

Plantas invasoras en cultivos de maíz (*Zea mays* L.) bajo escenarios de cambio climático en la provincia Los Ríos, Ecuador

Invasive plants in maize (*Zea mays* L.) cultivars under climate change scenarios in Los Ríos province, Ecuador

María Belén Sánchez Mera^{1,2}, Juan Pablo Urdánigo Zambrano¹, Dayra Katherine Toscano Alvarez^{1,2}

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado.

²Maestría en Desarrollo Local: mención Planificación y Ordenamiento Territorial.

Autor de correspondencia: msanchezm@uteq.edu.ec

Recibido: 6/10/2023. Aceptado: 14/12/2023

Publicado el 20 de diciembre de 2023

Resumen

El propósito de esta investigación es analizar cómo el cambio climático afecta la propagación de especies invasoras en cultivos de maíz en la provincia de Los Ríos, dado que la producción de esta gramínea es crucial para la economía y seguridad alimentaria en la región. Para ello, se generaron modelos de nicho ecológico para especies invasoras, *Torenia crustacea* y *Tridax procumbens* considerando diferentes escenarios climáticos (RCP 4.5 y 8.5) en el período comprendido entre los años 2050-2070. Estos análisis permiten comprender mejor los obstáculos significativos que el cambio climático y las especies invasoras representan para el desarrollo y éxito de la producción de maíz en la región. El procedimiento empleado incluyó la recopilación de datos climáticos y geográficos, donde se utilizaron 288 registros de presencia para *Tridax procumbens* y 157 para *Torenia crustacea* cuya fuente es Biodiversity Information Facility (GBIF); se utilizó el software Maxent para evaluar modelos bajo criterios de Curva ROC y AUC. Se determinó que *Torenia crustacea* y *Tridax procumbens* bajo el escenario RCP 4.5 presentó una estabilidad de 1,435 km² en el futuro cercano 2050 y de 2,256 km² en el futuro lejano 2070 RCP 8.5. Por otro lado, su rango de pérdida varía entre 1,885 km² y 668 km² para el 2070 entre ambos escenarios (RCP 4.5 y 8.5). Lo que demuestra la magnitud del problema de la propagación de especies invasoras *Tridax procumbens* y *Torenia crustacea* en los cultivos de maíz.

Palabras clave: nicho ecológico, factores ambientales, ciclo transitorio, resiliencia, escenarios climáticos, Maxent.

Abstract

The purpose of this research is to analyze how climate change affects the spread of invasive species in maize crops in the province of Los Ríos, given that the production of this grass is crucial for the economy and food security in the region. To this end ecological niche models were generated for invasive species, *Torenia crustacea* and *Tridax procumbens* considering different climate scenarios (RCP 4.5 and 8.5) for the period 2050-2070. These analyses provide a better understanding of the significant obstacles that climate change and invasive species pose to the development and success of maize production in the region. The procedure employed included the collection of climatic and geographic data, using 288 occurrence records for *Tridax procumbens* and 157 for *Torenia crustacea* from the Biodiversity Information Facility (GBIF); Maxent software was used to evaluate models under ROC Curve and AUC criteria. It was determined that *T. crustacea* and *T. procumbens* under the RCP 4.5 scenario presented a stability of 1,435 km² in the near future 2050 and 2,256 km² in the distant future 2070 RCP 8.5. On the other hand, its range of loss varies between 1,885 km² and 668 km² by 2070 between the two scenarios (RCP 4.5 and 8.5). This demonstrates the magnitude of the problem of the spread of invasive species *T. procumbens* and *T. crustacea* in maize crops.

Key words: ecological niche, environmental factors, transient cycle, resilience, climate scenarios, Maxent.

Introducción

El cambio climático promueve la expansión de especies invasoras al modificar los hábitats, ofreciendo ventajas competitivas sobre las especies nativas debido a su capacidad de resiliencia. A su vez, pueden aumentar la propagación de plagas y enfermedades, agravando la amenaza para la biodiversidad. Por lo tanto, generan impactos negativos al medio ambiente, la salud y economía de un país. A nivel mundial durante las últimas cinco décadas, el gasto relacionado al control de especies invasoras ascendió a 1.28 billones de dólares (Paz, 2023). Frente a los escenarios de un evento constante de cambio climático la proyección al año 2050 provee una disminución del 17% en la producción agrícola mundial (Nelson *et al.*, 2014).

Adicional a esto el cambio climático plantea un reto global afectando los principales sectores económicos sin restricciones geográficas. En el contexto del sector primario el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a nivel nacional representa uno de los principales rubros en la agricultura ocupando el segundo lugar en la superficie total para cultivos transitorios, con un total de 376.6 mil hectáreas cultivadas y una producción de aproximadamente 1.6 millones toneladas métricas (INEC, 2022). En Los Ríos, este cultivo abarca el 30.30% de la cobertura en hectáreas (MAG, 2020); destacando su importancia en la región representando en el 2019 un impacto significativo del 0.83% en el PIB nacional (CFN, 2021).

Actualmente en diversas partes del mundo se está llevando a cabo la gestión de zonas vulnerables, investigaciones para comprender los efectos del cambio climático en las especies invasoras, la promoción de una política más rigurosa, junto con campañas de educación para prácticas responsables y sostenibles (Álvarez, 2022; Graham *et al.*, 2019; Oficialdegui *et al.*, 2021). En consonancia con los problemas que anteceden, los Modelos de Nicho Ecológico (MNE) sirven de herramienta para identificar la idoneidad del hábitat y el establecimiento de una especie invasora, predecir estas zonas y caracterizar la distribución espacial (Ferrer-Sánchez *et al.*, 2022). Ayudando a priorizar la gestión y contención de las invasiones, minimizando los efectos perjudiciales que tienen en los ecosistemas locales.

En base al rápido crecimiento demográfico y ampliación de la frontera agrícola de Ecuador, es vital que los sistemas agrícolas se adapten a la incertidumbre climática. Ante la situación planteada, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) cobran relevancia al brindar un marco global para guiar estas adaptaciones necesarias y asegurar un futuro sostenible. La investigación se alinea con los ODS hambre cero (ODS2), acción por el clima (ODS13) y vida de ecosistemas terrestres (ODS15) (Naciones Unidas, 2018).

En este estudio se generó modelos de nicho ecológico para las especies invasoras de maíz duro *Torenia crustacea* y *Tridax procumbens* en la provincia de Los Ríos considerando escenarios climáticos RCP 4.5 y 8.5 tanto para los años 2050

y 2070. Lo que permitirá a los tomadores de decisiones considerar estrategias de adaptación y resiliencia para la producción de maíz, cultivo que forma parte de la seguridad alimentaria de los ecuatorianos.

Materiales y métodos

Ecuador está situado en el noroeste de América del Sur, limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el océano Pacífico. El territorio continental se divide en tres regiones naturales Costa, Sierra y Amazonía (Portilla, 2018). Esta investigación se desarrolló en la provincia de Los Ríos, que posee una población de 778,115 y una superficie de 7,205.27 km² (INEC, 2021). El clima de la zona es tropical húmedo donde la precipitación oscila entre 36.3 y 52.4 (mm/mes), la temperatura generalmente varía de 21°C a 35°C y la humedad relativa es de 83% (INAHMI, 2023) (Figura 1).

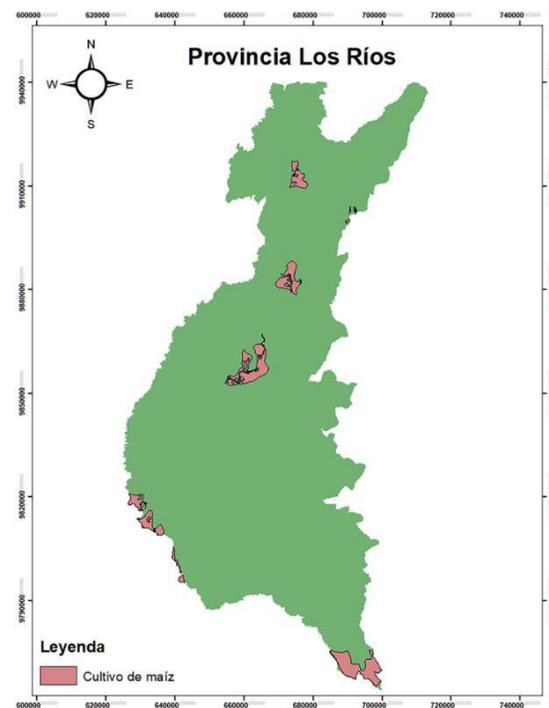


Figura 1: Ubicación del área de estudio

Especies invasoras

Se recurrió a la base mundial Biodiversity Information Facility (GBIF) para obtener registros de presencia en el área nativa de las especies *T. crustacea* y *T. procumbens*. Posteriormente fueron filtrados utilizando la herramienta Niche Toolbox en R (Osorio- Olvera *et al.*, 2020). Durante este proceso, se eliminaron los registros que carecían de coordenadas dentro del espacio geográfico mundial, aquellos que no poseían información referencial, los que se ubicaban erróneamente en el océano y los registros que se encontraban duplicados en un mismo pixel (Martínez-Méndez *et al.*, 2016).

En lo que respecta al total de registros dentro del hábitat nativo de la especie *T. procumbens* se obtuvieron 288 registros de presencia, mientras que para la especie *T. crustacea* se utilizaron 157 puntos de presencia registrados. Finalmente, estos registros filtrados se mapearon a nivel global para visualizar los países que contaban con registros de presencia de las especies.

Variables bioclimáticas

Para generar modelos de distribución geográfica y comparar la equidad del nicho ecológico entre el presente y futuros escenarios climáticos se realizó la correlación entre las variables de los puntos de presencia de las especies invasoras y 19 variables bioclimáticas que comprenden las BIO1-BIO19 actuales y futuras. Las variables bioclimáticas se obtuvieron de la base Worldclim 2.1 con una resolución de 30 segundos (~1 km²) resultantes de la interpolación para datos de precipitación, temperatura máxima, mínima y media (Fick & Hijmans, 2017; Hijmans *et al.*, 2005).

Modelación de Nicho Ecológico (MNE)

En la modelación del nicho ecológico para las especies invasoras *T. crustacea* y *T. procumbens* se utilizó el algoritmo de máxima entropía Maxent 3.4.0 (Phillips *et al.*, 2008). El modelo vincula la presencia de la especie a los datos fundamentales de los factores espaciales ambientales (Santana *et al.*, 2019). Se han mantenido los parámetros por defecto del programa, que son conservadores y permiten que el algoritmo se acerque a la convergencia.

A través de ArcMap 10.7.1 con la herramienta reclass se convirtieron los mapas continuos a binarios con zonas de presencia (1) y ausencia (0), se reclasificó la probabilidad de presencia utilizando como punto de corte el valor del umbral de presencia del décimo percentil para los escenarios futuros (Stranges *et al.*, 2019). Posteriormente se utilizó el umbral de corte *minimum training presence* (presencia mínima de entrenamiento) este nivel de corte asume que el 10% de los datos de presencia pueden ocurrir en regiones donde la especie está ausente debido a errores de posicionamiento o a una falta de resolución en los datos medioambientales (Davies y Guinotte, 2011; Pearson *et al.*, 2007).

Con referencia a la clasificación anterior se llevó a cabo un recorte de la capa de área correspondiente que luego fue transformada al formato Ascii. Este mismo procedimiento también se aplicó a todo el conjunto de variables climáticas. Como resultado Maxent generó archivos en formato HTML que contienen un resumen estadístico. Los modelos de nicho ecológico fueron evaluados con los criterios Curva ROC (Receiver Operating Characteristic) y el AUC (Area Under Curve) (Galdino *et al.*, 2016).

Escenarios de las plantas invasoras

Los escenarios de cambio climático elegidos incluyeron el modelo de circulación general GISS-E2-R (NASA Goddard

Institute for Space Studies, USA) (Ward *et al.*, 2012), el escenario RCP 4.5 representa un nivel moderado de cambio en el clima donde las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzan su punto máximo. El RCP 8.5 representa un panorama más extremo con continuo aumento de emisiones a lo largo del siglo XXI. Estos dos intervalos temporales se centraron en los años 2050 (2041-2060) y 2070 (2061-2080) respectivamente.

Con el propósito de comparar la equivalencia del nicho ecológico entre el presente y posibles escenarios de cambio climático el modelo de nicho ecológico se proyectó para cada especie hacia el futuro considerando los escenarios climáticos RCP 4.5 (conservador) y RCP 8.5 (extremo). A partir de esto, se calculó la extensión de área ocupada (expresada en km²), su potencial expansión o la ausencia de cambios en relación a la distribución geográfica del nicho ecológico actual.

Producción de maíz susceptibles a invasión de las especies.

Para analizar los nichos potenciales de invasión de *T. crustacea* y *T. procumbens* sobre el cultivo del maíz se superpuso la capa de cultivo de maíz de la provincia de Los Ríos con los mapas de distribución potencial de los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5. De este modo, se identificaron las zonas de cultivo que podrían ser vulnerables a la invasión de estas especies.

Resultados y discusión

Las especies *T. procumbens* y *T. crustacea* se encuentran presentes como malezas detectadas en el suelo de fincas maiceras ocupando importantes áreas y con dominancia representativa ante el cultivo, constituyendo uno de los principales obstáculos para un sistema de siembra directa (Paredes y Tejada, 2015). Ante esta situación, resulta oportuno utilizar como herramienta los MNE, ya que el nicho ecológico a partir de una muestra tiene su correspondencia con una proyección espacial, hecho que permite vincular nicho y distribución en términos de potencialidad (Gutiérrez *et al.*, 2017).

La especie *T. procumbens* es nativa de Centro América (Figura 2A) mientras que *T. crustacea* del Sureste de Asia (Figura 2B). Para Amaya *et al.* (2018) indica que *T.*

procumbens está presente por las condiciones climáticas y de suelo que posee la zona de Centro América, pero también esta presentes en diferentes partes del norte y Suramérica y se ha convertido en mala hierba prefiriendo altitudes de hasta 1,000 metros.

En nuestro país *T. procumbens* como especie invasora en los cultivos de maíz representa el 2.7% mientras que *T. crustacea* un 9.4% en comparación con otras malezas. Además, el tipo de suelo franco-arcillosa con pH de 6.0 y drenaje regular, facilita su adaptabilidad a nuestro entorno. *T. crustacea* es una planta originaria de regiones con climas estacionales y prefiere un suelo uniformemente húmedo con

taxonomía de suelo de Inceptisoles, y Ecuador se caracteriza por contar con el 9% de este tipo de suelo. Por otra parte, el cambio climático debido al aumento de las temperaturas provoca un desequilibrio bajando un 0.1% de la presencia en los cultivos (Torres y Ortiz, 2022).

El resultado de los modelos para *T. procumbens* y *T. crustacea* fueron altos, con un AUC de 0.97 y 0.95 respectivamente para los datos de calibración de los modelos y AUC de 0.87 y 0.86 para los datos de validación. En consecuencia, el modelo obtenido difiere de uno aleatorio, lo que indica que tiene una buena capacidad de predicción.

La estacionalidad de precipitación fue la variable que más aportó al modelo de *T. procumbens* acumulando un 78.2%. En el modelo de *T. crustacea* la temperatura media del trimestre más frío contribuyó con 55.8 %. Pulido (2016) en su estudio menciona que las variables más importantes son: el nivel de suelo, nivel de pH, seguido de la temperatura en promedio 25°C y la precipitación.

La presencia de estas especies en Ecuador es de fácil adaptación porque tiene similitudes de características biofísicas de donde son originarias. Jiménez *et al.* (2012) concuerdan con lo establecido en esta investigación que se necesitan esos cuatro factores (nivel del suelo, pH, temperatura y precipitación) para el desarrollo de *T. procumbens* y *T. crustacea*, además, mencionan que, en promedio, estas especies redujeron el rendimiento dentro de los cultivos en un 28%, debido al efecto negativo del aumento del calentamiento global, la pérdida de biomasa en los suelos y el exceso de lluvia.

La distribución geográfica bajo el escenario conservador RCP 4.5 de la especie *T. procumbens* para el futuro cercano año 2050 fue de 1,014 km² y con un área de no ocupación representativa de 1,909 km² (Figura 3A). Para el año 2070 la especie se expandió a 1,885 km² y se mantuvo sin presencia

en 1038 km² (Figura 3B), ilustrándose cambios drásticos en su comportamiento pasando de la región Costa al Oriente y parte de la Sierra. Estos patrones son de índole climáticos, ocasionados por la variación de temperatura y emisiones de gases de efecto invernadero causando un desequilibrio para las plantaciones y especies invasoras (Aguilar, 2011); el aumento de temperatura favorece la presencia de plagas llegando a tener pérdida hasta del 31% para el cultivo de maíz (Deutsch *et al.*, 2018).

Mientras que la proyección para *T. crustacea* presenta condiciones favorables en 678 km² y con un área sin presencia de 2,246 km² (Figura 3C) en el año 2050; para el 2070 demostró una propagación de 668 km² sin variar para ambos escenarios (RCP 4.5 y 8.5) con 2,256 km² sin ocupación de la especie (Figura 3D). Por patrones atmosféricos y variables sujetos a cambios biofísicos no representan un cambio en los indicadores porcentuales que aumente o disminuya su distribución para el 2070, porque la misma aplicabilidad en términos físicos contribuyen a los mismos patrones y para ajustarse al cambio debería tener patrones críticos a futuro y un decrecimiento de los cultivos y otros factores (Cosme De Brito *et al.*, 2017).

Las variaciones en la extensión del área de cultivos de maíz presentes en la provincia Los Ríos en el escenario RCP 4.5 reveló que para la especie *T. procumbens* en el año 2050 se tendrían 187.528 km² disminuyendo a 21.075 km² para el mismo escenario en el año 2070. La especie *T. crustacea* presentó 11.766 km² en el 2050, aumentando a 21.226 km² para el año 2070, ya que de acuerdo con los hallazgos de González *et al.* (2020) en la provincia Los Ríos se pronostica para el año 2050 un incremento de 1.07°C y disminución de la precipitación (303 mm), lo que generará una disminución del 29% en los rendimientos de los cultivos de maíz.

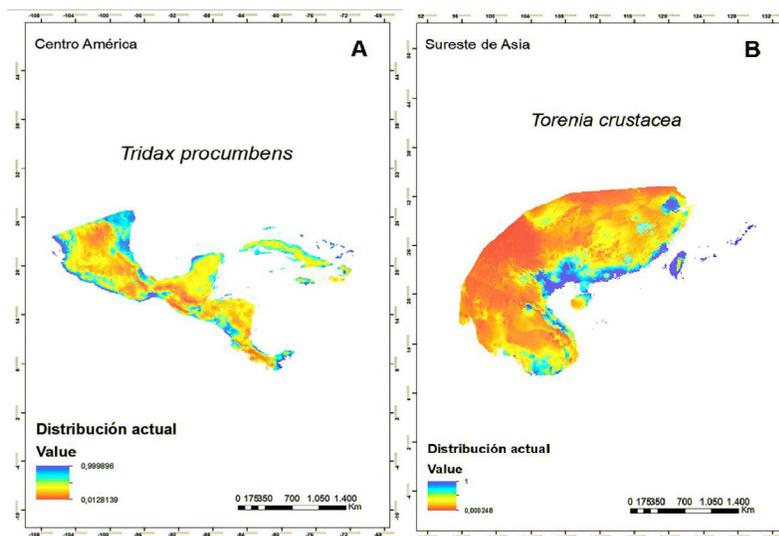


Figura 2: Mapas de distribución actual (2023) en el área nativa de las especies *T. procumbens* (A) y *T. crustacea* (B)

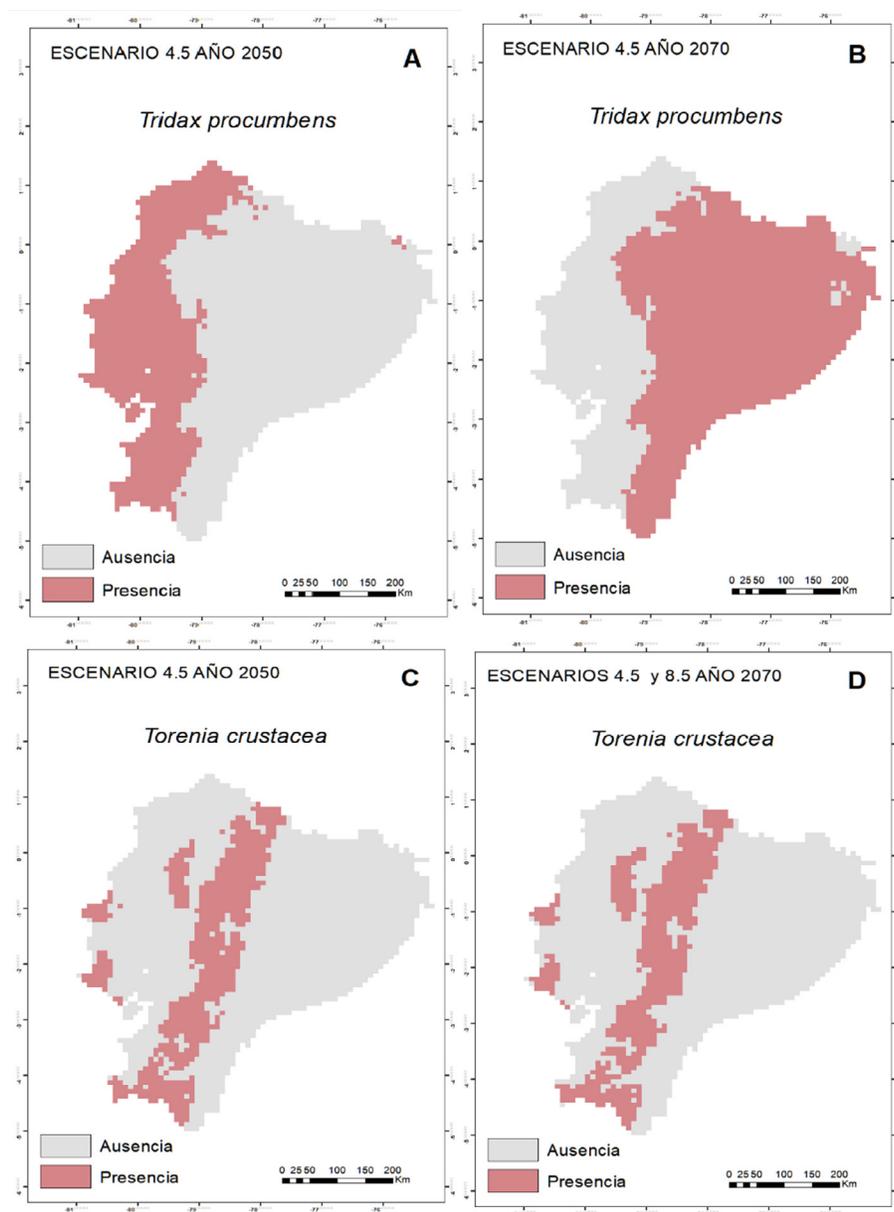


Figura 3: Mapas de cambio potencial en el área de distribución geoespacial en Ecuador de la especie *T. procumbens* bajo escenario RCP 4.5 año 2050 (A) y 2070 (B). Para la especie *T. crustacea* en el mismo escenario año 2050 (C) y escenarios RCP 4.5 y 8.5 año 2070 (D)

En cuanto al rango potencial de distribución para el escenario extremo RCP 8.5 en el futuro cercano la especie *T. procumbens* alcanzó los valores más altos en este escenario con 1,288 km² (Figura 4A) y 1,635 km² sin ocupación. En cambio, para el año 2070 en las zonas Amazonía y Sierra la ocupación de la especie disminuye a 1,013 km² (Figura 4B) en relación al escenario anterior. *T. crustacea* presenta condiciones favorables en 699 km² (Figura 4C) del 2050 prefiriendo zonas costeras y de serranía.

Las variaciones en la extensión del área de cultivos de maíz presentes en la provincia de Los Ríos, en el escenario RCP 8.5 *T. procumbens* presenta una diferencia de 13.103

km² en cuanto a su ocupación en los cultivares de maíz entre los años 2050 - 2070. Así mismo, la especie *T. crustacea* tiene poca variación entre los años proyectados obteniendo valores de 20.996 km² en el 2050 y 21.177 km² para el 2070. Para Vera *et al.* (2018) la variación de la temperatura provoca que la producción disminuya en términos no tan significativos sobre la base del rendimiento en cultivos de maíz en específico. También indica que afecta el proceso de germinación de las semillas y deterioro del suelo. La producción de maíz en promedio es de 4.5 t ha⁻¹ en la provincia de Los Ríos y se prevé que la producción disminuya considerablemente por el efecto del cambio climático en el año 2060 de 5,017.4 kg ha⁻¹ a 2,954.6 kg ha⁻¹.

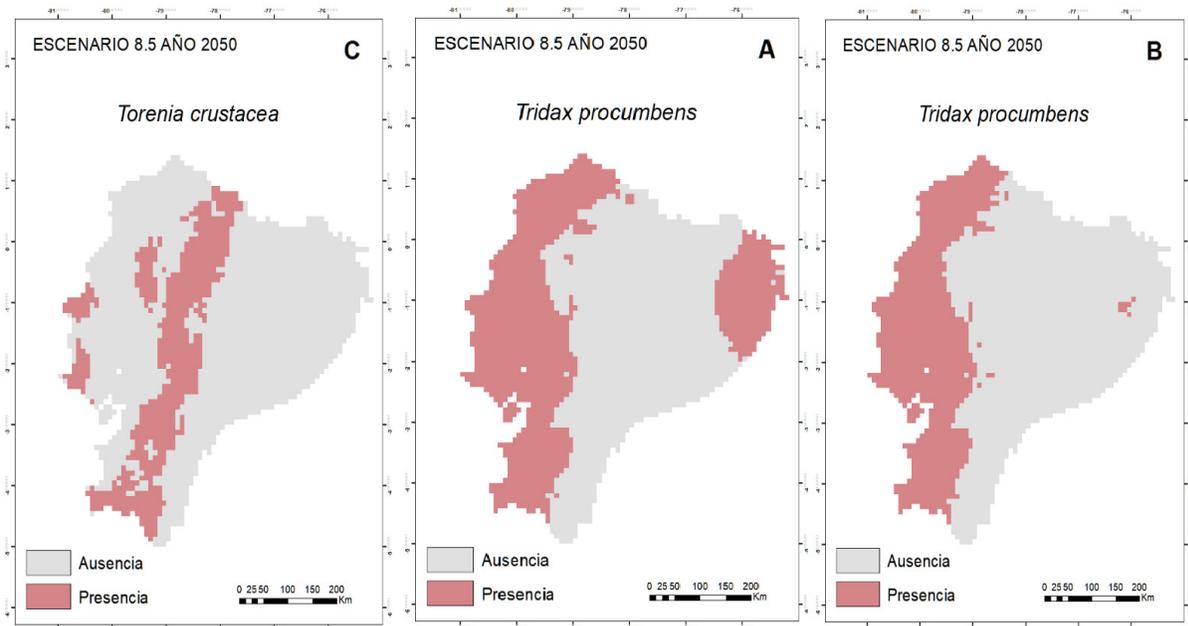


Figura 4: Mapas de cambio potencial en el área de distribución geoespacial en Ecuador de la especie *Tridax procumbens* bajo escenario RCP 8.5 año 2050 (A) y 2070 (B). Para la especie *Torenia crustacea* en el mismo escenario año 2050 (C)

La combinación de los mapas que representan la distribución de las especies *T. procumbens* y *T. crustacea* revelaron un rango de estabilidad de 1,435 km², permaneciendo inalterado un área de 1,284 km², mientras que se observa una disminución en el rango de distribución de 204 km² (Figura 5A). Mientras que para el año 2070 bajo el mismo escenario (Figura 5B) tiene 1,038 km² de estabilidad y rango de pérdida de 1,885 km². Para el escenario RCP 8.5 en el año 2050 (Figura 5C), las especies tienen una estabilidad de 1,168 km², sin presencia de cambios en 1,523 km² y con un rango de pérdida de 232 km². Por consiguiente, en 2070 (Figura 5D), se registró una estabilidad de 2,256 km², no se identificaron cambios y se evidenció una disminución en el rango de distribución de 668 km². La variabilidad climática en estas zonas son una seria preocupación dado que el rendimiento de los cultivos transitorios ya ha disminuido en las últimas tres décadas entre un 2.5 y un 3.8% a nivel mundial debido al cambio climático, las especies de maleza en ambientes cálidos serán las más afectadas. (Islam *et al.*, 2012). El maíz es un cultivo de ciclo transitorio, su productividad depende de la calidad de semilla, manejo de cultivo, calidad del suelo y clima; para este escenario se estima una temperatura favorable entre 24.5°C y 25°C, manteniendo una estabilidad en la temporada seca y por ende sus precipitaciones oscilan entre 1998 y 2206 mm, considerándose con la capacidad eficaz para el desarrollo del cultivo de maíz (Mafongoya *et al.*, 2015).

Los rangos de variaciones que incluyen la suma de mapas para ambas especies *T. procumbens* y *T. crustacea*

en la extensión del área de cultivos de maíz en la provincia Los Ríos bajo el escenario RCP 4.5 para el año 2050 presenta una estabilidad de 13.041 km² y sin cambios con un valor de 195.563 km². Para el año 2070 un área sin cambios de 198.685 km² y representando el menor rango de pérdida entre los escenarios con 12.9188 km². Esto se debe a “la temperatura, que subirá gradualmente y no de forma inmediata, provocando fluctuaciones mínimas y no más representativas para plantas y los cultivos” (Conde y López, 2016). De acuerdo con Organización Mundial de Meteorología, existe una alta probabilidad de incremento de la temperatura de 1.07°C para el 2050 a nivel global, ocasionando inestabilidad climática para todas las especies del planeta (Díaz, 2012).

En cuanto al RCP 8.5 para los años 2050 y 2070 se presentan mínimas variaciones con una diferencia de 0.009 km² en cuanto a la estabilidad y su rango de pérdida. Silva *et al.* (2020) alegaron que dado a que la alteración de las variables climáticas se encuentra aún estables, se puede predecir que no tendrán una repercusión significativa. Durante el período de 2041-2060, se pronostica la preservación de áreas óptimas o condiciones que favorezcan un rendimiento satisfactorio en los cultivos de maíz. Sin embargo, proyecciones para el período de 2080-2100 indican la posible disminución de zonas óptimas, generando una preocupación moderada, particularmente en la provincia de Los Ríos.

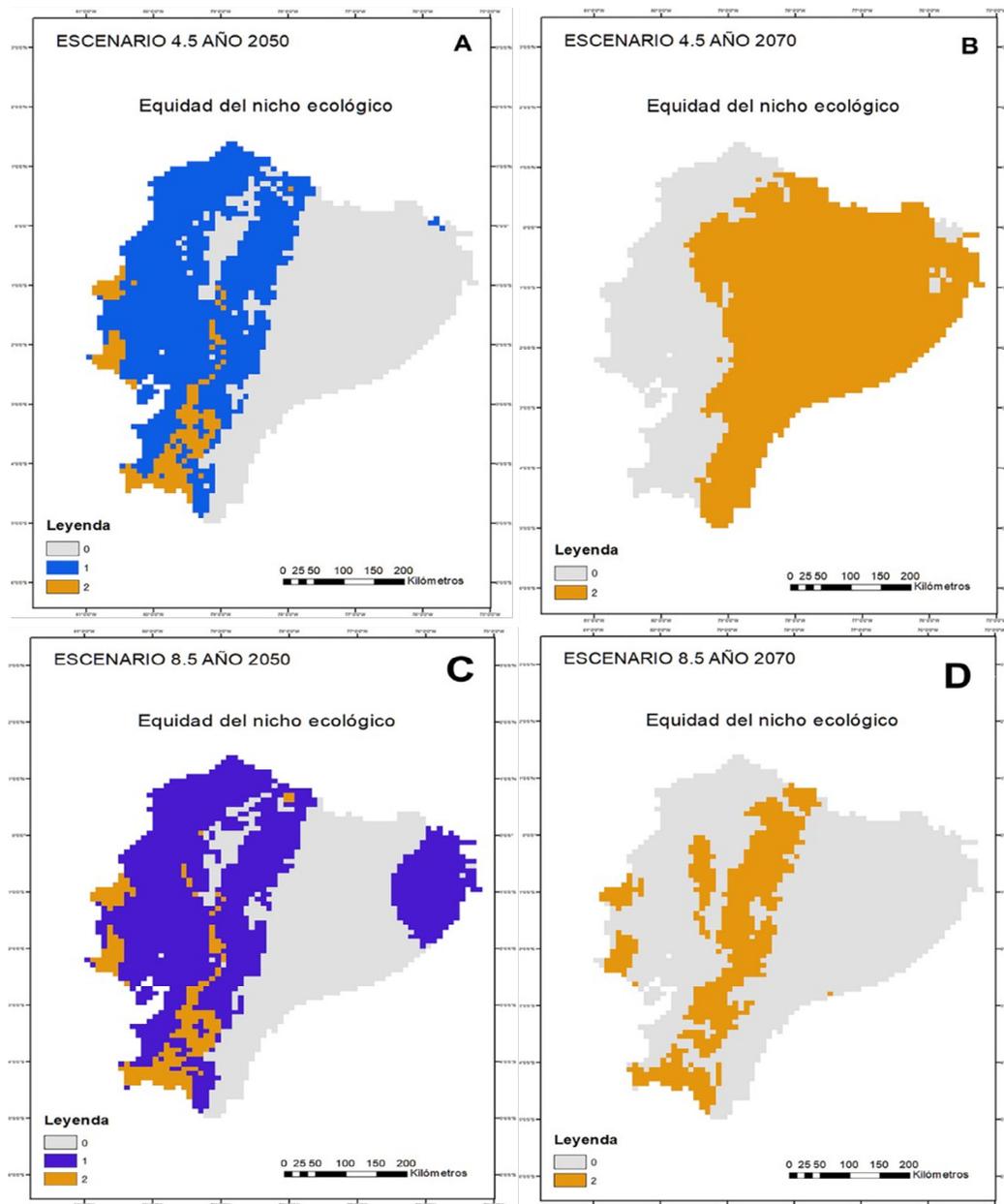


Figura 5: Mapas de cambio potencial en el área de distribución geoespacial de las especies *T. procumbens* y *T. crustacea* en Ecuador, tomando como referencia el área nativa y comparándolo con cuatro escenarios futuros: dos para los años 2050 RCP 4.5 moderado (A) y RCP 8.5 extremo (C) y dos para los años 2070 RCP 4.5 moderado (B) y RCP 8.5 extremo (D). Rangos: 0: Estabilidad, 1: Sin cambios y 2: Pérdida

El estudio realizado sirve de enfoque útil para los próximos estudios sobre sistemas terrestres, al igual que otras herramientas de análisis espacial, en particular el SIG, Sistemas de Información Geodésica (Anderson y Martínez-Meyer, 2004; Che *et al.*, 2002).

Conclusiones

Los modelos de nicho ecológico indican que las condiciones climáticas futuras favorecerán la proliferación de especies

invasoras en los cultivos de maíz. Entre estos modelos, aquel que destacó por mostrar las mayores variaciones en su distribución geográfica durante los periodos 2050-2070 en los escenarios RCP 4.5 y 8.5 fue el correspondiente a *T. procumbens*. En el caso de *T. crustacea*, se observó que el escenario más propicio para su establecimiento fue el asociado al RCP 8.5 en el año 2070.

Mediante los Modelo de Nicho Ecológico es posible establecer un riguroso sistema de seguimiento del cultivo del maíz para identificar rápidamente áreas de posible invasión de

especies invasoras y aplicar medidas de control y prevención eficaces. La prevención y la gestión de estas especies requieren un enfoque global que combine prácticas agrícolas sostenibles, un seguimiento continuo y el uso rápido y eficaz de estrategias de control. Este enfoque contribuye significativamente a salvaguardar tanto la biodiversidad como la producción de maíz en Los Ríos, lo que a su vez ayuda al bienestar de las comunidades locales.

Los datos sobre la variación en la extensión de los cultivos de maíz en la provincia de Los Ríos, específicamente para la especie *T. procumbens* indicaron una disminución en el área bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5 para los años 2050 y 2070. En contraposición, se observó un aumento en la extensión de los cultivos de maíz en los mismos escenarios y períodos de tiempo para la especie *T. crustacea*. Además, al considerar las variaciones combinadas de ambas especies invasoras se destacó que bajo el escenario RCP 4.5 para el 2050 se prevé una estabilidad en el área de cultivos para ambas especies. Para el año 2070 se anticipa un área sin cambios de 198.685 km² en el escenario RCP 4.5 y experimentan un rango de pérdida con el menor valor de 12.9188 km² en contraste con otros escenarios.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, M. Y. (2011). *Impactos del cambio climático en la agricultura de América Central y en las familias productoras de grados Básicos*. <http://www.sica.int/ccad>
- Álvarez, J. J. (2022). “Vecinos invasores”: propuesta de concienciación en Educación Primaria para el control de las especies invasoras en Canarias [Trabajo fin de grado en maestro/a en educación primaria, Universidad de Oviedo]. <http://hdl.handle.net/10651/64376>
- Amaya, A., Santos, M., Morán, I., Vargas, P., Combaza, W., y Lara, E. (2018). Malezas presentes en cultivos del cantón Naranjal, provincia Guayas, Ecuador. *Investigatio*, 11, 1–16. <https://doi.org/10.31095/investigatio.2018.11.1>
- Anderson, R. P., y Martínez-Meyer, E. (2004). Modeling species’ geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*, 116(2), 167–179. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00187-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00187-3)
- CFN. (2021). *FICHA SECTORIAL CULTIVO DE MAÍZ SUBGERENCIA DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS*. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/transparencia/Informe-Rendicion-de-cuentas-2021.pdf>
- Che, G., Townsend, A., y Rson, P. (2002). Prioritization of areas in China for the conservation of endangered birds using modelled geographical distributions. *Bird Conservation International*, 12, 197–209. <https://doi.org/10.1017/S0959270902002125>
- Conde, A. C., y López, J. (2016). *Variabilidad y Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Propuesta para Métodos de Evaluación* (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Primera edición).
- Cosme De Brito, M. I., Coelho Da Silva, V., Salviano, A. M., y Giongo, V. (2017). Seleção de indicadores de qualidade do solo para sistemas conservacionistas de produção de manga em ambiente semiárido. *EMBRAPA*.
- Davies, A. J., y Guinotte, J. M. (2011). Global habitat suitability for framework-forming cold-water corals. *PLoS ONE*, 6(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018483>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., y Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Díaz, G. (2012). El Cambio Climático. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII (2), 227–240. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>
- Ferrer-Sánchez, Y., Mafaldo Sajami, A. A., Plasencia Vázquez, A. H., y Urdánigo Zambrano, J. P. (2022). Riesgo para el cultivo de cacao por los cambios en la distribución potencial del fitopatógeno *Moniliophthora perniciosa* bajo escenarios de cambio climático en Ecuador continental. *Terra Latinoamericana*, 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1338>
- Fick, S. E., y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Galdino, T. V. D. S., Kumar, S., Oliveira, L. S. S., Alfenas, A. C., Neven, L. G., Al-Sadi, A. M., y Picanc, M. C. (2016). Mapping Global Potential Risk of Mango Sudden Decline Disease Caused by *Ceratocystis fimbriata*. *PLoS ONE*, 11(7), e0159450. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0159450>
- González, B., Barragán, R., Simba, L., y Rivero, M. (2020). Influencia de las variables climáticas en el rendimiento de cultivos transitorios en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Centro Agrícola*, 47(4), 54–64. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v47n4/0253-5785-cag-47-04-54.pdf>
- Graham, S., Metcalf, A. L., Gill, N., Niemiec, R., Moreno, C., Bach, T., Ikutegbe, V., Hallstrom, L., Ma, Z., y Lubeck, A. (2019). Opportunities for better use of collective action theory in research and governance for invasive species management. *Conservation Biology*, 33(2), 275–287. <https://doi.org/10.1111/cobi.13266>
- Gutiérrez, O., Cámara, Rafael, y García Luis. (2017). Nicho Ecológico y distribución geográfica del pinsapo (*Abies pinsapo*. Boiss). *Takurunna*, 6, 59–87.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International*

- Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/JOC.1276>
- INAHMI. (2023). *Boletín No 16: Predicción climática*. https://www.inamhi.gob.ec/pronostico/cwrf/2023/Boletin_CWRF.pdf
- INEC. (2021). *Censo Ecuador*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
- INEC. (2022). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. <https://onx.la/b62c8>
- Islam, A., Ahuja, L. R., Garcia, L. A., Ma, L., Saseendran, A. S., y Trout, T. J. (2012). Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. *Agricultural Water Management*, 110, 94–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.004>
- Jiménez, S., Castro, L., Yépez, J., y Wittmer, C. (2012). *Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador*.
- Mafongoya, P., Jiri, O., y Chivenge, P. (2015). Smallholder Farmer Perceptions on Climate Change and Variability: A Predisposition for their Subsequent Adaptation Strategies. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 06(05). <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000277>
- MAG. (2020). *Resumen Ejecutivo Diagnósticos Territoriales del Sector Agrario*. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguarte, L. E., y Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 362–371. <https://doi.org/10.17129/botsci.508>
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3)*.
- Nelson, G. C., Valin, H., S. R. D., H. P., Ahammad, H., Deryng, D., y Willenbockel, D. (2014). Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 111(274–3279). <https://doi.org/10.1073/pnas.1222465110>
- Oficialdegui, F. J., Delibes-Mateos, M., Franch, N., Altamirano, M., y Clavero, M. (2021). Prohibir o no prohibir, ¿no hay más opciones para legislar sobre invasiones biológicas? *Ecosistemas*, 30(3). <https://doi.org/10.7818/ECOS.2272>
- Osorio-Olvera, L., Lira-Noriega, A., Soberón, J., Peterson, A. T., Falconi, M., Contreras-Díaz, R. G., Martínez-Meyer, E., Barve, V., y Barve, N. (2020). ntbox: An R package with graphical user interface for modelling and evaluating multidimensional ecological niches. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(10), 1199–1206. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13452>
- Paredes, E., y Tejada, M. (2015). Manejo de arvenses en maíz (*Zea mays L.*) en sucesión con frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y el uso de herbicidas. *Fitosanidad*, 19(2).
- Paz, A. (2023, February 20). Científicos identifican 204 especies exóticas e invasoras en el nororiente de la Amazonía ecuatoriana. *MONGABAY*.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., y Peterson, A. T. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102–117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Phillips, S. J., Dudík, M., y Phillips, S. J. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161–175. <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yYkTGt75CCxXYZRtHGbSW7M/>
- Portilla, F. F. (2018). Agroclimatología del Ecuador. In *Agroclimatología del Ecuador* (pp. 17–40). Editorial Abya-Yala. <https://doi.org/10.7476/9789978104927.0001>
- Pulido, L. (2016). Cambio climático, ensaltramiento de suelos y producción agrícola en áreas de riego. *Terra Latinoamericana*, 34(2), 207–218.
- Santana, P. A., Kumar, L., Da Silva, R. S., Pereira, J. L., y Picanço, M. C. (2019). Assessing the impact of climate change on the worldwide distribution of *Dalbulus maidis* (DeLong) using MaxEnt. *Pest Management Science*, 75(10), 2706–2715. <https://doi.org/10.1002/ps.5379>
- Silva, C. I., dos Santos, F. D., Farias, I. G., Cavalcante, D. D., Lisboa, R., Barros, H., Hallan de Lima, E., da Silva, L., Rodrigues, V. de P., y da Nóbrega, B. K. (2020). Método alternativo de zoneamiento agroclimático do Milho para o estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35(Special Issue), 1057–1067. <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yYkTGt75CCxXYZRtHGbSW7M/>
- Stranges, S., Cuervo-Robayo, A. P., Martínez-Meyer, E., Morzaria-Luna, H. N., y Reyes-Bonilla, H. (2019). Potential changes in the distribution of the genus *Pocillopora* (Anthozoa: Scleractinia) in the Eastern Tropical Pacific under climate change scenarios. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(2). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2696>
- Torres, S., y Ortiz, A. (2022). Estudio fitosociológico y evaluación del banco de malezas del suelo en tres fincas maiceras del estado Portuguesa, Venezuela. *Bioagro*, 34(1), 27–38. <https://doi.org/10.51372/bioagro341.3>
- Vera, A. D., Palacios, Z. M., Liuba, D. A., Suarez, C. C., y Mendoza, H. C. (2018). Diversidad y análisis fitosociológico de malezas en un cultivo de musáceas del

tropico ecuatoriano. *AgriScientia*, 35(2), 43–52. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v35.n2.22966>

Ward, J. D., Mohr, S. H., Myers, B. R., y Nel, W. P. (2012). High estimates of supply constrained emissions scenarios for long-term climate risk assessment. *Energy Policy*, 51, 598–604. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.003>

