



IDONEIDAD DEL HÁBITAT Y ETAPAS DE DOMESTICACIÓN DE *Heliopsis longipes* (ASTERACEAE: HELIANTHEAE) †

[HABITAT SUITABILITY AND DOMESTICATION STAGES OF *Heliopsis longipes* (ASTERACEAE: HELIANTHEAE)]

Jesus Hernandez-Ruiz*, Ana Isabel Mireles-Arriaga and Jorge Eric Ruiz-Nieto

Universidad de Guanajuato, División de Ciencias de la Vida, Km 9 carretera Irapuato-Silao, ExHda. El Copal, Irapuato, Guanajuato, C.P. 36500, México. Email: Hernandez.jesus@ugto.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background: *Heliopsis longipes* is an endemic plant with chemical properties and medicinal use, making it a species of biological, economic, and cultural importance. **Objective:** To determine the habitat suitability of *H. longipes* and the domestication stage of the cultivation. **Methodology:** The presence probability was estimated using the maximum entropy algorithm (MaxEnt), with twenty-three bioclimatic variables as predictors from presence records. For the domestication process, 79 surveys focused on the knowledge of reproductive biology, production, and management of the species were conducted. **Results:** The habitat suitability is determined by three variables: precipitation seasonality (51%), soil type (26%), and isothermality (22%). Considering the domestication stages, 81% of farmers are in stage five, where the species is cultivated and harvested using traditional practices, and 11% are in stage four, where general features of the reproductive biology are known. **Implications:** The importance of climatic and edaphic factors in the species distribution and the cultivation's domestication stage are highlighted. This provides a foundation for conservation strategy design. **Conclusions:** The contribution of specific variables to habitat suitability underscores the importance of climatic and edaphic factors in the species distribution. Three groups of farmers with different knowledge and cultivation practices were identified, placing them in two different stages of the species domestication process.

Key words: Chilcuague; maximum entropy; conservation.

RESUMEN

Antecedentes: *Heliopsis longipes* es una planta endémica cuyas propiedades químicas y uso medicinal la convierten en una especie con importancia biológica, económica y cultural. **Objetivo:** Determinar la idoneidad del hábitat de *H. longipes* y la etapa de domesticación en la que se encuentra el cultivo. **Metodología:** Se estimó la probabilidad de presencia con el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt), mediante veintitrés variables bioclimáticas como predictores a partir de registros de presencia. Para el proceso de domesticación, se realizaron 79 encuestas enfocadas al conocimiento de la biología reproductiva, producción y manejo de la especie. **Resultados:** La idoneidad del hábitat de la especie está determinada por tres variables: estacionalidad de la precipitación (51%), tipo de suelo (26%) e isothermalidad (22%). Considerando las etapas de domesticación, el 81% de los agricultores se encuentran en la etapa cinco, donde la especie se cultiva y cosecha utilizando prácticas tradicionales, y el 11% está en la etapa cuatro, donde se conocen rasgos generales de la biología reproductiva de la especie. **Implicaciones:** Se resalta la importancia de factores climáticos y edáficos en la distribución de la especie, así como la etapa de domesticación del cultivo. Esto proporciona bases para el diseño de estrategias de conservación. **Conclusiones:** La contribución de variables específicas para la idoneidad del hábitat resalta la importancia de factores climáticos y edáficos en la distribución de la especie. Se identificaron tres grupos de agricultores con diferentes conocimientos y prácticas de cultivo, ubicándolos en dos etapas diferentes del proceso de domesticación de la especie.

Palabras clave: Chilcuague; máxima entropía; conservación.

† Submitted September 14, 2022 – Accepted October 28, 2023. <http://doi.org/10.56369/isaes.4544>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

ORCID = Jesus Hernandez-Ruiz: <http://orcid.org/0000-0002-6312-7506>; Ana Isabel Mireles-Arriaga: <http://orcid.org/0000-0001-9041-8264>; Jorge Eric Ruiz-Nieto: <http://orcid.org/0000-0002-3293-8066>

INTRODUCCIÓN

En la zona de la Sierra Gorda de Guanajuato se reporta la presencia de la especie *Heliopsis longipes*, una planta herbácea perenne conocida comúnmente como Chilcuague. De la cual, la raíz es utilizada dentro de la medicina tradicional como antiinflamatorio, en infecciones bucales, artritis, reumatismo, para dolores de muelas y musculares. Estas características han hecho que sea una de las especies de mayor importancia en la familia Asteraceae por el número de investigaciones que se han realizado, las cuales se enfocan a la determinación de compuestos como flavonoides, terpenos, esteroides y alcaloides (Cilia-López *et al.*, 2014; Cilia-López *et al.*, 2021). De este último grupo de fitoquímicos se aisló el compuesto N-isobutil-2, 6, 8 decatrienoamida (C₁₄H₂₃NO), también denominado afinina (Castro-Ruiz *et al.*, 2017).

Estudios químicos y farmacológicos de la raíz de *H. longipes*, reportan propiedades bactericidas (Hernández-Morales *et al.*, 2015) antiinflamatorias (Luz-Martínez *et al.*, 2024) fungicidas (Parola-Contreras *et al.*, 2020), efecto analgésico y estimulante sobre el sistema nervioso central (De la Rosa-Lugo, Ramírez-Cisneros y Ríos, 2016). Por ello, se considera una especie con importancia biológica, económica y cultural.

En la parte económica se reportó que hace 15 años la raíz de *H. longipes* se comercializaba principalmente en mercados locales cercanos al área de distribución conocida, donde en un año se vendía 480 kg con un valor de producción de 274,790 pesos (Cilia-López *et al.*, 2008). Sin embargo, en los últimos años se considera que este volumen de venta pudo aumentar hasta en 45% dado el marketing digital, ya que este tiene un impacto significativo en el incremento de las ventas de productos, en el mercado nacional e internacional (Bravo-Torres y Hinojosa-Becerra, 2021).

La propagación convencional del cultivo de Chilcuague es vegetativa por esqueje o sexualmente por semilla, y el desarrollo total de las raíces transcurre en dos hasta tres años, donde, para ser cosechada, requiere la destrucción total de la planta (Cilia-López *et al.*, 2014). Dado el extenso tiempo de cosecha, los productores también recurren a la recolección de la especie en su entorno natural, lo que ha provocado la reducción de sus poblaciones silvestres (Cilia-López *et al.*, 2014). Esta forma de extracción supondría un riesgo para la variación genética de la especie, ya que esta es permitida debido a que la Norma Oficial Mexicana 059 de protección ambiental de

especies nativas de México no considera a *H. longipes* como especie de flora bajo alguna categoría de riesgo (SEMANART, 2019).

Entender la idoneidad del hábitat podría ofrecer una visión detallada de los requisitos ecológicos de la especie, facilitando así el diseño de estrategias de conservación (González-Adán *et al.*, 2022). Uno de los modelos más eficientes en la predicción de distribución espacial de especies es el modelo Maxent (Tang *et al.*, 2021), el cual puede combinar análisis de los patrones espaciales de presencia y ausencia de especies que se utilizan comúnmente en los modelos de distribución de especies (Hernandez-Ruiz *et al.*, 2016). Bajo la premisa de que la probabilidad de presencia es una interpretación del valor de idoneidad ambiental para el desarrollo favorable de una especie (Juárez-García *et al.*, 2021; Conti *et al.*, 2022).

El proceso de domesticación de una especie vegetal endémica como *H. longipes* también puede proporcionar información valiosa sobre el potencial de cultivo, contribuyendo tanto a la conservación como al desarrollo económico para generar estrategias de aprovechamiento (Dieta and Fernando Biganzoli, 2019). Dado que la domesticación de plantas es un proceso evolutivo en el cual una población de plantas se adapta al suministro y control humano, comienza con la explotación de plantas silvestres y avanza mediante el cultivo de plantas seleccionadas que inicialmente no son genéticamente distintas de las silvestres (Vodouhè y Dansi, 2012). Por el contexto anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la idoneidad del hábitat de *H. longipes* y la etapa de domesticación en la que se encuentra la especie.

METODOLOGÍA

Idoneidad del hábitat

Se elaboró una base de datos para incluir sitios donde se reporta la presencia de *H. longipes* en México. La información se obtuvo a partir de la revisión de las colecciones de los herbarios: Herbario Nacional de México (MEXU), Herbario del Instituto de Ecología (XAL), Herbario Dr. Jerzy Rzedowski (QMEX), y la Red de Herbarios del noroeste de México (RHNM), así como una revisión de los trabajos publicados sobre la especie. Con la base de datos de los ejemplares, mediante la aplicación del programa MaxEnt versión 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2024), se modeló la idoneidad ambiental de *H. longipes*, utilizando 22 variables como predictores (Cuadro 1); siguiendo la metodología de Nolasco-García *et al.* (2023) 19 variables bioclimáticas fueron obtenidas de la base de datos WorldClim

(www.worldclim.org) con una resolución espacial de 0.5 minutos de arco. Los datos digitales de elevación (120 m de resolución) se obtuvieron del portal continuo de elevaciones mexicano (INEGI, 2022) Las capas en formato vectorial escala de 1:1000000 de régimen de humedad del suelo y uso de suelo y vegetación se obtuvieron de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (SIG CONABIO, 2023).

Proceso de Domesticación

Se abordó el enfoque teórico de (Vodouhè and Dansi, 2012) el cual considera siete pasos en la domesticación de una especie (Figura 1). Se recabó información de 79 miembros de la sociedad de productores de Chilcuague de la Sierra Gorda S.P.R., del Municipio de Xichú, a los cuales se les aplicó una encuesta semiestructurada con preguntas cerradas de opción múltiple, abordando temas como la biología reproductiva, producción y manejo de la especie.

Tabla 1. Variables ambientales y bioclimáticas utilizadas para determinar la distribución potencial de *H. longipes*.

Código	Descripción de variable	Unidades
Bio1	Temperatura promedio anual	°C
Bio2	Oscilación diurna de la temperatura	°C
Bio3	Isotermalidad	Adimensionales
Bio4	Estacionalidad de la temperatura	CV
Bio5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido	°C
Bio6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío	°C
Bio7	Oscilación anual de la temperatura	°C
Bio8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	°C
Bio9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	°C
Bio10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	°C
Bio11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	°C
Bio12	Precipitación anual	mm
Bio13	Precipitación del periodo más lluvioso	mm
Bio14	Precipitación del periodo más seco	mm
Bio15	Estacionalidad de la precipitación	CV
Bio16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso	mm
Bio17	Precipitación del cuatrimestre más seco	mm
Bio18	Precipitación del cuatrimestre más cálido	mm
Bio19	Precipitación del cuatrimestre más frío	mm
Bio20	Altitud	m
Bio21	Régimen de Humedad del suelo	días
Bio22	Cobertura del suelo	23 tipos
Bio23	Tipo de suelo	19 tipos



Figura 1. Proceso de domesticación de una especie silvestre (Elaborado con información de Vodouhè and Dansi, 2012).

El análisis de las variables relacionadas con el conocimiento de la especie se realizó mediante tablas de contingencia (García-Munguía, 2023). Asimismo, se llevó a cabo un análisis conglomerado jerárquico para identificar el número de grupos de agricultores y sus características de uso y aprovechamiento de *H. longipes* de forma gráfica, basado en el algoritmo de Ward (Malav *et al.*, 2020) Para encontrar el punto de corte en el dendrograma, se complementó con un análisis de conglomerados de K-medias (Annas *et al.*, 2022) para una mejor identificación de los grupos. Todos los análisis fueron realizados en el programa de análisis estadístico JMP® 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron los siguientes registros de *H. longipes*: dos en MEXU, dos en el New York Botanical Garden, uno en la University of Colorado Museum of Natural History Herbarium Vascular Plant Collection, uno en el Herbario de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, y 16 registros reportados por Cilia-López *et al.* (2014). Trece registros se distribuyen en el estado de San Luis Potosí, tres en Hidalgo, cinco en Guanajuato y uno en Querétaro (Tabla 2). Estos reportes verifican que la especie es endémica de la región conformada por porciones de la Sierra de Álvarez y la Sierra Gorda, donde

se superponen territorios de los estados de San Luis Potosí, Guanajuato y Querétaro (Cilia-López *et al.*, 2021).

El modelo de distribución de *H. longipes* generó un valor de área bajo la curva (AUC) de 0.89, este resultado indica que el valor superó la predicción al azar y también sobrepasó el valor esperado de diferencia entre sensibilidad y especificidad para la especie, lo que indica que el modelo cuenta con una buena precisión predictiva dado que se encuentra en un rango $>.5$ (Hernández-Ruiz *et al.*, 2016; Arévalo-Morocho *et al.*, 2023).

De las 23 variables utilizadas como predictores para el modelo de distribución e idoneidad del hábitat, basado en la ubicación de los registros de chilcuague, tres variables contribuyeron a determinar la estimación del modelo: estacionalidad de la precipitación (51%), perfil edáfico (26%) e isothermalidad (22%). Las otras 20 variables no presentan ninguna contribución porcentual al modelo de distribución potencial. La familia Asteraceae ha mostrado una gran afinidad y diversidad en las zonas templadas montañosas; en particular, los miembros de la tribu Heliantheae presentan una gran diversificación y abundancia en las regiones montañosas en altitudes entre 1,000 a 2,000 m (Cilia-López *et al.*, 2014). Para este estudio, la altitud no resultó ser una variable significativa en

Tabla 2. Localidades donde se reportan poblaciones cultivadas de *Heliopsis longipes*.

Fuente	Estado	Localidad	Latitud*	Longitud*
Herbario de la Universidad de Colorado, USA.	Hidalgo	Zimapam	na	na
New York Botanical Garden	Hidalgo	Zimapam	20.78	-99.32
Herbario Nacional de Mexico (MEXU)	San Luis Potosi	San Luis potosi		
	Hidalgo	Zimapam	na	na
Herbario de Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM (Rzedowski, 1962)	San Luis Potosi	San Luis Potosi	22.18	-101.01
			22.15	-100.96
(Cilia-López <i>et al.</i> , 2014)	Guanajuato	San Luis de la Paz	21.29	-100.25
	Queretaro	San Joaquin	20.55	-99.36
		San cristobal	20.55	-99.37
	San Luis Potosi	La joya del epazote	21.50	-100.21
		Las margaras	21.48	-100.11
		El pescadillo	21.48	-100.02
		Cuchilla alta	21.46	-100.09
		Huertitas	21.46	-100.09
		Las albercas	21.45	-100.11
		La alameda	21.40	100.11
	Guanajuato	Cerro del Teran	21.40	-100.10
		Rincon de los jabalines	21.40	-100.10
		La caña	21.35	-99.55
		San luis de la paz	21.28	-100.25
		El verjel de bernalejo	21.27	-100.20
San salvador de Ahorcados		21.25	-100.19	
	La latija	21.24	-100.06	

la determinación de la idoneidad ambiental para la presencia de la especie. Sin embargo, son pocos los trabajos enfocados a la descripción ecológica de la especie (Villaseñor, 1998; Cilia-López *et al.*, 2014) la ubican en suelos del tipo litosol, feozem y luvisol, características similares a los sitios potenciales para el cultivo de *H. longipes* en el municipio de Xichú.

Considerando las variables con mayor contribución porcentual al modelo de distribución de *H. longipes*, se observa que la probabilidad de presencia aumenta con estacionalidades de precipitación menores de 70 y disminuye conforme aumenta a valores de 75 hasta llegar a cero cuando la estacionalidad es superior a los 110 (Figura 2a). Dado que valores elevados en estacionalidad de precipitación indican grandes diferencias entre las temporadas secas y lluviosas, y valores pequeños indican poca diferencia entre los meses lluviosos y los meses secos (Brown-Manrique, 2015) se considera que para el desarrollo óptimo de *H. longipes*, el riego es fundamental.

Dado que la isoterma es el índice de variabilidad de la temperatura determinado por la oscilación diurna de la temperatura sobre la oscilación anual y se expresa en porcentaje (Juárez-García *et al.*, 2021), el desarrollo óptimo del cultivo de chilcuague se lograría con valores por encima del 70% (Figura 2b).

La probabilidad de presencia para el desarrollo óptimo de chilcuague en relación con el tipo de suelo (Figura 2c) es alta en suelos de tipo Feozem háplico (Hh), que según (Chávez-Aguilar *et al.*, 2022) se caracterizan por presentar una capa superficial oscura, rica en materia orgánica y nutrientes. Tienen una textura media, con estructura granular en la parte más superficial y bloques subangulares en la siguiente capa, lo que, junto con la porosidad, confiere al suelo buenas condiciones aeróbicas y, por lo tanto, un buen drenaje interno. Esto permite la penetración de raíces de las plantas y la infiltración del exceso de agua, pero mantiene una buena capacidad de retención de humedad aprovechable. La probabilidad de presencia disminuye en suelos litosoles (L), que son delgados, con un espesor inferior a 25 cm y, antes de llegar a la capa rocosa, pueden ser más profundos, con alto contenido de rocas o grava. Finalmente, la probabilidad disminuye en suelos regosoles (R), que son el resultado del depósito reciente de roca y arena acarreadas por el agua, acumulados por los ríos que descienden de la montaña cargados de sedimento.

La distribución potencial de *H. longipes* estimada a partir de los registros de herbario muestra que los altos valores de idoneidad ambiental para el desarrollo favorable de la especie se encuentran principalmente en los estados de Guanajuato, San Luis Potosí y Querétaro (Figura 3).

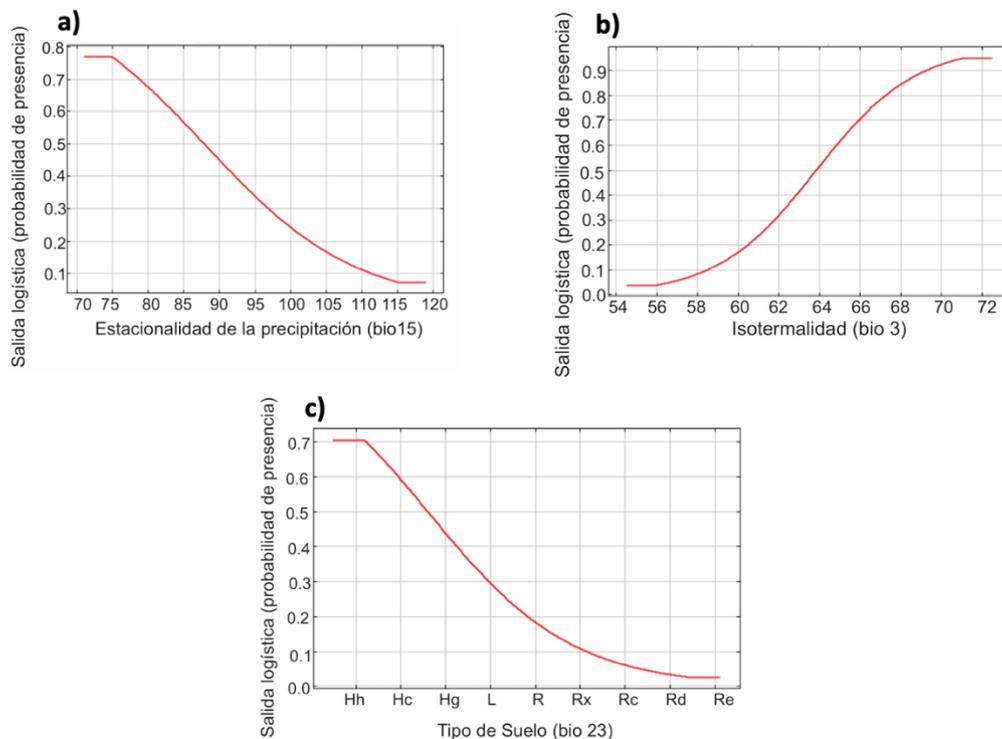


Figura 2. Probabilidad de presencia de *H. longipes* en relación con las variables a) Estacionalidad de la precipitación, b) Isotermalidad, c) Tipo de suelo.

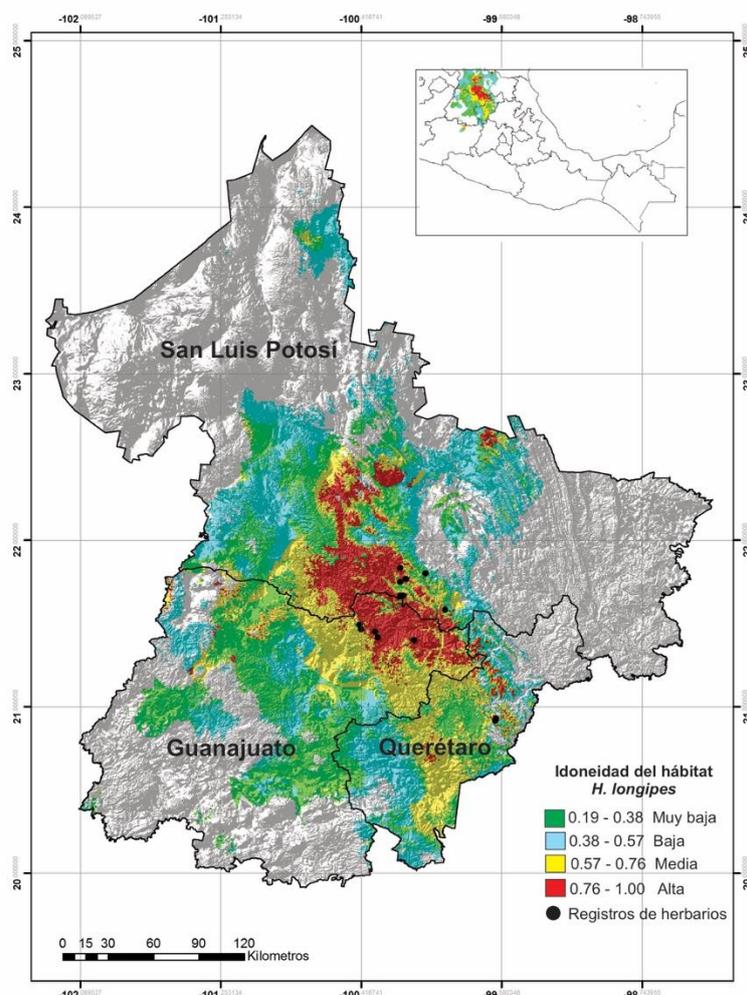


Figura 3. Mapa de Idoneidad del hábitat de *Heliopsis longipes* (Asteraceae: Heliantheae)

Las áreas donde la idoneidad es alta para la especie (0.76 a 1.00), las características ambientales corresponden a la zona ecológica templada subhúmeda; un régimen de humedad del suelo Ustico con 180 a 270 días de humedad; una precipitación de 400 a 600 mm; tipos de suelo feozem háplico, litosol, regosol eutríco; un clima semiárido, semicálido; temperatura media anual mayor de 18°C; temperatura del mes más frío menor de 18°C; temperatura del mes más cálido mayor de 22°C; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. El tipo de vegetación puede ser vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino y bosque de encino-pino.

Las características ambientales registradas en este estudio son similares a las reportadas por (Cilia-López *et al.*, 2014), quienes mencionan que la especie *H. longipes* crece en cañadas pronunciadas con exposición norte, pendientes pronunciadas, bosques de encino y de encino-pino. El clima en esta zona es templado subhúmedo con lluvias en verano.

La temperatura anual promedio es de 18 a 20 °C, y la precipitación anual promedio es de 600 a 800 mm. Sin embargo, esta descripción se realizó mediante un método de sobreposición de mapas temáticos a escala 1:50,000 y 1:250,000.

Características de la Producción y Proceso de Domesticación

La mayoría de los cultivadores son hombres (76%), coincidiendo con datos del Censo Agropecuario (INEGI, 2022). Los cultivos se distribuyen en 19 localidades, con una superficie promedio menor a una hectárea. La mayor superficie reportada es de 85,000 m² y la menor de 1013 m². La reposición de plantas es común (94%), con un promedio de 64 plantas por metro cuadrado. Alrededor del 42% de los productores realizan riegos de auxilio sin un calendario establecido, el 45% realizan control de arvenses de forma manual en promedio tres veces al año, y el 10% realizan o han experimentado con algún tipo de fertilización.

Respecto al aprovechamiento de la especie, el 37% de los productores realiza una cosecha anual, mientras que el 64% restante cosecha cada 3 o 4 años. El 30% destinó la producción a la venta, el 31% a la venta y autoconsumo, el 8% solo al autoconsumo, y el 31% registró pérdidas en el cultivo. Durante un año agrícola, la mayoría de los productores (94%) realizan reposición de plantas en sus cultivos. Sin embargo, el número de plantas que replazan es variable, pero se registró que los agricultores que realizan esta actividad en promedio replazan 64 plantas por metro cuadrado.

Considerando las etapas de domesticación, se observó que el 81% de los agricultores de *H. longipes* se encuentran en la “etapa cinco de domesticación”, donde la especie se cultiva y cosecha utilizando prácticas tradicionales”. En esta etapa, como lo señalan Vodouhè y Dansi (2012), los agricultores conocen rasgos de la biología reproductiva de la especie, se encargan de la multiplicación y el cultivo de la especie en los huertos familiares o parcelas cercanas al hogar y tienen establecidas algunas prácticas de cosecha.

El 11% de los productores se encuentra en la “etapa cuatro de domesticación”, donde se conoce la biología reproductiva de la especie”.

La cual se caracteriza porque los agricultores conocen rasgos generales como fechas de floración y maduración de la especie y comienzan a realizar diversos experimentos (fecha de siembra, densidad de siembra, manejo de plagas y enfermedades (Vodouhè y Dansi, 2012).

En relación con el análisis de conglomerados, se observaron tres grupos de agricultores de *H. longipes*. El grupo I se encuentra en la etapa cinco de domesticación, está conformado por el 48% de los productores y se caracteriza porque la superficie establecida en promedio es de una hectárea, donde a lo largo del año reponen en promedio 776 plantas a una densidad de 62 plantas por m², realizan de 5 a 10 riegos, realizan recorridos constantes en sus cultivos hasta uno diario y cosechan el cultivo cuando finaliza su desarrollo. La reposición la realizan por motivo de venta. El grupo II se encuentra en la etapa cuatro de domesticación, constituye el 11% de los productores y se caracteriza porque la superficie sembrada en promedio es de media hectárea. Durante el año agrícola, reponen en promedio 71 plantas a una densidad de 18 plantas por m². Realizan de 1 a 2 riegos, recorridos mensuales en los cultivos, de 1 a 2 podas anuales, y la reposición la realizan por motivo de venta. El grupo III está conformado por el 41% de los

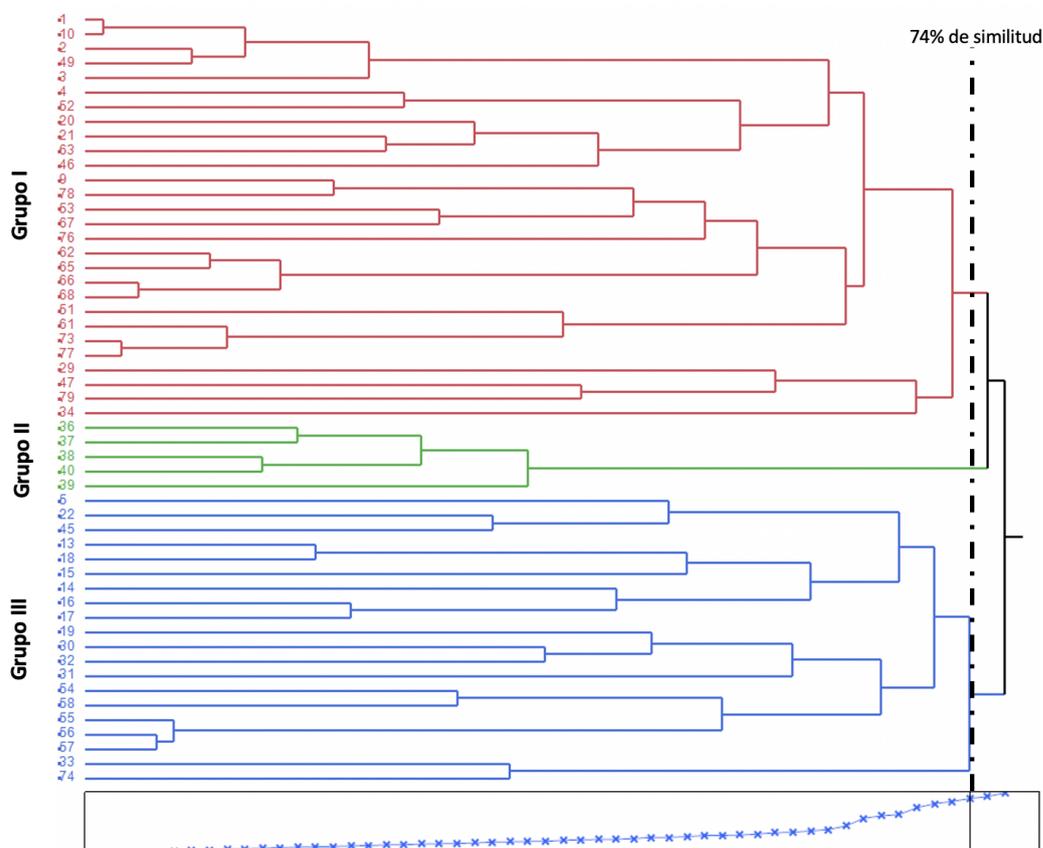


Figura 2. Dendrograma y agrupación de los productores de chilcuague en el municipio de Xichú, Gto., con base a la distancia media seleccionada entre conglomerados.

productores, se encuentran en la etapa cinco de domesticación. La superficie sembrada en promedio es de dos hectáreas, durante el año agrícola reponen en promedio 2572 plantas a una densidad de 59 plantas por m². Realizan como máximo dos riegos durante el ciclo agrícola, recorridos semanales en sus cultivos, raramente realizan control de malezas, se esperan a cosechar cuando el cultivo finaliza su desarrollo, y la reposición la realizan para venta y autoconsumo.

El grupo I y III se encuentran en la etapa cinco de domesticación, pero la diferencia radica en el número de plantas que reponen durante el ciclo agrícola y la densidad de plantas sembradas por m². Se considera que este tipo de manejo puede influir en la fisiología de las plantas a través de la relación planta-suelo. Por ejemplo, en suelos donde se establecen cultivos de arroz por primera vez, ha demostrado tener consecuencias negativas en el rendimiento de las plantas y puede afectar la selección de alelos deseados y la dilución de la variación genética presente dentro del cultivo durante el proceso de domesticación (Edwards *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

La contribución de variables específicas, como estacionalidad de la precipitación, perfil edáfico e isothermalidad, resalta la importancia de factores climáticos y edáficos en la distribución de la especie. Los suelos litosoles, feozem y luvisol se identificaron como propicios para el cultivo de *H. longipes* y la relación entre la estacionalidad de la precipitación y la probabilidad de presencia subraya la necesidad de considerar el riego como un componente clave para el desarrollo óptimo de la especie. Asimismo, la isothermalidad es un indicador esencial para el cultivo exitoso, destacando la importancia de la oscilación térmica en el desarrollo de la especie. El análisis de conglomerados reveló tres grupos distintos de agricultores, con diferentes prácticas de cultivo y niveles de conocimiento sobre la biología reproductiva de la especie. Este conocimiento detallado de las prácticas agrícolas y el proceso de domesticación es crucial para diseñar estrategias de manejo sostenible y conservación de *H. longipes*.

Funding. This research was supported by the Universidad de Guanajuato and the Secretaría de Innovación, Ciencia y Educación Superior del estado de Guanajuato. Project number SICES/CON/091/UG.

Conflict of interests. There is no conflict of interest to declare.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of the work, ethical approval is not required.

Data availability. The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Declaración de contribución del autor (CRediT). **J. Hernandez-Ruiz:** Conceptualization, Investigation, Methodology, writing – original draft. **A.I. Mireles-Arriaga:** Data analysis, writing – review and editing. **J.E. Ruiz-Nieto:** Validation, writing-original draft.

REFERENCES

- Annas, S., Uca, U., Irwan, I., Safei, R.H. and Rais, Z., 2022. Using k-means and self organizing maps in clustering air pollution distribution in Makassar city, Indonesia. *Jambura Journal of Mathematics*, 4(1), pp.167-176. <https://doi.org/10.34312/jjom.v4i1.11883>
- Arévalo-Morocho, C., Jácome-Aguirre, G., Andrade, S., Rosales-Enríquez, O. and Rodríguez-Echeverry, J., 2023. Evaluación del cambio del paisaje boscoso y su impacto en la distribución de *Dipsas elegans* en el norte de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (79), 231. <https://doi.org/10.14198/ingeo.23541>
- Bravo-Torres, D. and Hinojosa-Becerra, M., 2021. Evolución del marketing digital: caso de la marca ecuatoriana forestea. *Universitas*, (35), pp 61-81. <https://doi.org/10.17163/uni.n35.2021.03>
- Brown-Manrique, O., Gallardo Ballat, Y., Correa Santana, A. and Barrios García, S., 2015. El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Ingeniería hidráulica y Ambiental*, 36(1), pp.88–101.
- Castro-Ruiz, J.E., Rojas-Molina, A., Luna-Vázquez, F.J., Rivero-Cruz, F., García-Gasca, T. and Ibarra-Alvarado, C., 2017. Affinin (Spilanthol), Isolated from *Heliopsis longipes*, Induces Vasodilation via Activation of Gasotransmitters and Prostacyclin Signaling Pathways. *International Journal of Molecular Sciences*, [online]

- 18(1), p.218.
<https://doi.org/10.3390/ijms18010218>
- Chávez-Aguilar, G., Pérez-Suárez, M., Gayosso-Barragán, O., López-López, M. Á. and Ángeles-Pérez, G., 2022. El manejo forestal acelera la acumulación de biomasa aérea en un bosque templado del centro de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 29(1), pp.15-33.
- Cilia-López, V., Aguirre-Rivera, J., Espinosa-Reyes, G., Flores-Cano, J., Reyes-Agüero, J. and Juárez-Flores, B., 2014. Distribución de *Heliopsis longipes* (Heliantheae: Asteraceae), un recurso endémico del centro de México. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), pp.47–54.
- Cilia-López, V. G., Cariño-Cortés, R., and Zurita-Salinas, L.R., 2021. Ethnopharmacology of the Asteraceae family in Mexico. *Botanical Sciences*, 99(3), pp.455-486.
<https://doi.org/10.17129/botsci.2715>
- Cilia-López, V.G., Aguirre-Rivera, J.R., Reyes-Agüero, J.A. and Juárez-Flores, B.I., 2008. Etnobotánica de *Heliopsis longipes* (Asteraceae: Heliantheae). *Botanical Sciences*, [online] (83), pp.81–87.
<https://doi.org/10.17129/botsci.1790>
- Conti, L., Iacobelli, S., Sottili, C., and Taiariol, P.L., 2022. Analysis of the Rook (*Corvus frugilegus*) wintering population in the Friuli Venezia Giulia region (Italy) using maximum entropy models. *Rivista Italiana di Ornitologia*, [online] (92), pp.7-20.
<https://doi.org/10.4081/rio.2022.564>
- De la Rosa-Lugo, V., Ramírez-Cisneros, M.Á. and Rios, M.Y., 2016. Total content of affinin from *Heliopsis longipes* extracts by HPLC. *Planta Medica*, [online] (81), pp.S1–S381. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1596295>
- Dieta, V.J. and Fernando Biganzoli, M.M., 2019. Evaluación preliminar del estado de conservación de plantas: comparación de dos métodos aplicados al género *Gavilea* (Orchidaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, [online] 54(3), pp.381–393.
<https://doi.org/10.31055/1851.2372.v54.n3.25362>
- Edwards, J., Santos-Medellín, C., Nguyen, B. T., Kilmer, J., Liechty, Z., Veliz, E., and Sundaresan, V., 2019. Soil domestication by rice cultivation results in plant-soil feedback through shifts in soil microbiota. *Genome Biology*, 20(1).
<https://doi.org/10.1186/s13059-019-1825-x>
- García-Munguía, C., Mireles-Arriaga .A., Isiordia-Lachica, P.C. and Hernandez-Ruiz, J., 2023. Tipificación de los apicultores de Abasolo, Guanajuato: un estudio socio económico. *Abanico Agroforestal*, 5(E).
- González-Adán, M.D.L.Á., Jimenez-Sierra, C.L., Hernández-Cárdenas, R.A., Serrato-Díaz, A., Calderón Contreras, R. and Martínez-Adriano, C.A., 2022. Inventario de las Angiospermas de San Miguel Tolimán, Querétaro, México. *Botanical Sciences*, [online] 100(3), pp.710–728.
<https://doi.org/10.17129/botsci.2948>
- Hernández-Morales, A., Arvizu-Gómez, J.L., Carranza-Álvarez, C., Gómez-Luna, B.E., Alvarado-Sánchez, B., Ramírez-Chávez, E. and Molina-Torres, J., 2015. Larvicidal activity of affinin and its derived amides from *Heliopsis longipes* A. Gray Blake against *Anopheles albimanus* and *Aedes aegypti*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, [online] 18(2), pp.227–231.
<https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.09.004>
- Hernandez-Ruiz, J., Herrera-Cabrera, B.E., Delgado-Alvarado, A., Salazar-Rojas, V.M., Bustamante-Gonzalez, Á., Campos-Contreras, J.E. and Ramírez-Juarez, J., 2016. Potential distribution and geographic characteristics of wild populations of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) Oaxaca, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, [online] 64(1), p.235.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.17854>
- INEGI. 2022. Continuo de elevaciones mexicano 3.0 (CEM 3.0). <https://www.inegi.oralg.mx/app/geo2/elevacionesmex/>. Consultado el 24 de marzo de 2024.

- INEGI. 2023. Censo Agropecuario 2022. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2022>
- Juárez-García, R.A., Sanzón-Gómez, D., Ramírez-Santoyo, L.F., Ruiz-Nieto, J.E., González-Castañeda, J. and Hernández-Ruiz, J., 2021. Áreas geográficas susceptibles a *Fusarium oxysporum* en el cultivo de fresa en Guanajuato, México. *Bioagro*, 33(1), pp.51-58.
- Kumar, R., Sharma, V., Suresh, S., Ramrao, D.P., Veershetty, A., Kumar, S. and Kumar, A., 2021. Understanding omics driven plant improvement and de novo crop domestication: some examples. *Frontiers in Genetics*, [online] (12), pp 1-25. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.637141>
- Luz-Martínez, B. A., Marrero-Morfa, D., Luna-Vázquez, F. J., Rojas-Molina, A. and Ibarra-Alvarado, C., 2024. Affinin, isolated from *Heliopsis longipes*, induces an antihypertensive effect that involves cb1 cannabinoid receptors and trpa1 and trpv1 channel activation. *Planta Medica*, [online] <https://doi.org/10.1055/a-2244-8855>
- Malav, P. K., Pandey, A., Gupta, V., Kumar, A., Bhatt, K.C., Raina, A.P. and Dhaka, R., 2020. The diversity in holy basil (*Ocimum tenuiflorum*) germplasm from India. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90(10), pp.1937-1945. <https://doi.org/10.56093/ijas.v90i10.107909>
- Nolasco-García, L.I., Marín-León, J.L., Mireles-Arriaga, A.I., Ruiz-Nieto, J.E. and Hernández-Ruiz, J., 2023. Áreas geográficas susceptibles al virus rugoso del tomate (ToBRFV) en Guanajuato, México. *Bioagro*, 35(1), pp.13-20.
- Parola-Contreras, I., Guevara-González, R. G., Feregrino-Pérez, A. A., Reynoso-Camacho, R., Pérez-Ramírez, I. F., Rojas-Molina, A. and Tovar-Pérez, E.G., 2020. Phenolic compounds and antioxidant activity of methanolic extracts from leaves and flowers of chilcuague (*Heliopsis longipes*, Asteraceae). *Botanical Sciences*, 99(1), pp.149-160. <https://doi.org/10.17129/botsci.2671>
- Rzedowski, J., 1962. Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México. I. Algunas consideraciones acerca del elemento endémico en la flora mexicana. *Botanical Sciences*, [online] (27), pp.52–65. <https://doi.org/10.17129/botsci.1077>
- SEMARNAT, 2019. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, pp.77–77. (https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019)
- SIG CONABIO 2023. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (Consultado el 24 de marzo de 2024)
- Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire., 2024. Software Maxent software for modeling species niches and distributions (Versión 3.4.1). Disponible en la URL: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ Consultado el 24 de marzo de 2024.
- Tang, X., Yuan, Y., Li, X. and Zhang, J., 2021. Maximum entropy modeling to predict the impact of climate change on pine wilt disease in china. *Frontiers in Plant Science*, [online] 12, p.652500. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.652500>
- Villaseñor J L, 1998. La familia Asteraceae en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 44, pp.117–124.
- Vodouhè, R. and Dansi, A., 2012. The ‘bringing into cultivation’ phase of the plant domestication process and its contributions to in situ conservation of genetic resources in Benin. *The Scientific World Journal*, [online] 2012, p.176939. <https://doi.org/10.1100/2012/176939>