

Áreas potenciales de distribución de *Amaranthus hybridus* en Guanajuato México

Potential areas of distribution of *Amaranthus hybridus* in Guanajuato México

María S. Elizarraraz-Garibaldi¹, Jorge E. Ruiz Nieto², Ana I. Mireles Arriaga², Jesús Hernández-Ruiz^{2*}.

¹Alumna, Licenciatura en Agronegocios, Departamento de Agronomía, DICIVA, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

²Profesores, Departamento de Agronomía, DICIVA, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. * Autor responsable.

Dirección de correo electrónico: hernandez.jesus@ugto.mx

Resumen

Amaranthus hybridus es una planta que se emplea en la gastronomía mexicana, en la medicina tradicional y también se emplea en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue conocer la distribución potencial de *A. hybridus* y determinar las principales variables ambientales que determinan su probabilidad de presencia en el estado de Guanajuato. Para ello se obtuvieron datos de presencia de iNaturalist los cuales se analizaron con el algoritmo de MaxEnt utilizando 21 variables bioclimáticas como predictores. Se determinó que *A. hybridus* posee una amplia distribución potencial cubriendo aproximadamente 69.5% de los municipios del estado. Las variables que determinaron la mayor contribución para la probabilidad de presencia de la especie fueron: Estacionalidad de la temperatura (31.5%), Altitud, (17.4%), régimen de humedad del suelo (9.6%), precipitación del cuatrimestre más frío (9.6%). Estos resultados pueden ser empleados en subsecuentes investigaciones para orientar estrategias de gestión y control de *A. hybridus*.

Palabras clave: probabilidad de presencia, Maxent, quintonil, Amaranthaceae.

Introducción

Amaranthus hybridus, comúnmente conocido como quelite, quintonil o bledo, se considera un pseudocereal y se utiliza en la elaboración de productos alimenticios como harinas, cereales y barras energéticas (Viljoen et al., 2018). En México se emplea en la preparación de diversos platos tradicionales (Slabbert & Krüger, 2014). En el campo de la medicina tradicional, se ha reportado que esta planta posee actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana (Slabbert & Krüger, 2014; Walker, 2006). Los extractos de *A. hybridus* se han utilizado en el tratamiento de diversas afecciones, como trastornos gastrointestinales y enfermedades respiratorias (Balasubramanian & Karthikeyan, 2016).

Además, esta especie es importante en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Dado que, estudios han demostrado que esta planta tiene la capacidad de acumular plomo (Pb) y cadmio (Cd) en sus tejidos, por lo que es una opción para la remediación de suelos contaminados (Covarrubias & Peña-Cabriales, 2017).

En el campo agrícola, *A. hybridus* también se puede utilizar como cultivo de cobertura o abono verde. Su rápido crecimiento y capacidad para competir con otras malezas lo convierten en una opción para mejorar la fertilidad del suelo y controlar el crecimiento de malezas indeseables (Slabbert & Krüger, 2014).

La distribución potencial de *A. hybridus* se considera de importancia dado que, permite comprender su alcance geográfico y su posible expansión en diferentes regiones. Esto es relevante para la gestión de esta especie, ya que puede ayudar a prevenir su propagación no deseada y controlar su presencia en áreas donde pueda convertirse en una maleza problemática (Covarrubias & Peña-Cabriales, 2017). Además, entender su distribución potencial podría proporcionar una pauta para evaluar su papel en la fitorremediación de suelos contaminados (Kimenyu et al., 2009). En el contexto de la seguridad alimentaria y la agricultura, conocer las áreas donde *A. hybridus* puede crecer de manera óptima y su distribución potencial en términos de condiciones climáticas y edáficas puede ayudar a planificar la producción agrícola y garantizar un suministro adecuado de alimentos (Hernández-Herrera et al., 2020). Por el contexto anterior el objetivo del presente trabajo fue determinar las áreas potenciales de distribución potencial de *A. hybridus* en el estado de Guanajuato.



Metodología

Se consideró el territorio de la República Mexicana como escala geográfica (Oeste) -118.365119934082, (Este) -86.7104034423828, (Norte) 32.7186546325684, (Sur) 14.5320978164673. Se elaboró una base de datos para incluir sitios y localidades donde se reporta la presencia de *Amaranthus hybridus* en los estados de Guanajuato, Aguascalientes, Querétaro, San Luis Potosí y Michoacán, México. La información se obtuvo a partir de la revisión de base de datos iNaturalist. Los criterios utilizados para validar los registros en fueron: a) Datos clasificados como “observación de grado de investigación” y b) Información proporcionada por un curador. Para el análisis de distribución potencial y variables ambientales, se utilizó el programa MaxEnt 3.4.1 (Phillips et al., 2019), empleando 21 variables como predictores (Tabla 1), 19 bioclimáticas con resolución espacial de 0.5 min de arco, obtenidas de la base de datos WorldClim (www.worldclim.org). Los datos digitales de elevación (DEM, 90 m de resolución) se obtuvieron de CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org>), mientras que la capa en formato vectorial de régimen de humedad del suelo (Maples-Vermeersch, 1992) se adquirió de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (INEGI, 2013). Estas últimas dos variables se consideraron relevantes dado que se han empleado en la estimación de modelos de distribución potencial en la región de estudio (Juárez-García et al., 2021; Nolasco-García et al., 2023).

Tabla 1. Variables ambientales y bioclimáticas utilizadas para determinar la distribución potencial de *Amaranthus hybridus* en Guanajuato.

Código	Descripción de la variable	Unidad
Bio1	Temperatura promedio anual	°C
Bio2	Variación diurna de la temperatura	°C
Bio3	Isotermalidad	Adimensional
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	Variación 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

Fuente: Elaboración propia



Resultados y discusión

Los resultados muestran que aproximadamente el 69.5% de los municipios del estado de Guanajuato tienen una alta probabilidad de presencia de *A. hybridus* (Figura 1). Esto confirma que esta especie es cosmopolita y de amplia distribución debido a la capacidad de hibridación interespecífica (Gaines et al., 2011), que ha experimentado eventos de domesticación, tiene la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ambientales y hábitats, lo que le permite colonizar una amplia gama de áreas geográficas (Viljoen et al., 2018). Además, la capacidad de *A. hybridus* para acumular metales pesados en suelos contaminados también puede influir en su distribución, ya que puede prosperar en áreas con altos niveles de contaminación (Covarrubias & Peña-Cabriales, 2017).

Como se observa en la Figura 1, las áreas en color rojo en el mapa indican una alta probabilidad de presencia de *A. hybridus*, con una probabilidad que oscila entre el 69% y el 100%. Estas áreas representan las zonas donde es más probable encontrar esta especie. Esto puede deberse a factores como las condiciones climáticas, la disponibilidad de hábitats adecuados y la presencia de sustratos favorables su crecimiento. Las áreas en color naranja indican una probabilidad media de presencia de *A. hybridus*, con una probabilidad que va del 52% al 69%. Estas áreas pueden considerarse como zonas intermedias en términos de la presencia de la especie. Es posible que en estas áreas existan condiciones favorables para su crecimiento, pero no tan óptimas como en las áreas en color rojo. Por otro lado, las áreas en color verde indican una probabilidad nula de presencia de *A. hybridus*. Esto significa que es poco probable encontrar esta especie en estas áreas específicas del estado de Guanajuato. Puede haber varios factores que contribuyan a esta falta de presencia, como condiciones climáticas desfavorables, falta de hábitats adecuados o competencia con otras especies vegetales (Figura 1).

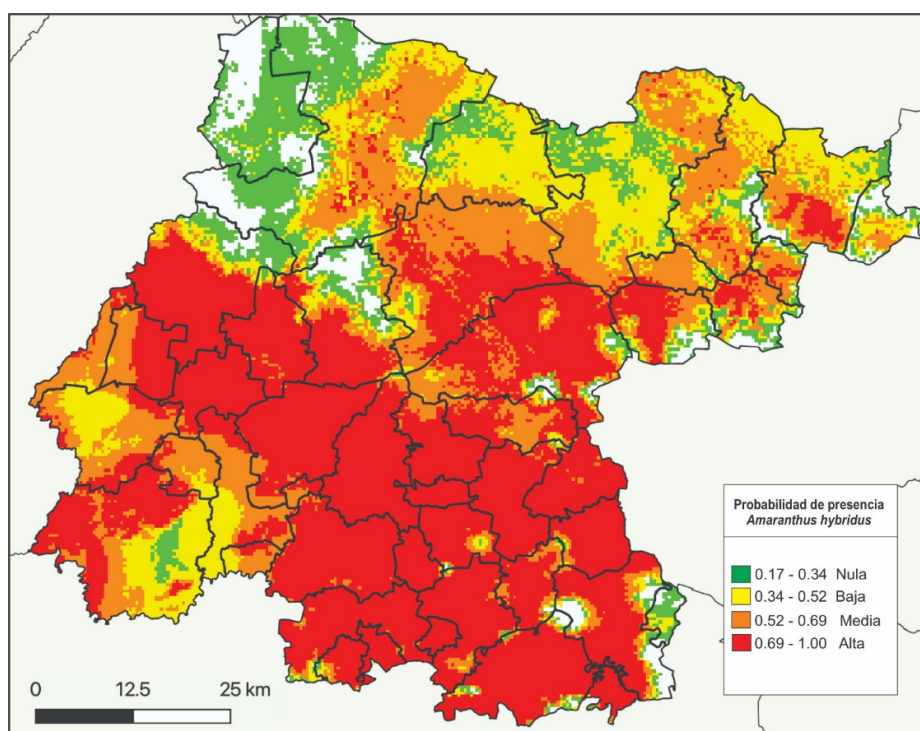


Figura 1. Probabilidad de presencia de *Solanum nigrum* en relación con la variable de estacionalidad de la temperatura (Bio4)).

Fuente: Elaboración propia con datos del programa Maxent

De acuerdo con el análisis de las 21 variables bioclimáticas para la determinación de la distribución de la especie *A. Hybridus*, de las cuales, las siguientes variables tienen mayor contribución porcentual para determinar la probabilidad de presencia; estacionalidad de la temperatura, altitud, humedad, precipitación del cuatrimestre más frío y temperatura mínima promedio del periodo más frío (Tabla 2).



Tabla 2. Contribuciones porcentuales de las principales variables bioclimáticas en el modelo de idoneidad ambiental de *Amaranthus hybridus*.

Variable	Contribución porcentual
Estacionalidad de la temperatura (Bio 4)	31.5
Altitud (Bio 20)	17.4
Régimen de humedad del suelo (bio 21)	9.6
Precipitación del cuatrimestre más frío (Bio 19)	9.6
Temperatura mínima promedio del periodo más frío (Bio 6)	6.5

Fuente: Elaboración propia

La estacionalidad de la temperatura contribuye en un 31.5% al desarrollo de la especie *A. hybridus*. La variación estacional de la temperatura puede tener un impacto significativo en el crecimiento y la distribución de las plantas (Vargas Piedra, 2020).

La altitud es otra variable importante que contribuye en un 17.4% al desarrollo de la especie mencionada. Esta variable puede influir en la distribución de las especies debido a los cambios en las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos a diferentes altitudes (Nieto, 1989).

La humedad también juega un papel relevante en el desarrollo de *A. hybridus*, contribuyendo en un 9.6%. La disponibilidad de agua y la humedad relativa pueden afectar la germinación, el crecimiento y la supervivencia de las plantas (Vargas Piedra, 2020).

La precipitación del cuatrimestre más frío contribuye en un 9.6% al desarrollo de la especie. Esta variable puede ser crucial para la supervivencia de las plantas durante periodos de bajas temperaturas (Castillo Macías, 2018). Por último, la temperatura mínima promedio durante el periodo más frío contribuye en un 6.5% al desarrollo de *A. hybridus*. Las temperaturas mínimas pueden afectar la fisiología de las plantas y su capacidad para sobrevivir en condiciones frías (Kulmatiski et al., 2017).

La especie *A. hybridus* registro una probabilidad de presencia alta (0.9) cuando la estacionalidad de la temperatura se encuentra en un rango de 20 a 30, cuando la estacionalidad de la temperatura está por debajo de 32, la probabilidad de presencia de esta especie es prácticamente nula (Figura 2). Esto implica que las condiciones de temperatura influyen significativamente en la probabilidad de presencia de *Amaranthus Hybridus*. Cuando la temperatura se encuentra dentro del rango óptimo de 20 a 30 °C, la especie tiene una alta probabilidad de estar presente. Sin embargo, cuando la temperatura desciende por debajo de los 32°C, la probabilidad de presencia se reduce drásticamente.

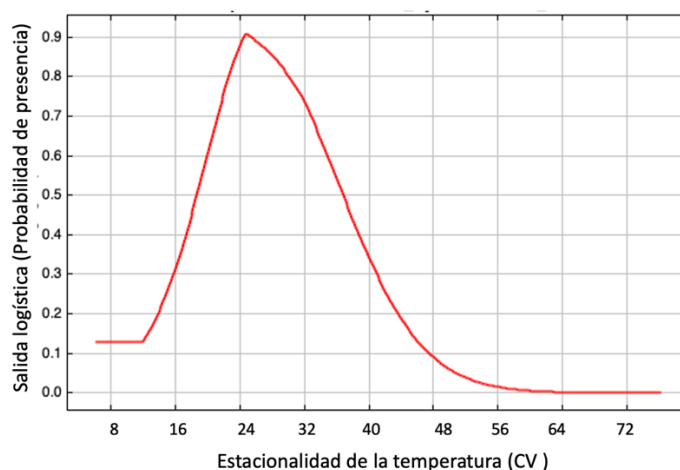


Figura 2. Probabilidad de presencia de *Amaranthus hybridus* en relación con la variable estacionalidad de la temperatura (Bio 4).
 Fuente:Elaboración propia a partir del programa Maxent



En la Figura 3 se indica la probabilidad de presencia de la especie en función de la altitud. Cuando esta variable se encuentran en un rango de 0 a 1000 metros, la especie *A. hybridus* tiene una alta probabilidad de presencia (1.0). Lo que indica que estas altitudes proporcionan las condiciones óptimas para su desarrollo y supervivencia. Sin embargo, a medida que la altitud se eleva y se acerca a los 2000 metros, es posible que las condiciones ambientales cambien de manera significativa. Por ejemplo, la temperatura puede disminuir, los niveles de humedad pueden reducirse y los suelos pueden volverse menos propicios para el crecimiento de la especie. Estos cambios pueden explicar la disminución en la probabilidad de presencia de *A. Hybridus* a medida que la altitud aumenta (Zhang et al., 2010).

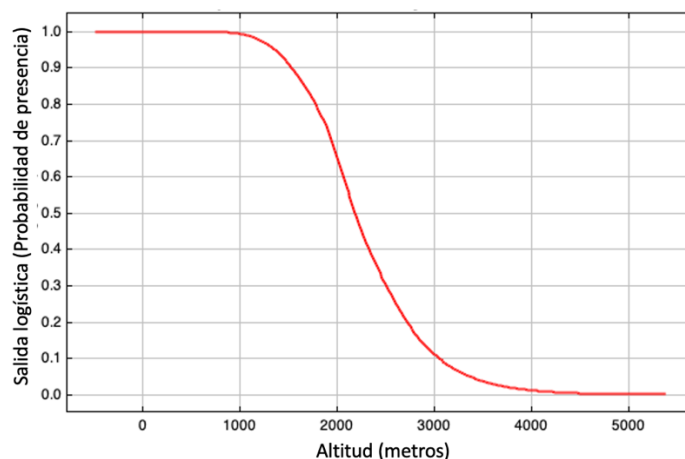


Figura 3. Probabilidad de presencia de *Amaranthus hybridus* en relación con la variable altitud (Bio 20).
Fuente: Elaboración propia a partir del programa Maxent

La especie de *A. hybridus* muestra una alta probabilidad de presencia (0.90) cuando el régimen de humedad se encuentra en un rango de 250 días. Esto implica que, en condiciones en las que la humedad se mantiene constante en este rango de días, es probable que la especie esté presente en el área de estudio. Sin embargo, si el régimen de humedad disminuye por debajo de 250 días, la probabilidad de presencia de la especie también disminuye (Figura 4). Por ejemplo, cuando la humedad se encuentra alrededor de los 100 días, la presencia de la especie es de 0.82, lo que indica una disminución en la probabilidad de presencia en comparación con el escenario de 250 días. Es interesante destacar que, incluso cuando la humedad alcanza 0 días, lo cual podría considerarse una condición de sequedad extrema, la probabilidad de presencia de la especie sigue siendo considerable, siendo de 0.76. Esto sugiere que *A. hybridus* tiene cierta capacidad para adaptarse y persistir en condiciones de baja humedad.

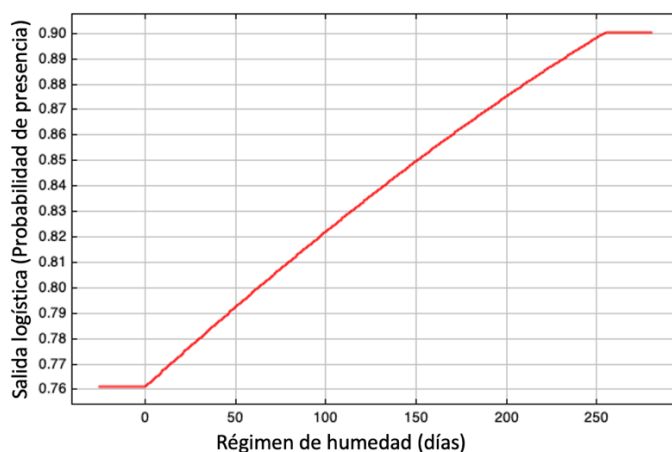


Figura 4. Probabilidad de presencia de *Amaranthus Hybridus* en relación con la variable altitud (Bio 20).
Fuente: Elaboración propia a partir del programa Maxent



Como se muestra en la Figura 5, cuando la precipitación del cuatrimestre más frío se encuentra alrededor de 50 mm, la especie tiene una probabilidad alta de presencia, con un valor de 0.80. Sin embargo, cuando la precipitación está por debajo de 0 mm o por encima de 400 mm, la probabilidad de presencia es nula.

Esto significa que las condiciones óptimas para la presencia de la especie de *A. hybridus* se dan cuando la precipitación durante el cuatrimestre más frío se encuentra alrededor de 50 mm. En estas condiciones, la probabilidad de encontrar esta especie es alta, con una probabilidad de hasta 80%. Sin embargo, si la precipitación es muy baja (por debajo de 0 mm) o muy alta (por encima de 400 mm), la probabilidad de presencia se reduce a cero.

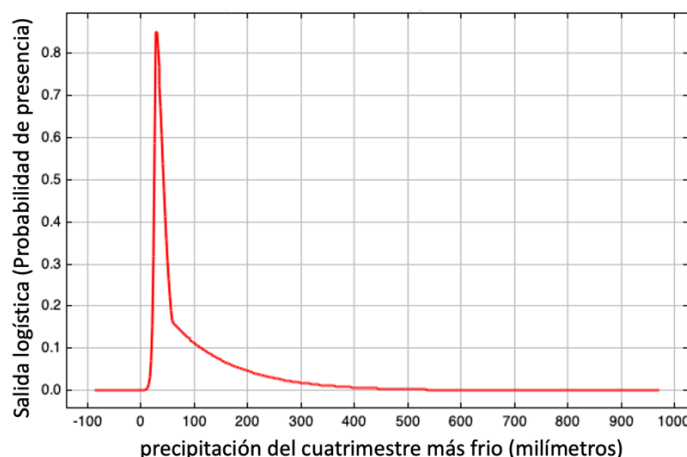


Figura 5. Probabilidad de presencia de *Amaranthus hybridus* en relación con la variable precipitación del cuatrimestre más frío (Bio 19).
Fuente: Elaboración propia a partir del programa Maxent

La especie *A. hybridus* tiene una alta probabilidad de presencia cuando la temperatura mínima promedio del periodo más frío se encuentra en un rango de 13 a 14 °C (Figura 6). Esto sugiere que prefiere condiciones más frescas durante el invierno para su crecimiento y desarrollo óptimos. La temperatura mínima promedio del periodo más frío puede influir en la germinación de las semillas, el crecimiento de las plántulas y la supervivencia de la especie. También se observa que cuando la estacionalidad de la temperatura es menor a 8 °C, la probabilidad de presencia de *A. hybridus* es cero. Esto indica que la especie no puede tolerar temperaturas extremadamente frías o fluctuaciones bruscas de temperatura. La estacionalidad de la temperatura se refiere a la variación de temperatura a lo largo del año y puede afectar el crecimiento y la adaptación de las plantas.

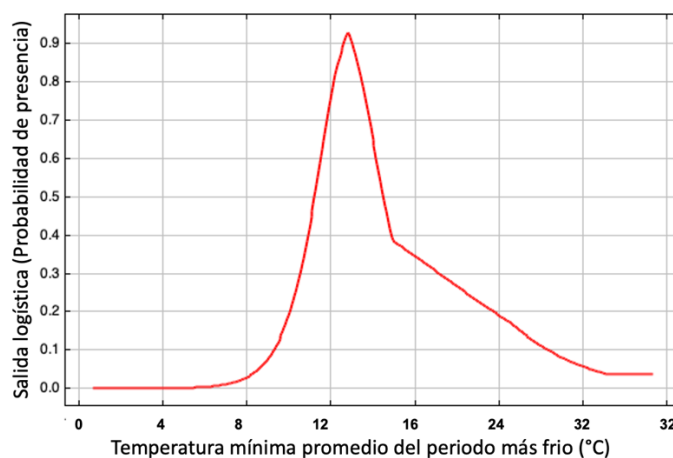


Figura 6. Probabilidad de presencia de *Amaranthus hybridus* en relación con la variable temperatura mínima promedio del periodo más frío (Bio 6).
Fuente: Elaboración propia a partir del programa Maxent



Conclusión

La planta *A. hybridus* tiene una amplia distribución potencial en el estado de Guanajuato, dado que el 69.5% de los municipios tienen una alta probabilidad de presencia de la especie. Las variables con mayor contribución para el desarrollo óptimo de *A. hybridus*, son las siguientes: Estacionalidad de la temperatura (31.5%), Altitud, (17.4%), régimen de humedad del suelo (9.6%), precipitación del cuatrimestre más frío (9.6%), temperatura mínima promedio del periodo más frío (6.5%). Estos resultados pueden ser utilizados para orientar las estrategias de gestión y control de *A. hybridus*, así como para prevenir su propagación a nuevas áreas. Es importante seguir monitoreando y actualizando esta información para tener una comprensión más completa de la distribución de esta especie en el estado de Guanajuato.

Referencias

- Balasubramanian, T., & Karthikeyan, M. (2016). Therapeutic effect of amaranthus hybridus on diabetic nephropathy. *J. Dev. Drugs*, 5, 147.
- Castillo Macías, M. J. (2018). Evaluación de zonas de riesgo a invasión por 10 especies de plantas exóticas en Ecuador continental y su coincidencia con las áreas de distribución de tres especies endémicas (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).
- Covarrubias, S. and Peña-Cabriales, J. (2017). Contaminación Ambiental Por Metales Pesados En México: Problemática Y Estrategias De Fitorremediación. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, esp01(33), 7-21. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.esp01.01>
- Gaines, T., Ward, S., Bukun, B., Preston, C., Leach, J., Westra, P. (2011). Interspecific Hybridization Transfers a Previously Unknown Glyphosate Resistance Mechanism Inamaranthusspecies. *Evolutionary Applications*, 1(5), 29-38. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2011.00204.x>
- Juárez-García, R. A., Sanzón-Gómez, D., Ramírez-Santoyo, L. F., Ruiz-Nieto, J. E., González-Castañeda, J., & Hernández-Ruiz, J. (2021). Áreas geográficas susceptibles a Fusarium oxysporum en el cultivo de fresa en Guanajuato, México. *Bioagro*, 33(1), 51-57.
- Hernández-Herrera, J., Moreno-Reséndez, A., Valenzuela-Núñez, L., Flores-Hernández, A., Montenegro, M. (2020). Distribución Potencial De Euphorbia Antisyphilitica Zucc. En México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 2(19), 1-14. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2021.19.1>
- INEGI (Instituto Nacional De Estadística Y Geografía). 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie V (capa unión)', escala: 1:250000. 2 da ed. Aguascalientes, México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (consultado 2 feb. 2017).
- Kikamba, E. and Kangombe, J. (2022). Growth Performance Of Red Breasted Tilapia (Coptodon Rendalli) Fed Maize Bran and Amaranthus Hybridus Leaves Under Pond Culture. *Mediterranean Aquaculture Journal*, 1(9), 38-45. <https://doi.org/10.21608/maj.2022.135806.1011>
- Kimenyu, P. N., Oyaro, N., Chacha, J. S., & Tsanuo, M. K. (2009). The potential of Commelina bengalensis, Amaranthus hybridus, Zea mays for phytoremediation of heavy metals from contaminated soils.
- Kulmatiski, A., Beard, K. H., Norton, J. M., Heavilin, J. E., Forero, L. E., & Grenzer, J. (2017). Live long and prosper: plant–soil feedback, lifespan, and landscape abundance covary. *Ecology*, 98(12), 3063-3073.
- Maples-Vermeersch, M. (1992). Regímenes de humedad del suelo en hidrogeografía iv.6.2 atlas nacional de México. Vol. II. ESCALA 1:4000000. Ciudad de México, México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nieto, C. (1989). El cultivo de amaranto Amaranthus spp una alternativa agronómica para Ecuador.
- Nolasco-García, L. I., Marín-León, J. L., Mireles-Arriaga, A. I., Ruiz-Nieto, J. E., & Hernández-Ruiz, J. (2023). Áreas geográficas susceptibles al virus rugoso del tomate (ToBRFV) en Guanajuato, México. *Bioagro*, 35(1), 13-20.
- Phillips, S.J., Dudík, M., & Schapire, R.E. (2019). Maxent software for modeling species niches and distributions (version 3.4.1). http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/



- Slabbert, M. and Krüger, G. (2014). Antioxidant Enzyme Activity, Proline Accumulation, Leaf Area and Cell Membrane Stability In Water Stressed Amaranthus Leaves. *South African Journal of Botany*, (95), 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.08.008>
- Vargas Piedra, G. (2020). Ecología e influencia de las variables climáticas que caracterizan la productividad de *Euphorbia antisyphilitica* zucc en el norte de México.
- Viljoen, E., Odeny, D., Coetzee, M., Rees, D. (2018). Application Of Chloroplast Phylogenomics To Resolve Species Relationships Within the Plant Genus *Amaranthus*. *Journal of Molecular Evolution*, 3-4(86), 216-239. <https://doi.org/10.1007/s00239-018-9837-9>
- Walker, A. D. (2006). Microbial Degradation Of Organophosphorus Compounds. *FEMS Microbiology Reviews*, 3(30), 428-471. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2006.00018.x>
- Zhan, B. Hui, Cao, N., Wang, K. Na, & Zhou, X. Ping. (2018). Detection and characterization of an isolate of Tomato mottle mosaic virus infecting tomato in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(5), 1207–1212. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61895-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61895-1)

