a las plantas locales, lo que provoca una alteración en su estructura y en los lugares donde se asienta, causando así un efecto perjudicial directo sobre la biodiversidad del lugar (Carvajal et al., 2020).

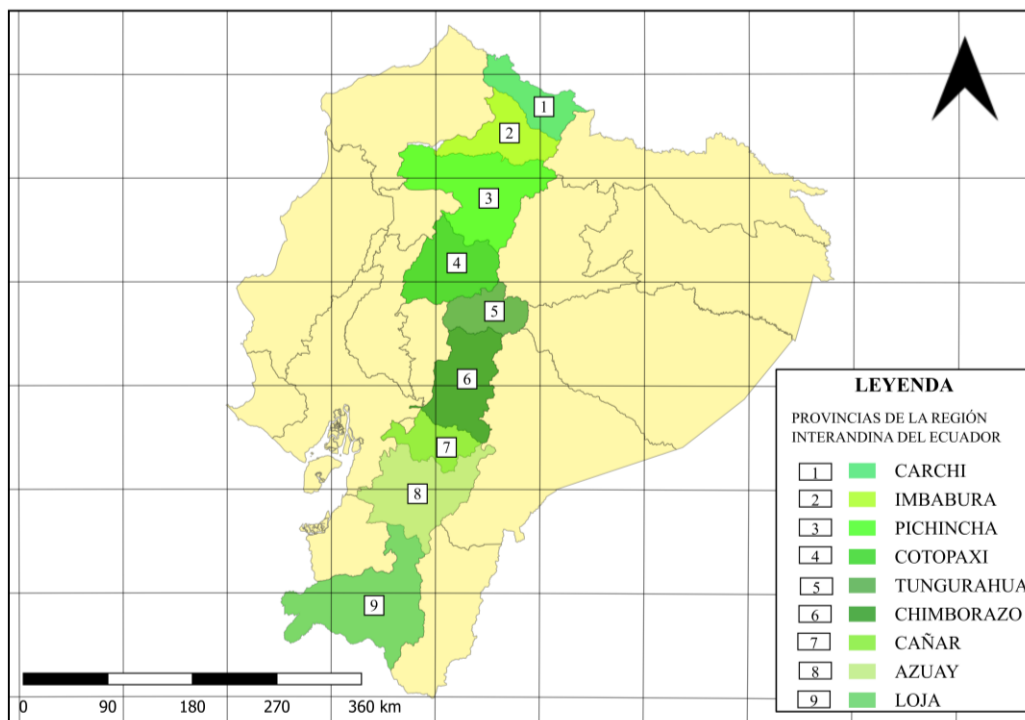
La presente investigación atiende la necesidad de generar información geoespacial sobre la dinámica invasora de *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador, área donde las interacciones entre cambio climático y perturbaciones antrópicas incrementan su riesgo de expansión. Esta evidencia es fundamental para orientar acciones de monitoreo, restauración ecológica y gestión territorial en ecosistemas andinos. En este marco, el estudio tiene como objetivo analizar la expansión espaciotemporal potencial de *T. alata Sims* hacia el año 2050 bajo escenarios de cambio climático, identificando su posible invasión sobre hábitats de especies vegetales nativas.

2. Metodología

2.1 Área de estudio.

El estudio se desarrolló en la región interandina del Ecuador, zona caracterizada por una marcada heterogeneidad altitudinal y climática. Esta región comprende las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja, todas ellas con registros históricos o actuales de presencia de *Thunbergia alata Sims*. La delimitación espacial del área de estudio se efectuó mediante técnicas de SIG, generándose un mapa base que permitió delimitar la zona de estudio.

Figura 1. Mapa de las provincias de la región interandina del Ecuador



Nota. Delimitación del área de estudio para el desarrollo del proyecto.

De acuerdo con Noboa Basantes (2021), la región alberga una gran biodiversidad, con una variedad de ecosistemas que van desde los páramos hasta los bosques montanos. 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 (Carrillo et al., 2020). En términos generales, la región exhibe dos épocas principalmente: la época seca, que generalmente se extiende de junio a septiembre, caracterizada 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., 2023).

2.2 Métodos y herramientas de investigación

El estudio adoptó un enfoque metodológico mixto, combinando herramientas de análisis cuantitativo, espacial y predictivo para comprender la distribución actual y futura de *T. alata Sims*. Se

integraron tres componentes principales:

Mediante un enfoque cuantitativo, se logró la recolección, procesamiento, análisis de datos numéricos y medibles para describir y modelar la distribución potencial de *Thunbergia alata* Sims en la región interandina del Ecuador, específicamente se recolectó información de los lugares donde la especie estaba presente; se realizó un procedimiento sistemático de validación y depuración. Más allá de las variables bioclimáticas, representan sobre todo elementos meteorológicos y climáticos que posibilitan el análisis del modelo en la conexión entre la especie y las condiciones climáticas actuales, lo cual permite reconocer patrones y preferencias climáticas de la *Thunbergia alata* Sims, coadyuvando a predecir su distribución en lugares donde todavía no se ha documentado.

Además, se integró un enfoque ecológico-predictivo, mediante el uso del modelo MaxEnt para proyectar la expansión de la especie, utilizando datos de presencia obtenidos de plataformas como iNaturalist y GBIF, variables bioclimáticas de WorldClim, y

herramientas de análisis espacial como ArcGIS Pro y RStudio. Este enfoque permitirá proyectar la distribución potencial de *Thunbergia alata* Sims en la región interandina del Ecuador bajo distintos escenarios de cambio climático (Soley-Guardia et al., 2024).

Para el proceso de selección de variables ambientales, recomienda que, para las variables bioclimáticas de la base de datos WorldClim v2.1, se descarguen 19. Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson con una interfaz personalizada en el software RStudio misma que se utilizó como una herramienta de análisis para examinar la distribución presente, anticipar potenciales modificaciones futuras de la especie y analizó los nexos estadísticos entre las variables bioclimáticas y datos de asistencia registrados en la base de datos para seleccionar aquellas variables no correlacionadas entre sí y seleccionar entre 8 y 10 variables clave que influirán en la presencia de la especie, como temperatura media anual, temperatura del cuatrimestre más cálido y oscilación térmica anual (Lembrechts et al., 2022).

2.3 Modelos de distribución de la especie

Se recopilaron registros de presencia de *Thunbergia alata Sims* de la región interandina en bases abiertas como iNaturalist y Global Biodiversity Information Facility-GBIF (Liao et al., 2025), identificándose un total de 1 407 registros de la especie inicialmente distribuidos en la región interandina. Así también se empleó ArcGIS, que permitió la creación de mapas y el análisis de la distribución presente y futura de la especie bajo estudio. Además, se elaboraron proyecciones bajo escenarios de cambio climático para los años 2050 y 2080 utilizando modelos climáticos MIROC5 y HADGEM2-ES en los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 (Fernández, 2021).

2.4 Registros de presencia

Posteriormente, los registros recolectados fueron sometidos a un proceso de depuración y control de calidad. Se eliminaron puntos duplicados, coordenadas sin precisión geográfica adecuada y datos con errores de geoposicionamiento, como

ubicaciones fuera de rango o en coordenadas administrativas centrales. De igual forma, se destacaron registros con incertidumbre espacial superior a 1 km, con el propósito de garantizar coherencia con la resolución de las capas ambientales utilizadas en el modelado. Para minimizar el sesgo asociado a la concentración de observaciones en áreas urbanas o de fácil acceso. Este proceso permitió construir un conjunto de datos de presencia depurado, representativo y ecológicamente adecuado para *T. alata Sims* en la región interandina del Ecuador. Dichos registros constituyen la base de entrenamiento del modelo predictivo empleado, garantizando que las estimaciones de distribución actual y futura reflejen con mayor precisión los patrones reales de la especie en el entorno.

2.4.1 Evaluación del modelo y cálculos del área bajo la curva (AUC)

Para la evaluación del desempeño del modelo MaxEnt, se emplearon curvas de respuesta y pruebas Jackknife con salida logística en un rango de 0 a 1, con el fin de

determinar la contribución individual de cada variable ambiental y la influencia sobre la idoneidad del hábitat de la especie *Thunbergia alata* Sims. Se consideró aceptable un valor de AUC superior a 0.75; este valor muestra la capacidad predictiva del modelo (Valavi et al., 2023).

Asimismo, se estableció un umbral de convergencia de 500 interacciones, eliminando registros duplicados para evitar sesgos en la calibración (Soley-Guardia et al., 2024). Con el propósito de reducir un sobreajuste, se aplicó el método de ejecución Bootstrap, el cual permite estimar el sesgo y la varianza mediante 10 réplicas del modelo utilizando el 75% de los datos para entrenamiento y el 25% para una validación aleatoria. Dicha configuración garantizó la estabilidad de los modelos y una evaluación robusta de la precisión predictiva a través del AUC (Ahmadi et al., 2023).

2.5 Variables climáticas

Para garantizar la calidad y pertinencia de las variables bioclimáticas utilizadas en el modelado de la distribución de la T.

alata Sims, se aplicó un análisis estadístico de correlación de Pearson. Este procedimiento permitió evitar el uso simultáneo de variables altamente dependientes entre sí y fue fundamental para eliminar la redundancia y mejorar la interpretación ecológica.

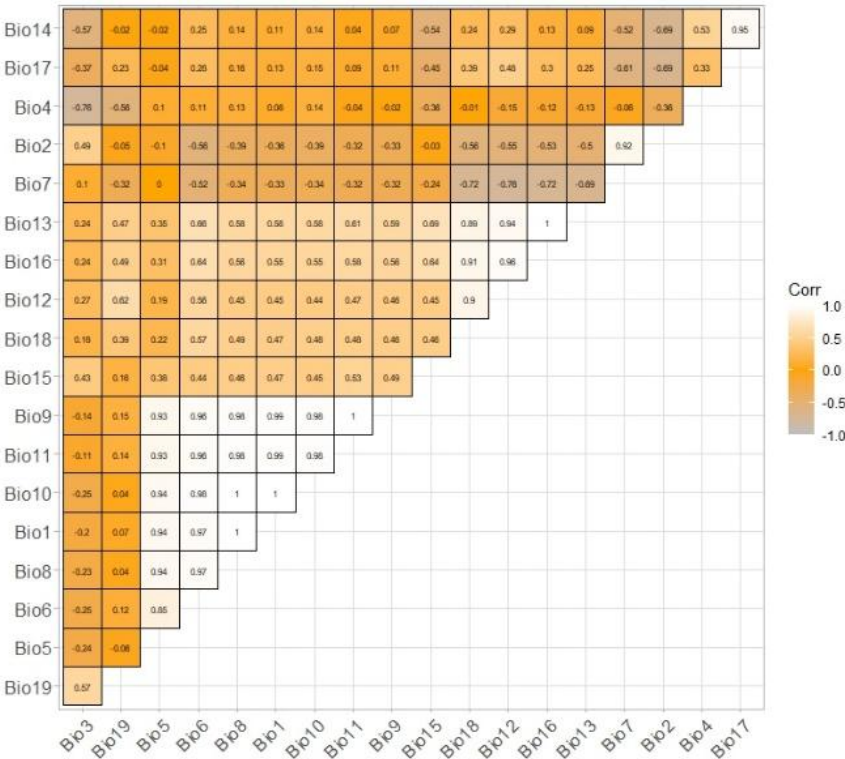
El análisis se realizó empleando las 19 variables bioclimáticas proporcionadas en WorldClim v2.1, transformadas a una resolución espacial de aproximadamente 1 km. Mediante la generación de una matriz de correlación, se evaluó el coeficiente r de Pearson para cada par de variables. Aquellas que presentaron valores de correlación superiores a ± 0.70 fueron consideradas altamente asociadas, lo que justifica su exclusión o selección con criterio ecológico en los gradientes altitudinales y climáticos característicos de la región interandina, siguiendo el procedimiento reportado en el documento base de modelado de distribución para la T. *alata* Sims en Ecuador.

Este análisis permitió seleccionar las variables que aportan información única al modelo MaxEnt, disminuyendo el riesgo de sesgo

estadístico y mejorando la capacidad predictiva del modelo. Asimismo, al evitar el uso de variables correlacionadas en exceso, se refleja con mayor precisión la influencia real

del clima sobre la distribución potencial de *T. alata Sims* en la región interandina bajo los escenarios de cambio climático.

Figura 2. Gráfica de Pearson



Las variables altamente correlacionadas fueron eliminadas tras el análisis de Pearson y factores de inflación de varianza (VIF).

Finalmente, se seleccionaron nueve variables con mayor relevancia ecológica (BIO1, BIO2, BIO5, BIO6, BIO7, BIO10, BIO12, BIO13 y BIO15); ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables bioclimáticas aplicadas al proyecto.

Variables Bioclimáticas Seleccionadas		
Abreviaturas	Variables bioclimáticas	Unidades
Bio1	Temperatura media anual	°C
Bio2	Oscilación diurna de la temperatura	°C
Bio5	Temperatura máxima media del período más cálido	°C
Bio6	Temperatura máxima media del período más frío	°C
Bio7	Oscilación anual de la temperatura	°C
Bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C

Bio9	Temperatura media del cuatrimestre más seco	°C
Bio10	Temperatura media del cuatrimestre más cálido	°C
Bio11	Temperatura media de cuatrimestre más frío	°C

Nota. Se muestra las variables bioclimáticas (en grados centígrados) de mayor relevancia en el estudio, 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/>).

3. Resultados y discusión

3.1 Registros de presencia de la *Thunbergia alata* Sims

La distribución de *T. alata* presenta una variación notable entre las provincias del Ecuador. En Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo y Cañar no se registró presencia significativa de la especie. La ausencia puede ser atribuida a la combinación de varios factores como 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 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 *Thunbergia alata* Sims. Esto puede deberse a las condiciones climáticas y ambientales más propicias para su desarrollo, junto con una posible introducción y propagación inadvertidas de la especie en estas provincias (González & Angamarca,

2025). 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 (Quijano-Abril et al., 2021).

3.2 Modelamiento de distribución de la especie

3.2.1 Evaluación estadística del modelo.- El promedio del Área bajo la Curva calculado a partir de 10 réplicas presentadas en la Tabla 2 fue de 0.9020 lo cual indica datos utilizados tienen una alta capacidad predictiva del modelo aplicado, con una certeza superior al 90%, lo que resalta la fiabilidad de los modelos empleados para predecir la distribución de *Thunbergia alata* Sims la región interandina del Ecuador.

Tabla 2. Validación estadística del AUC

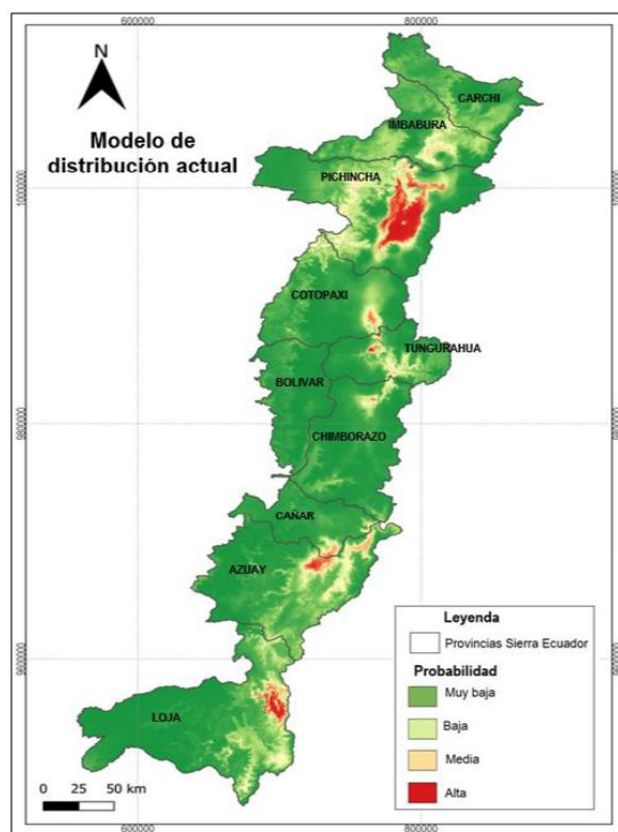
Réplica	Presencia	Modelamiento	AUC
1	260	MaxEnt	0.9060
2	260	MaxEnt	0.8969
3	260	MaxEnt	0.8969
4	260	MaxEnt	0.9136
5	260	MaxEnt	0.8924
6	260	MaxEnt	0.9053
7	260	MaxEnt	0.8983
8	260	MaxEnt	0.9019
9	260	MaxEnt	0.9035
10	260	MaxEnt	0.9063
Promedio			0.9020

3.3 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; ver Figura 3.

Figura 3. Área de estudio y modelo de distribución actual

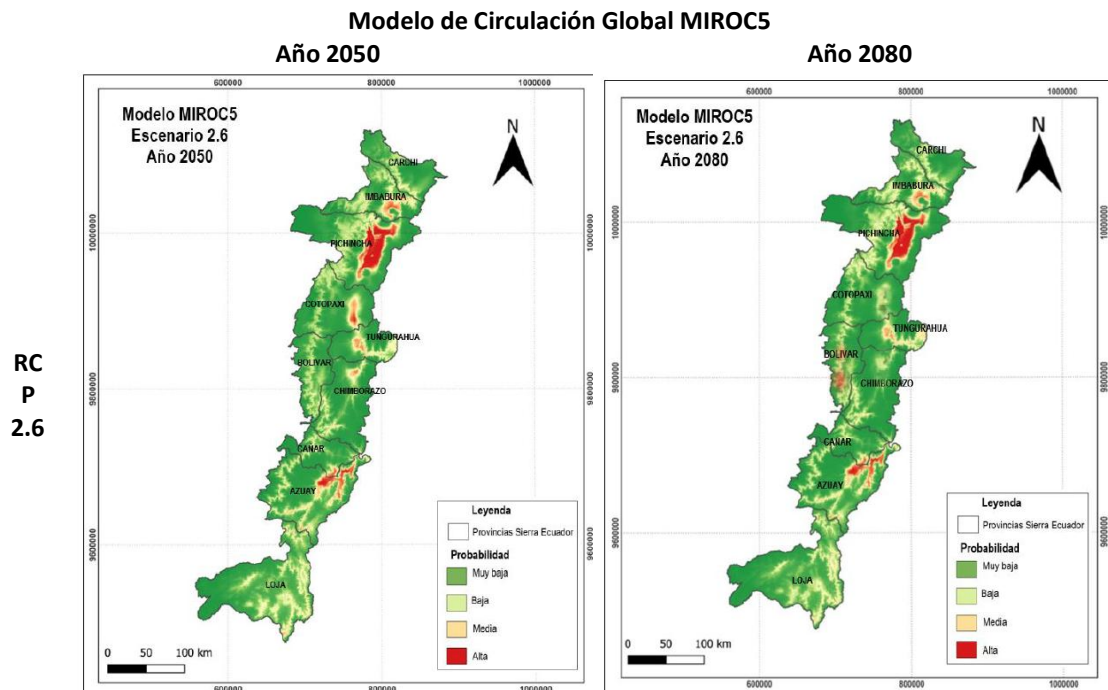


3.4 Variables Climáticas

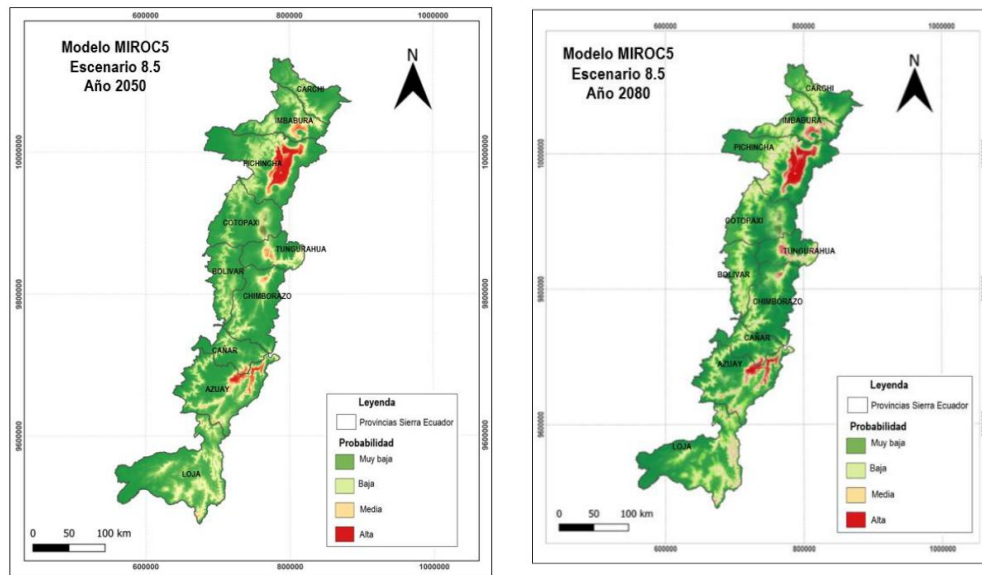
El uso de estas variables es fundamental para comprender el desarrollo de *Thunbergia alata* Sims, ya que permite identificar sus características fisiológicas y fenotípicas que influyen en su establecimiento y expansión. En términos ecológicos, estas variables ofrecen indicios sobre la capacidad de adaptación de la especie a diferentes condiciones ambientales (Fernández, 2021). Entre ellas, la temperatura desempeña un papel

determinante en las relaciones observadas, dada su influencia directa en los procesos metabólicos y en la tolerancia térmica de la especie (Lembrechts et al., 2022); En particular, la variable relacionada con la oscilación diurna de la temperatura resulta especialmente relevante, ya que *T. alata* Sims requiere rangos térmicos suficientemente amplios para sostener su crecimiento y establecerse de manera efectiva en ambientes montañosos.

Figura 4. Modelos de distribución futura 2050 & 2080 bajo el modelo MIROC5



RC
P
8.5



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 (Ver figura 3). Estos mapas destacan claramente que las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay presentan una probabilidad alta de desarrollo de la *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 probabilidad alta de desarrollo, pero solamente bajo el RCP 2.6. Esto se puede deber a la condición climática a la que esté 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.

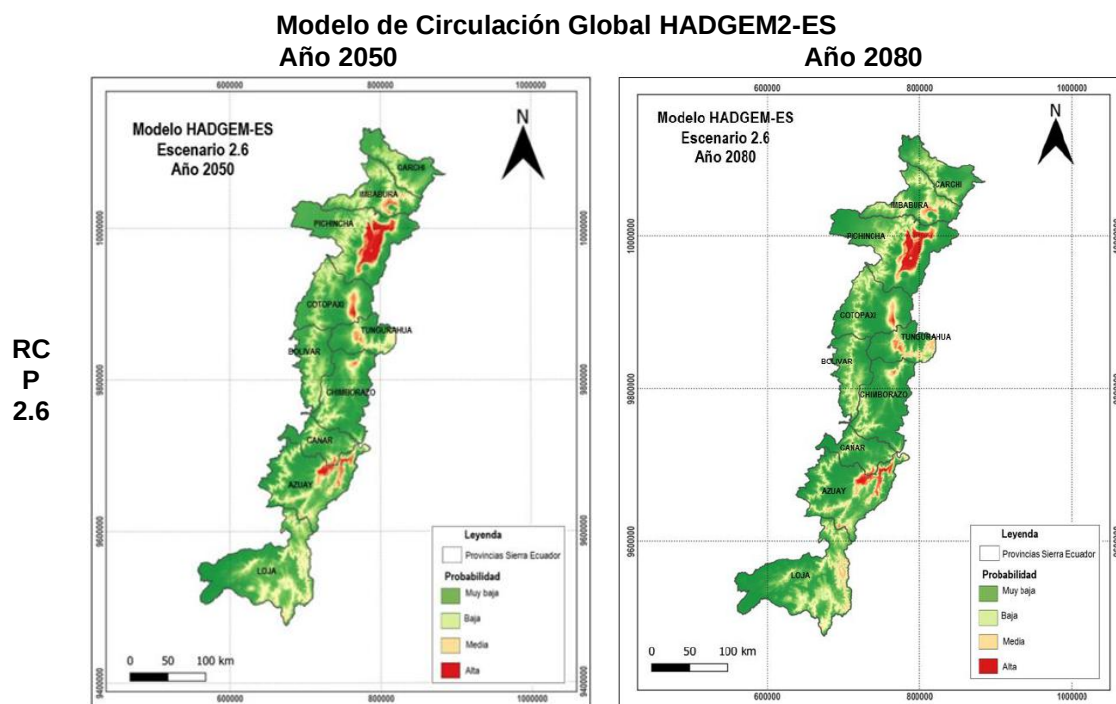
Contrastando esta disminución en la probabilidad baja, se destaca una diferencia significativa en la probabilidad alta de la distribución futura. Para los años 2050 y 2080 bajo ambos escenarios climáticos, se aprecia un notable incremento en la probabilidad de que se encuentren las áreas con condiciones 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.

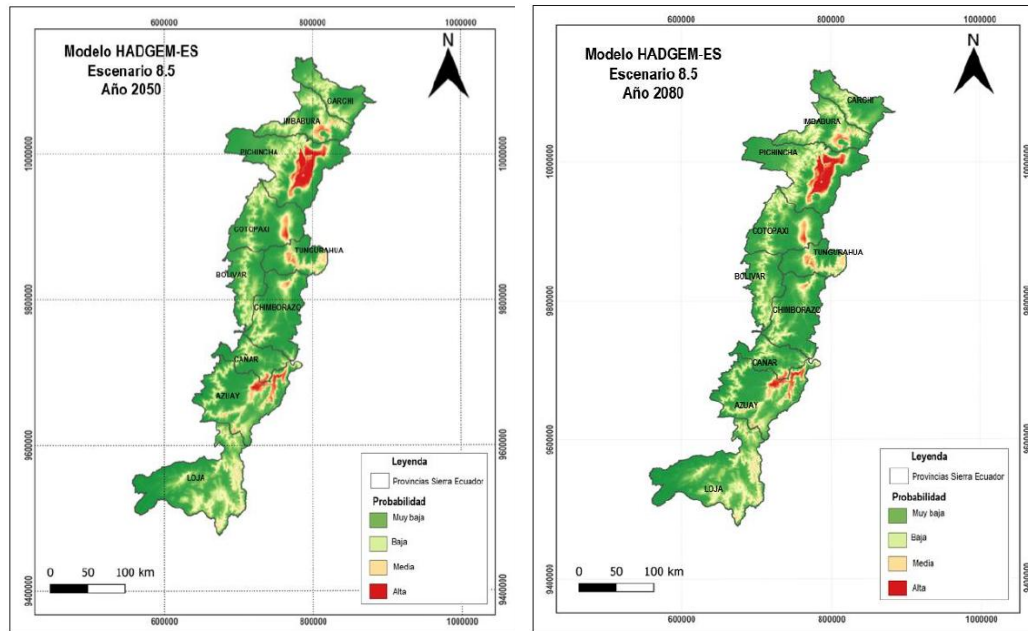
De acuerdo con el estudio llevado a cabo en México, centrado en la distribución de la especie de Agave, bajo el enfoque del escenario MIROC5 realizado por (Mendieta Oviedo & Méndez González, 2022), se reconoce que este modelo desempeña un papel fundamental en la comprensión de los posibles escenarios 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 mejorar constantemente los aspectos fundamentales que influyen en la precisión y la confiabilidad de las proyecciones.

Figura 5. Modelos de distribución futura 2050 & 2080 bajo el modelo HADGEM2-ES



RC
P
8.5



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 (Ver figura 4). 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 de distribución es muy baja 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 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 (Fernández, 2021). Otro punto importante para resaltar es que el cambio climático y la invasión de especies pueden 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.

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

Los modelos de distribución futura permitieron identificar las provincias que podrían verse más afectadas por la expansión de *Thunbergia alata* Sims, utilizando los modelos climáticos globales MIROC5 y HADGEM-ES para los años 2050 y 2080, en los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5, respectivamente, como se detalla en la tabla 3. Para el año 2050, bajo el escenario RCP2.6 del

Modelo de Circulación Global MIROC5, se observa un área total de 6.592,08 km², lo que indica un alto potencial de desarrollo de la especie *Thunbergia alata* Sims en la región interandina del Ecuador. Por otro lado, la probabilidad media de desarrollo se presenta en el escenario RCP 8.5 del mismo modelo para el año 2080, con un área de 8.605,66 km², lo que indica un incremento significativo del potencial invasivo de *Thunbergia alata* Sims en la región interandina de Ecuador. Por otro lado, la probabilidad media de desarrollo se presenta en el escenario RCP 8.5 del mismo modelo para el año 2080, con un área de 8.605,66 km². En cuanto al modelo HADGEM-ES, que muestra posibilidades medias de adaptación para el año 2050 bajo el escenario RCP 8.5, se estima un área de 8.539,74 km², lo que sugiere un crecimiento continuo en las posibilidades de adaptación de esta especie.

Tabla 3. 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		RCP	Lg	MIROC5				HADGEM2-ES			
	Km²	%			2050		2080		2050		2080	
	36 036.30	63.47	2.6		Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
					31 372.31	52.35	30 733.03	51.35	31 839.03	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
			8.5		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			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

El presente estudio demostró que el modelo MaxEnt tuvo un buen rendimiento al predecir la distribución actual y futura de *T. alata Sims* en la región interandina del Ecuador. Los valores de AUC fueron superiores a 0,90 y mostraron que el modelo tuvo una alta capacidad de predicción. El grado de precisión en este estudio es similar a los informes recientes de la predicción de la distribución de las especies invasoras utilizando el algoritmo de MaxEnt en la región tropical montañosa. Los valores de AUC oscilaron entre 0.85 y 0.95 en dos estudios (Liao et al., 2025) y (Mengistu et al., 2023), lo que

muestra la robustez del algoritmo cuando se aplican datos de presencia verificables y cualquier variable climática biológicamente significativa.

La influencia principal de las variables térmicas BIO5, BIO7 y BIO10 indica que la tolerancia fisiológica de *T. alata Sims* está fuertemente ligada a condiciones de temperaturas cálidas y estables, lo que se alinea con su comportamiento como una trepadora heliófila de rápido crecimiento.

En los escenarios futuros, entre las provincias de mayor probabilidad de presencia de *T. alata Sims* se

recalcan Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay; son áreas que comparten condiciones climáticas templadas y variabilidad altitudinal, lo que facilita la adaptación y la conectividad ecológica de esta especie. Aunque la magnitud de expansión varía entre los modelos climáticos evaluados, la tendencia general indica una ampliación de rango altitudinal conveniente, coincidiendo con investigaciones recientes que asocian el cambio climático con el incremento de especies invasoras en ecosistemas montanos (Liao et al., 2025). Esta expansión se relaciona directamente con el incremento de temperaturas medias y la reducción de la estacionalidad térmica, factores que favorecen la colonización de zonas previamente hostiles para especies exóticas. Por otra parte, provincias como Carchi y Cañar mantienen valores bajos de idoneidad, lo que sugiere que estas provincias podrían constituir barreras climáticas naturales antes del avance de la especie. No obstante, ninguna provincia se encuentra totalmente exenta de riesgo, debido a la coexistencia de microclimas cálidos, templados y fríos a lo largo de la cordillera

interandina, lo que amplifica el potencial invasivo bajo las variaciones en el cambio climático.

En conjunto, los resultados de este estudio permiten anticipar escenarios de riesgo ecológico en ecosistemas andinos donde existe alta riqueza de especies nativas y endemismo. La información generada permite priorizar acciones de monitoreo temprano, control mecánico o físico, y restauración ecológica en zonas con alta idoneidad actual y futura. Además, esta base científica puede orientar políticas de prevención frente a las dispersión no controlada de especies invasoras, así como promover estrategias agrícolas y de uso de territorio que mitiguen la pérdida de biodiversidad y contribuyan a la reducción de gases de efecto invernadero, como sugieren (Rodríguez & Baquero, 2020). Por lo tanto, la identificación precisa de áreas vulnerables constituye un insumo estratégico para la planificación territorial, la conservación de ecosistemas andinos y la gestión ambiental preventiva frente a las especies exóticas con alto potencial de invasión.

En hallazgos similares han sido documentados para especies invasoras de porte herbáceo y rastrero en los Andes, donde la idoneidad climática se relaciona con los aumentos de temperatura vinculados al cambio climático, como en el estudio de (González-Trujillo) y (Escobar-Alba et al., 2024). En este contexto, la expansión proyectada en provincias como Pichincha, Imbabura y Azuay sugiere que los gradientes altitudinales moderados crean microambientes donde las temperaturas máximas no alcanzan niveles que limiten el crecimiento de la especie.

4. Conclusiones

La investigación permitió determinar la distribución actual y futura de la especie vegetal *Thunbergia alata Sims* en la región interandina del Ecuador, proporcionando información importante para comprender los factores determinantes de su presencia, evidenciando así su carácter invasor y su capacidad de adaptación bajo escenarios del cambio climático. A partir del modelado ecológico mediante MaxEnt, utilizando 260

registros de presencia validados y las variables bioclimáticas seleccionadas, se demostró que el modelo alcanzó una alta capacidad predictiva ($AUC > 0,90$), lo que confirma su confiabilidad para estimar la idoneidad ambiental de esta especie vegetal. Además, estos resultados presentan 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.

Se evidenció que la distribución de *Thunbergia alata Sims* se encuentra principalmente en las provincias de Pichincha, Loja y Azuay, donde las condiciones de temperatura y humedad favorecen su establecimiento. Sin embargo, las proyecciones realizadas para los años 2050 y 2080, bajo los modelos climáticos MIROC5 y HADGEM2-ES y los escenarios RCP 2.6 y 8.5, evidencian un incremento progresivo de áreas con alta idoneidad climática, en especial en las provincias de Imbabura, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua. Este comportamiento confirma que el

cambio climático actúa como facilitador de la invasión, al permitir que la especie colonice zonas de mayor altitud y ambientes previamente limitantes. Asimismo, se observó que las variables térmicas (BIO5, BIO7 y BIO10) presentan la mayor contribución en la modelación, lo que sugiere que la “Susanita” depende de temperaturas altamente cálidas y estables para mantener un crecimiento acelerado y una capacidad competitiva frente a las especies nativas presentes en la sierra ecuatoriana.

Así pues, este estudio resalta la necesidad de implementar estrategias de gestión y monitoreo temprano en las provincias identificadas como zonas de alto riesgo, así como de fortalecer programas de restauración y control de especies invasoras. Del mismo modo, se recomienda que futuras investigaciones integren variables de uso de suelo, disturbios antrópicos y validaciones de campo, con el fin de optimizar la precisión de los modelos y apoyar la toma de decisiones en políticas ambientales y conservación de la biodiversidad andina.

Agradecimientos.— Quisiera expresar mi más sincero

agradecimiento a todas las personas que contribuyeron directa o indirectamente a la realización de este trabajo, en especial al Ing. Marco Antonio Rivera Moreno. M.Sc, Ing. Paulina Navas Martínez y a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Bibliografía

- Ahmadi, M., Hemami, M.-R., Kaboli, M., & Shabani, F. (2023). MaxEnt brings comparable results when the input data are being completed; Model parameterization of four species distribution models. *Ecology and Evolution*, 13(2), e9827. <https://doi.org/10.1002/ece3.9827>
- Ángel-Vallejo, M. C., Aguirre-Acosta, N., Rodríguez-Rey, G. T., García-Marín, E. J., Álvarez-Mejía, L. M., & Feuillet-Hurtado, C. (2024). Distribution models in invasive plants with climatic niche expansion: A case study of *Ulex europaeus* L. in Colombian Andes. *Biological Invasions*, 26(6), 1919-1930. <https://doi.org/10.1007/s10530-024-03285-7>
- Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). Global climate-related predictors at kilometer resolution for the past and future. *Earth System Science*

- Data*, 14(12), 5573-5603.
<https://doi.org/10.5194/essd-14-5573-2022>
- Cabrera-Cruz, S. A., Aguilar-López, J. L., & Villegas-Patraca, R. (2024). Complementando inventarios biológicos con datos abiertos a través de un método semiautomatizado. *Revista de Biología Tropical*, 72(1), e56880.
<https://doi.org/10.15517/rev.biolog.trop.v72i1.56880>
- Carrillo, J., Lora, B. J., Castrellón Romero, M. G., & Medina Orellano, G. E. (2020). (PDF) *Revista Hidrolatinoamericana de Jóvenes Investigadores y Profesionales—Volumen 4 - 2020*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/343976637_Revista_Hidrolatinoamericana_de_Jovenes_Investigadores_y_Profesionales_-_Volumen_4_-_2020
- 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>
- Fernández, G. (2021). (PDF) *Determinación de áreas prioritarias para la adaptación al cambio climático mediante clasificaciones climáticas*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/369362195_Determinacion_de_areas_prioritarias_para_la_adaptacion_al_cambio_climatico_mediante_clasificaciones_climaticas
- Fuentes-Lillo, E., Lembrechts, J. J., Barros, A., Aschero, V., Bustamante, R. O., Cavieres, L. A., Clavel, J., Herrera, I., Jiménez, A., Tecco, P., Hulme, P. E., Núñez, M. A., Rozzi, R., García, R. A., Simberloff, D., Nijs, I., & Pauchard, A. (2023). Going up the Andes: Patterns and drivers of non-native plant invasions across latitudinal and elevational gradients. *Biodiversity and Conservation*, 32(13), 4199-4219.
<https://doi.org/10.1007/s10531-023-02697-6>
- Gabel, N. H., Wise, R. R., & Rogers, G. K. (2021). Distribution of cystoliths in the leaves of Acanthaceae and its effect on leaf surface anatomy. *Blumea - Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*.
<https://doi.org/10.3767/blumea.2021.65.03.07>
- González, L., & Angamarca, E. (2025, julio 4). (PDF) *Thunbergia alata Bojer ex Sims, potencial amenaza para la biodiversidad en la hoya de Loja*. ResearchGate.

- <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20616.53760>
- González-Trujillo, J. D., Alagador, D., González-del-Pliego, P., & Araújo, M. B. (2024). Exposure of protected areas in Central America to extreme weather events. *Conservation Biology*, 38(4), e14251. <https://doi.org/10.1111/cobi.14251>
- González-Trujillo, J. D., Escobar-Alba, M. R., Lara, D. E., & Carvajal-C, J. E. (2024). Mapping the threat: Projecting invasive plant distribution in the tropical Andes under climate change. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 22(4), 348-357. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.11.002>
- Gutiérrez, E., Trejo, I., Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2023). Aplicación de diferentes tipos de datos en el modelado de la distribución de especies arbóreas en México. *Colombia Forestal*, 26(1), 48-63. <https://doi.org/10.14483/2256201x.19392>
- Herrera, I., Vargas, A., Rizzo, K., Panchana, K., Freire, E., & Espinoza, B. (2022). PLANTAS EXÓTICAS INVASORAS DEL ECUADOR CONTINENTAL (Primera, septiembre 2022, Vol. 1). Primera, septiembre 2022.
- Iseli, E., Chisholm, C., Lenoir, J., Haider, S., Seipel, T., Barros, A., Hargreaves, A. L., Kardol, P., Lembrechts, J. J., McDougall, K., Rashid, I., Rumpf, S. B., Arévalo, J. R., Cavieres, L., Daehler, C., Dar, P. A., Endress, B., Jakobs, G., Jiménez, A., ... Alexander, J. M. (2023). Rapid upwards spread of non-native plants in mountains across continents. *Nature Ecology & Evolution*, 7(3), 405-413. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01979-6>
- Larrea, D., Mina, L., Areco, F., & Valle, N. (2025, agosto 27). (PDF) Estadística Para Estudios Ecológicos: Un Enfoque Práctico Utilizando R. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/394937795_Estadistica_Para_Estudios_Ecologicos_Un_Enfoque_Practico_Utilizando_R
- Lembrechts, J. J., van den Hoogen, J., Aalto, J., Ashcroft, M. B., De Frenne, P., Kemppinen, J., Kopecký, M., Luoto, M., Maclean, I. M. D., Crowther, T. W., Bailey, J. J., Haesen, S., Klimes, D. H., Niittynen, P., Scheffers, B. R., Van Meerbeek, K., Aartsma, P., Abdalaze, O., Abedi, M., ... Lenoir, J. (2022). Global maps of soil temperature. *Global Change Biology*, 28(9), 3110-3144.

- <https://doi.org/10.1111/gcb.16060>
- Liao, D., Zhou, B., Xiao, H., Zhang, Y., Zhang, S., Su, Q., & Yan, X. (2025). MaxEnt Modeling of the Impacts of Human Activities and Climate Change on the Potential Distribution of *Plantago* in China. *Biology*, 14(5), 564.
<https://doi.org/10.3390/biology14050564>
- Mendieta Oviedo, R., & Méndez González, J. (2022). Nicho ecológico y distribución de tres especies de agave en México: Un enfoque bajo escenarios de cambio climático.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/49299>
- Mengistu, A. G., Tesfahuney, W. A., Woyessa, Y. E., & Steyn, A. S. (2023). Potential distribution of selected invasive alien plants under current and future climate change scenarios in South Africa. *Heliyon*, 9(9), e19867.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19867>
- Noboa Basantes, M. A. (2021). Características de la recampesinización agroecológica en Los Andes Ecuatorianos: Casos de la Sierra Norte. *Estudios Rurales*, 11(22), 8.
- Quijano-Abril, M. A., Castaño-López, M. de los Á., Marín-Henao, D., Sánchez-Gómez, D., Rojas-Villa, J. M., & Sierra-Escobar, J. (2021). Functional traits of invasive species *Thunbergia alata* (Acanthaceae) and its importance in the adaptation to Andean forests. *Acta Botanica Mexicana*, 128, 1-23.
- Ramírez Uribe, L. (2020). Biología reproductiva sexual de la planta invasora ojo de poeta (*Thunbergia alata*) en una población de bosque andino en el Valle del Cauca.
<http://hdl.handle.net/11522/1879>
- Rodríguez, J., & Baquero, L. (2020). Agricultura de precisión en el mundo y en Colombia: Revisión bibliográfica.
- Romero, M. Á. V., Chitiva, L. C., Bravo-Chaucanés, C. P., Hernández, A. X., Parra-Giraldo, C. M., & Costa, G. (2023). Black-eyed Susan vine (*Thunbergia alata*): Evaluation of chemical and antifungal potential for an invasive plant species in Colombia. *Universitas Scientiarum*, 28(2), Article 2.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC282.besv>
- Soley-Guardia, M., Alvarado-Serrano, D. F., & Anderson, R. P. (2024). Top ten hazards to avoid when modeling

- species distributions: A didactic guide of assumptions, problems, and recommendations. *Ecography*, 2024(4), e06852. <https://doi.org/10.1111/ecog.06852>
- Tesfamariam, B. G., Gessesse, B., & Melgani, F. (2022). MaxEnt-based modeling of suitable habitat for rehabilitation of *Podocarpus* forest at landscape-scale. *Environmental Systems Research*, 11(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s40068-022-00248-6>
- Valavi, R., Elith, J., Lahoz-Monfort, J., & Guillera-Aroita, G. (2023). Flexible species distribution modelling methods perform well on spatially separated testing data—Valavi—2023—Global Ecology and Biogeography—Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.13639>
- Valderrama Molina, M. A. (2024). Evaluación toxicológica del extracto etanólico de la especie *Thunbergia alata* mediante el bioensayo general de letalidad en *Artemia salina*. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/12132>
- Vistín, D. A., Salas, E. M., Balseca, J. E., & Lara, N. X. (2023). 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>
- Wang, H., Ma, X., Hu, Q., & Yang, M. (2025). (PDF) The Ecological Risks and Invasive Potential of Introduced Ornamental Plants in China. ResearchGate. <https://doi.org/10.3390/plants14091361>