



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL EPAZOTE
(Chenopodium ambrosioides:
Chenopodiaceae)
EN AMÉRICA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

MARIELA MÉNDEZ ISIDRO

DIRECTOR DE TESIS: DR. RAFAEL LIRA SAADE





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mis padres Antonia Isidro y Jerónimo Méndez por el apoyo, cariño, pero sobre todo, el esfuerzo y sacrificio que han hecho para que yo pueda estar aquí, por todo lo que tengo y por lo que soy. Gracias por darme lo mejor de ambos. Los amo!!!

A mi Hermana Christian, por ser la persona que siempre me ha inspirado y motivado para seguir adelante, por enseñarme que nada es imposible si se quiere y se esfuerza para obtenerlo. Y mi Hermana Mary, por el apoyo y la confianza que siempre has puesto en mí, porque más que mi hermana has sido como mi mamá. Gracias por todos los buenos y malos momentos, sin ustedes jamás lo hubiera logrado, las quiero muchísimo!!!

A todos mis amigos, en especial a Iety, Jossimar, Mirna, Perla, Michael y Mario, por todos los momentos de risa y enseñanza que hemos compartido juntos en la escuela, prácticas de campo y en la vida. Gracias por su amistad amiguitos, los quiero!!! Sin ustedes la universidad no hubiera sido lo mismo.

A mis amigas de siempre Ariadna, Claudia y Mónica, un gran camino recorrido y una gran amistad que espero dure toda la vida.

Al Dr. Rafael Lira Saade y el Dr. Oswaldo Téllez Valdés, por compartir sus conocimientos y su tiempo durante la realización de este trabajo.

MUCHAS GRACIAS A TODOS!!!!

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT IG201013) gracias al cual tuve la oportunidad de participar en este proyecto.

A los miembros del sinodio por sus observaciones y valiosos comentarios

Dra. Patricia Dávila Arana

Dr. Oswaldo Téllez Valdés

Dr. Rafael Lira Saade

Dr. Daniel Piñero Dalmau

Dra. Hilda Flores Olvera

A Christian Méndez, Leticia Cruz y Michael Rendón por sus aportaciones y críticas al escrito.

Por ultimo a la UNAM y a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por darme las herramientas para necesarias para mi desarrollo profesional, brindarme la oportunidad de lograr mis sueños y ser parte de la máxima casa de estudios.

ÍNDICE

I RESUMEN	5
II INTRODUCCIÓN	6
III ANTECEDENTES	8
IV OBJETIVOS	10
4.1 Objetivo General	10
4.2 Objetivos Particulares	10
V MATERIALES Y MÉTODOS	11
5.1 Obtención de datos y elaboración de base de datos	11
5.2 Obtención de capas climáticas	11
5.3 Modelos de distribución real y potencial	14
VI RESULTADOS	15
6.1 Base de datos	15
6.2 Distribución conocida	18
6.3 Distribución potencial	21
6.4 Variables ambientales	23
VII DISCUSIÓN	24
VIII CONCLUSIONES	27
IX LITERATURA CITADA	28

RESUMEN

El estudio de los patrones de distribución de las poblaciones vegetales se ha convertido en un área de investigación primordial; el modelado bioclimático es una importante herramienta para determinar cuál es el área actual y potencial de una especie. En el presente trabajo se determinó la distribución potencial del Epazote (*Chenopodium ambrosioides*) en América, con el objetivo de detectar zonas potenciales de colecta para incrementar los registros y poder contribuir a la determinación de su centro de origen dentro del proyecto más amplio del que este trabajo forma parte y en el que se determinará la diversidad morfológica y genética de la especie. Para ello se utilizaron 792 registros de los herbarios MO y MEXU, la distribución potencial de la especie fue obtenida mediante el algoritmo MaxEnt, y fue evaluada a partir de los valores obtenidos para el Área bajo la curva (AUC). Los resultados muestran que el Epazote a pesar de ser considerado como una especie cosmopolita, presenta áreas de ausencia en el este de Norteamérica, noreste y suroeste de Sudamérica debido a la falta de registros en estas zonas, sin embargo, fue posible modelar satisfactoriamente su distribución, así como detectar varias áreas de potencial importancia para su exploración. Los modelos bioclimáticos representan una herramienta de gran utilidad en el estudio de la biodiversidad

Palabras clave: Modelos bioclimáticos, distribución potencial, Epazote, MaxEnt

INTRODUCCIÓN

El conocimiento sobre los patrones de distribución de las poblaciones vegetales sobre todo en el caso de plantas nativas mexicanas es bastante reducido (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004). Así, se han realizado escasos esfuerzos para hacer representaciones de estas, la mayoría basados en la riqueza regional y local como resultado de estudios florísticos (Skov, 2000). Además, muy pocos estudios han reportado el área total que una especie ocupa y esto hace que el conocimiento sea incompleto o fragmentario (Peterson *et al.*, 1999). Por esta razón, una tarea de gran interés en la biología vegetal es cubrir estos espacios de conocimiento, que no solo determinen la presencia y ausencia de las especies en un ecosistema, sino que también contribuyan a su conocimiento biogeográfico, ecológico, taxonómico y de conservación (Anderson *et al.*, 2003).

El conocimiento sobre algunos grupos vegetales es prioritario, sobre todo en el caso de las especies endémicas, así como de aquellas de importancia ecológica, cultural y/o económica como son el amaranto, maíz, agave, frijol, chile, cacao, aguacate y algunas plantas de uso medicinal (Paredes y Valverde, 2006). En su mayoría las investigaciones han estado enfocadas a especies endémicas, amenazadas o de distribución restringida (Méndez-Larios *et al.*, 2004; Lira *et al.*, 2009; Londoño – Murcia y Sánchez-Cordero, 2011; Téllez-Valdés *et al.*, 2006). Sin embargo existen otras para las que, no obstante su importancia en diversos ámbitos, se conoce poco. Este es el caso del Epazote, *Chenopodium ambrosioides*: Chenopodiaceae, especie de amplia distribución en América, utilizada de manera tradicional por las poblaciones nativas desde la época prehispánica hasta la actualidad en toda América Latina y el

Caribe y a la cual algunos autores (Clemants y Mosyakin, 2003; Fuentes-Bazan et al., 2012) la ubican en el género *Dysphania* por la presencia de tricomas glandulares que tienen importancia filogenética para separar las especies aromáticas de *Chenopodium*. No obstante tratarse de una especie que se sabe que tiene tan amplia distribución en el continente Americano, a la fecha no se conoce cuál es su centro de origen ni de manera precisa su área de distribución total y potencial (Lozoya y Lozoya, 1982).

Recientemente, diversos autores han propuesto que la comprensión del nicho ecológico proporciona elementos clave para explicar los patrones de distribución, basándose en las condiciones ambientales específicas en las que dicha especie se desarrolla ((Anderson *et al.*, 2003); para lo cual el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) han sido un punto clave en su desarrollo. Los métodos empleados para modelar esta distribución han sido diversos, un ejemplo de ello es el modelado del nicho ecológico, también conocido como modelado bioclimático (Martínez-Meyer, 2005), el cual es un método predictivo que ayuda a determinar donde se encuentran replicadas las condiciones ambientales más adecuadas para que la especie prospere en función de parámetros obtenidos de recolectas previas, atributos climáticos, topográficos y ecológicos (Villaseñor y Téllez -Valdés, 2004; Moreno *et al.*, 2011). Para implementar este método las colecciones científicas constituyen una herramienta fundamental, ya que en ellas se tienen los datos básicos indispensables para conocer la riqueza biológica en una región determinada, por ende constituyen la base de los estudios de diversidad biológica (Hernández *et al.*, 2001; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001).

ANTECEDENTES

Entre los estudios que se han realizado sobre la distribución de la flora en México podemos destacar el estudio realizado por Villaseñor y Téllez-Valdés (2004), en el cual determinaron la distribución potencial de cuatro especies mexicanas del género *Jefea* (Asteraceae) mediante el uso de modelado bioclimático, a partir de registros de herbario, sugiriendo que las especies se extienden en 26 regiones terrestres prioritarias de México. López-Soto (2005), modeló la distribución geográfica y potencial de 25 especies de *Phaseolus* en la República Mexicana y encontró que el género se encuentra en 26 climas de 28 que presenta dicha República y 5 especies encuentran terreno propicio para su desarrollo potencial. Téllez *et al.*, (2004), generaron la distribución potencial para cuatro especies de *Pinus* con valor económico para México, encontrando que los modelos reflejan bien la ubicación de los taxa, así como la importancia de las variables climáticas que son determinantes para un buen manejo y aprovechamiento de las especies económicamente importantes. Por su parte Arzate-García (2009), estudió la distribución de cinco especies de agaves de la barranca de Metztitlán, Hidalgo y su relación con algunos parámetros ambientales, demostrando que las especies estudiadas se distribuyen preferentemente en la vegetación crasicaule, siendo la elevación y el tipo de suelo los parámetros que mayormente contribuyen a la distribución de las cinco especies. Contreras-Medina *et al.*, (2010), a partir de registros de herbario obtuvieron la distribución potencial de *Taxus globosa* en relación a la Áreas Naturales Protegidas (ANPs), señalando que la especie está mal representada en las ANPs pues menos del 10% de su área potencial se encuentra dentro de ellas y que es necesario

conservar los parches de bosques templados mexicanos donde se encuentra la especie. Leal-Nares *et al.*, (2012), realizó un modelo de distribución potencial de *Pinus martinezii* en la cuenca del lago de Cuitzeo, indicando que la especie se distribuye principalmente en dos zonas de la cuenca y algunas regiones aisladas donde no se han registrado poblaciones.

Asimismo Garfias *et al.*, (2013), determinaron la distribución potencial de bosque nativo correspondiente al tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe en la zona centro-sur de Chile, utilizando el modelo de distribución potencial de máxima entropía (MaxEnt) e identificando así importantes regiones con potencialidad como lo son Araucanía y Los Ríos, siendo la primera la que presenta mejores condiciones geográficas y ambientales para el crecimiento y desarrollo de estas especies.

Por otro lado los estudios existentes de *Chenopodium ambrosioides* han estado enfocados a la cultura alimentaria (Carbajal, 2008; Puente *et al.*, 2010) y su uso en la medicina tradicional, principalmente por su actividad farmacológica (Gómez, 2008; Jaramillo *et al.*, 2012) y un reciente estudio, demostró la presencia de variaciones morfológicas y genéticas asociadas al manejo tradicional, sugiriendo la existencia de un proceso de domesticación en la región de Santa María Tecomavaca, Oaxaca (Blanckaert *et al.*, 2012).

OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Modelar la distribución actual y potencial del Epazote en América.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

*Determinar las variables climáticas que tienen mayor efecto en la distribución de *Chenopodium ambrosioides*

*Determinar las zonas potenciales de colecta para incrementar los registros de herbario

*Contribuir a la determinación del posible centro de origen de *Chenopodium ambrosioides*

MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 OBTENCIÓN DE DATOS Y ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS

Los datos para modelar la distribución potencial de *Chenopodium ambrosioides* fueron obtenidos del Herbario del Jardín Botánico de Missouri (MO) de manera electrónica (<http://www.tropicos.org>) y del Herbario Nacional de México, Instituto de Biología, UNAM (MEXU) por medio de fotografías, obtenidas directamente de la colección. Se procuró que la mayoría de los registros tuvieran coordenadas geográficas (latitud y longitud) no obstante, un número significativo (116 registros) no presentaron coordenadas por lo que tuvieron que ser generadas a partir de la localidad con ayuda del Google Earth y transformadas a grados decimales ya que así lo requiere el algoritmo MaxEnt para generar el modelo. Una vez integrados todos los datos se realizó una revisión minuciosa para descartar la existencia de registros repetidos así como de aquellos provenientes de mercados y huertos familiares con la finalidad de realizar un buen análisis.

5.2 OBTENCIÓN DE CAPAS CLIMÁTICAS

Las superficies climáticas fueron, generadas mediante el algoritmo denominado “*thin plate smoothing spline*” del paquete ANUSPLIN (Hutchinson, 1998), que incluye valores mensuales promedio de precipitación y temperatura representadas para un periodo de 50 años; de las cuales se obtuvieron 19 parámetros bioclimáticos que se encuentran disponibles en WorldClim (Global Climate Data, 2014), la información sobre los métodos se describen con mayor detalle en Hijmans *et al.*, 2005.

Las variables climáticas (Cuadro 1.) fueron representadas con el promedio mensual de las temperaturas mínimas y máximas, así como los valores de precipitación, se transformaron a formato *Raster* con extensión ASCII, el cual es requerido por el algoritmo MaxEnt con un tamaño de celda de 1km² de resolución aproximadamente. Posteriormente las superficies climáticas fueron ajustadas para todo el continente Americano, así como para Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica mediante un Script disponible en la página oficial de ESRI (<http://www.esri.com>).

VARIABLES CLIMÁTICAS (Hijmans <i>et al.</i>, 2005)
1. Temperatura promedio anual
2. Oscilación diurna de la temperatura
3. Isotermalidad
4. Estacionalidad de la temperatura
5. Temperatura máxima promedio del periodo más cálido
6. Temperatura mínima promedio del periodo más frío
7. Oscilación anual de la temperatura
8. Temperatura promedio del trimestre más lluvioso
9. Temperatura promedio del trimestre más seco
10. Temperatura promedio del trimestre más cálido
11. Temperatura promedio del trimestre más frío
12. Precipitación anual
13. Precipitación del periodo más lluvioso
14. Precipitación del periodo más seco
15. Estacionalidad de la precipitación
16. Precipitación del trimestre más lluvioso
17. Precipitación del trimestre más seco
18. Precipitación del trimestre más cálido
19. Precipitación del trimestre más frío

Cuadro1. Variables climáticas utilizadas para la generación de modelos de distribución potencial de *Chenopodium ambrosioides*, tomadas de WorldClim (Global Climate Data)

5.3 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN REAL Y POTENCIAL

Se hizo una regionalización del continente Americano (Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica) para poder modelar más claramente la distribución de la especie¹.

Los mapas de distribución real de *Chenopodium ambrosioides* se elaboraron con ayuda del programa ArcView 3.2 (ESRI, 2002).

La estimación de la distribución potencial se hizo a través del algoritmo MaxEnt 3.3.3a (Maximum Entropy, Phillips *et al.*, 2006), que tiene como objetivo establecer predicciones o inferencias a partir de la información incompleta, basándose en datos de presencia conocida (puntos) y pseudo ausencias (lugares donde no existen datos puntuales), combinados con la información climática. Este modelo se centra en ajustar la probabilidad de ocurrencia de las especies a partir de una distribución uniforme hasta llegar a una de máxima entropía. El algoritmo genera un perfil ambiental para la especie, muestra aquellas áreas donde se encuentra este perfil y supone que en ellas existen condiciones habitables para las especie. La finalidad de los modelos generados es predecir la idoneidad del medio ambiente para la especie, en función de las variables ambientales dadas (Phillips *et al.*, 2006).

Se generaron modelos de esta especie para América, Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica. Se empleó el 70% de registros para la formación de los modelos y el 30% restante como datos de prueba, para evitar el sesgo en la elaboración de los modelos por la selección de puntos de entrenamiento y los de prueba.

¹ Para la regionalización del continente, se consideró a México parte de Centroamérica (Hall, 1985), puesto que 274 de los 344 registros que existen para México se encuentran en esta región del continente y así evitar problemas al momento de realizar los modelos.

Asimismo, se realizaron 20 réplicas para cada modelo, de esta manera se realizaron particiones aleatorias de los datos en cada replicación, con el fin de ir ajustando el modelo (Phillips, 2010).

Los resultados de salida de los modelos fueron en formato logístico que permite interpretar la distribución modelada, en términos de probabilidad de ocurrencia de la especie (va de cero a uno) y que se encuentra en función de las limitaciones impuestas por el ambiente (Phillips y Dudik, 2008). La evaluación de cada modelo se realizó mediante el valor del área bajo la curva (AUC, Area Under the Curve) que es generada mediante la técnica ROC (Receiver Operating Characteristic) que aplica el mismo algoritmo, considerando que 0.5 no es mejor que el esperado aleatoriamente y 1.0 es mejor que el esperado por el azar (Swets, 1998).

A partir de estos modelos y mediante la prueba “Jackknife”, se realizó un análisis de las variables climáticas dominantes en la distribución, que contribuyen en un 80% a la generación del modelo (Phillips *et al.*, 2006). Posteriormente se realizaron nuevos modelos de distribución potencial utilizando solo estas variables climáticas. Los mapas resultantes fueron exportados a ArcView 3.1. en formato *Raster* con extensión ASCII para ser editado.

RESULTADOS

6.1 BASE DE DATOS

Se obtuvieron 342 registros del Herbario Nacional de México (MEXU) y 451 de Herbario del Jardín Botánico de Missouri (MO).

Por tanto en total se tuvieron disponibles 792 registros (Fig.1), de los cuales 104 corresponden a Norteamérica, 458 a Centroamérica y 230 a Sudamérica (Fig.2). Los países con mayor número de registros fueron México, Estados Unidos y Ecuador (Fig.3).

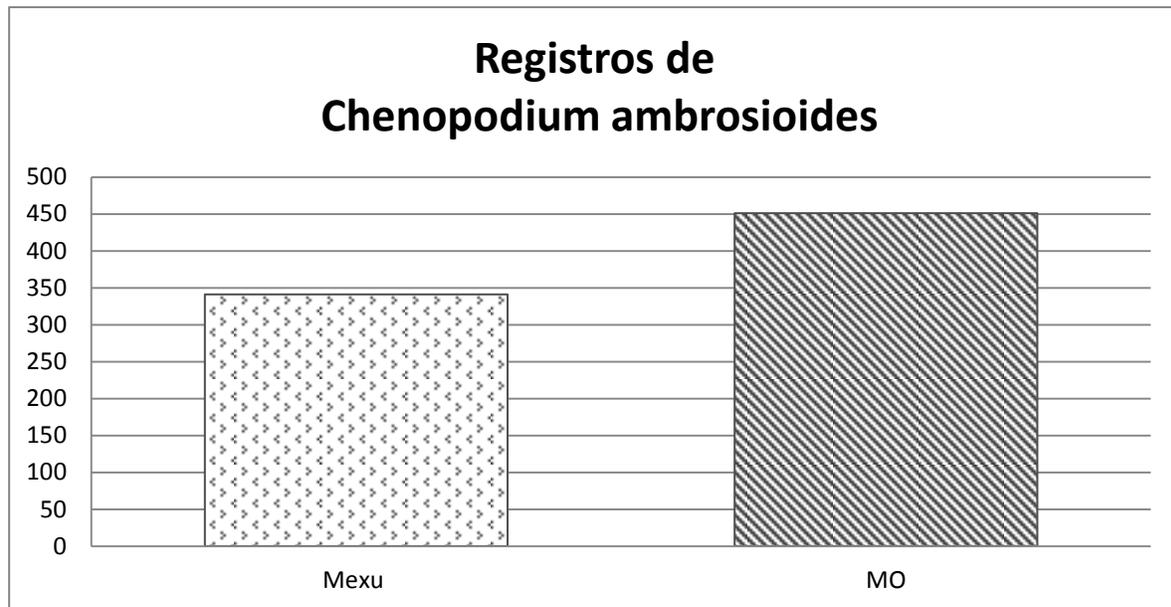


Fig.1 Total de registros de *Chenopodium ambrosioides*, divididos en los herbarios MEXU y MO

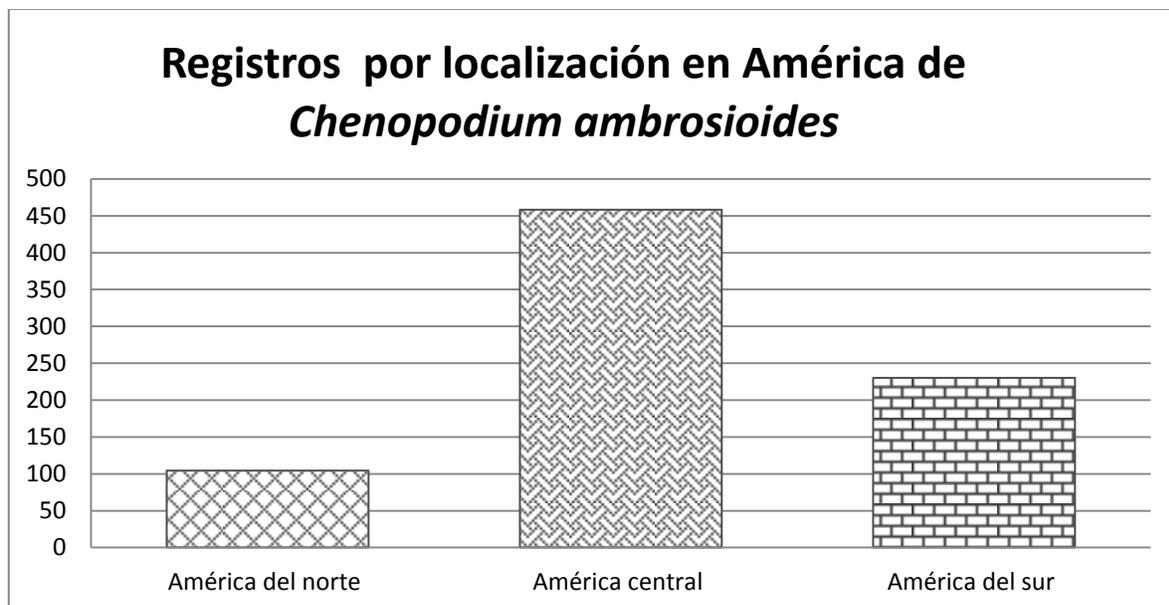


Fig.2 Número de registros de *Chenopodium ambrosioides* en Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica

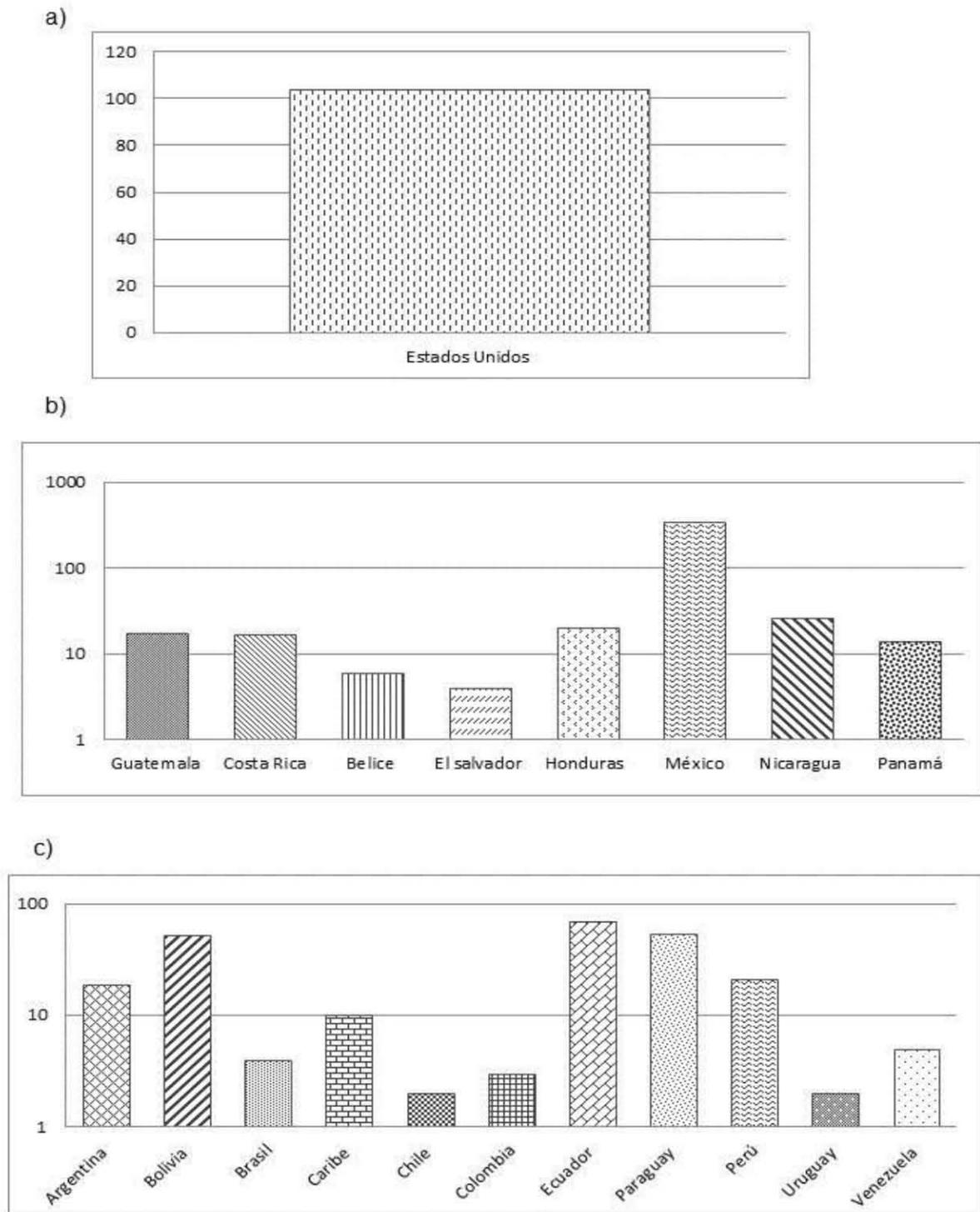


Fig. 3 Registros de *Chenopodium ambrosioides* por países a) Norteamérica, b) Centroamérica y c) Sudamérica

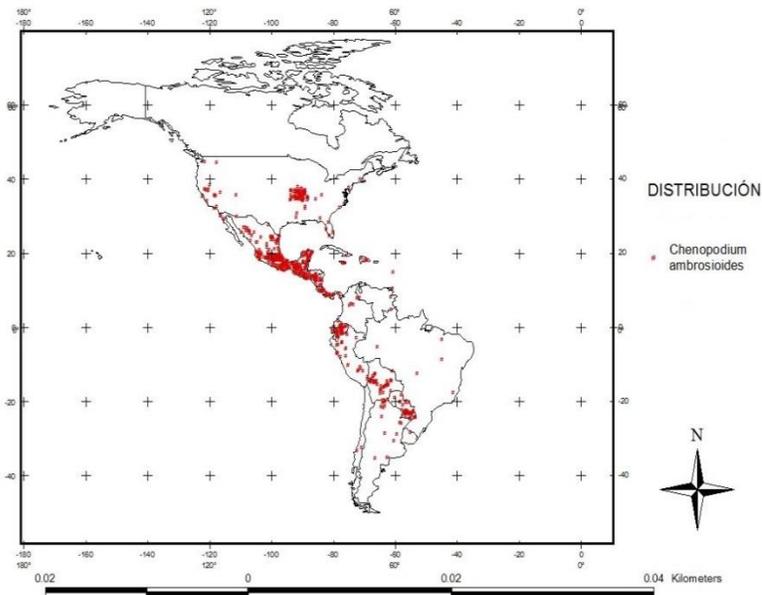
6.2 DISTRIBUCIÓN CONOCIDA

Se mapeó la distribución conocida de *Chenopodium ambrosioides* en todo el continente, así como para Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica (Fig.4). Se puede observar que existen zonas aglomeradas, como sucede para la parte centro de Centroamérica, principalmente en México y este de Norteamérica) y zonas pobremente representadas, como en el sur y noreste de Sudamérica), aunque está presente en 11 de los 13 países que conforman Sudamérica (Fig.7). Las ausencias de la especie en algunas partes del continente son resultado de la falta de colectas en estos puntos, sin embargo, se puede inferir que, *Chenopodium ambrosioides* se extiende por toda América.

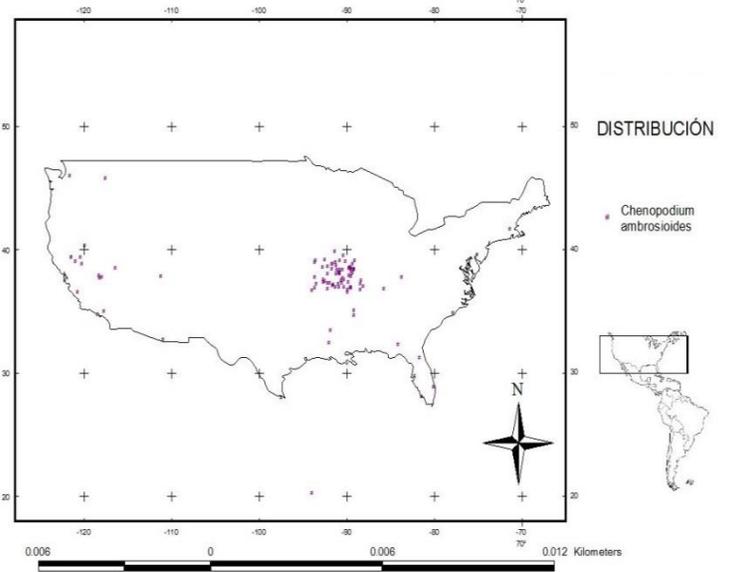
Distribución potencial del Epazote en América

Méndez. J. M.

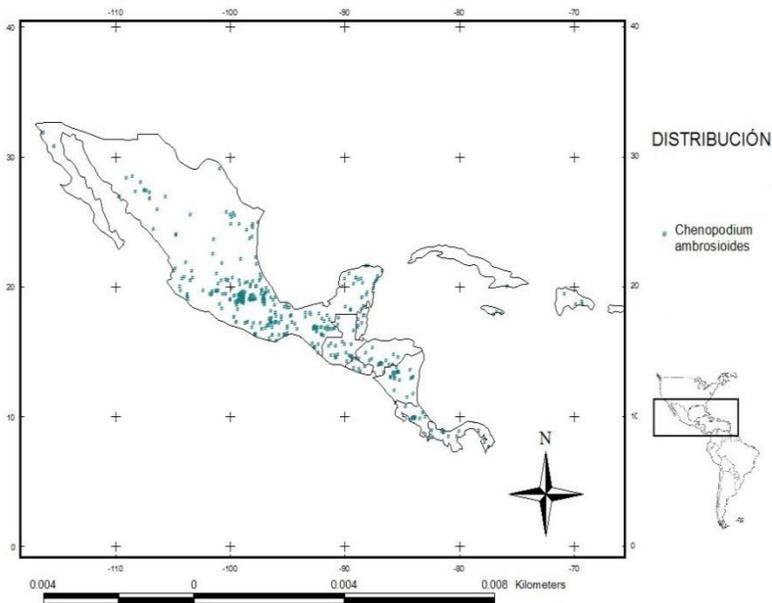
a)



b)



c)



d)

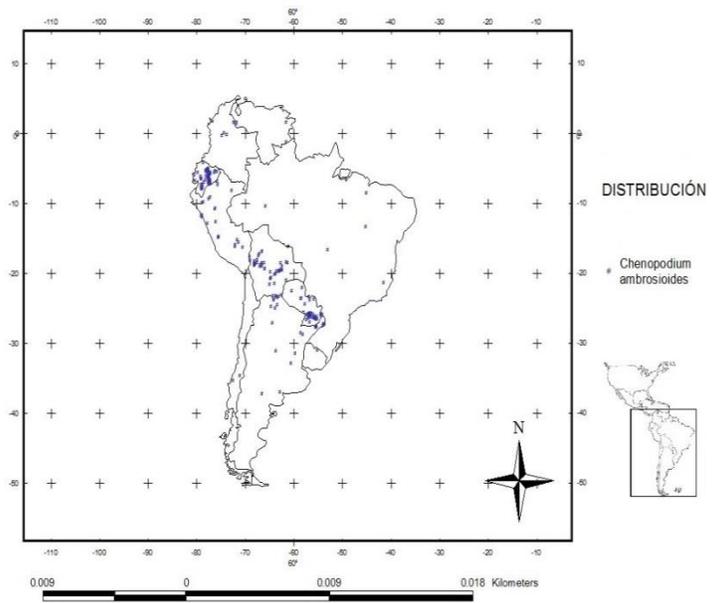
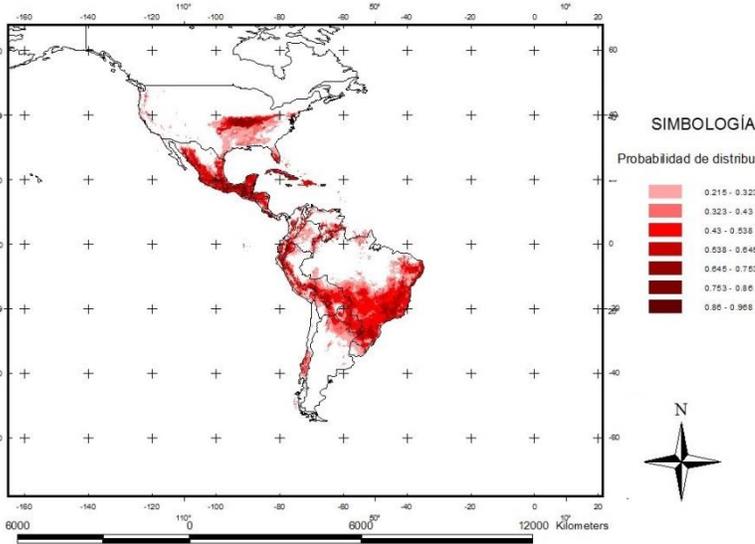


Fig. 5 Distribución conocida de *Chenopodium ambrosioides* en a) América, b) Norteamérica, c) Centroamérica y d) Sudamérica

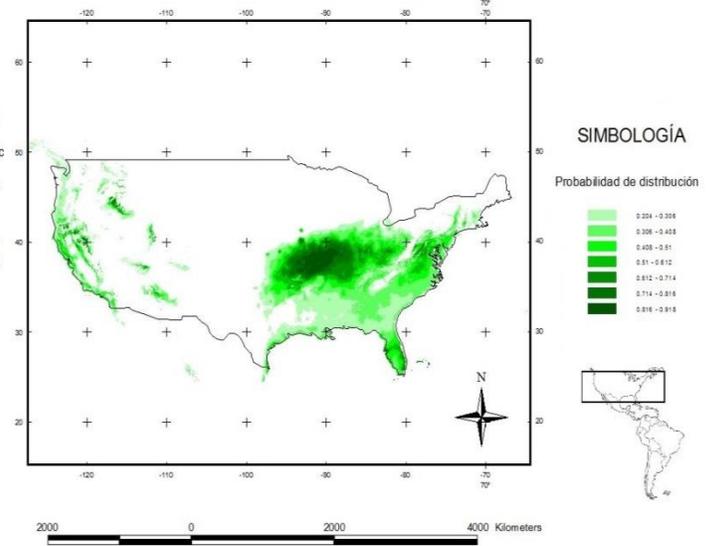
Distribución potencial del Epazote en América

Méndez. J. M.

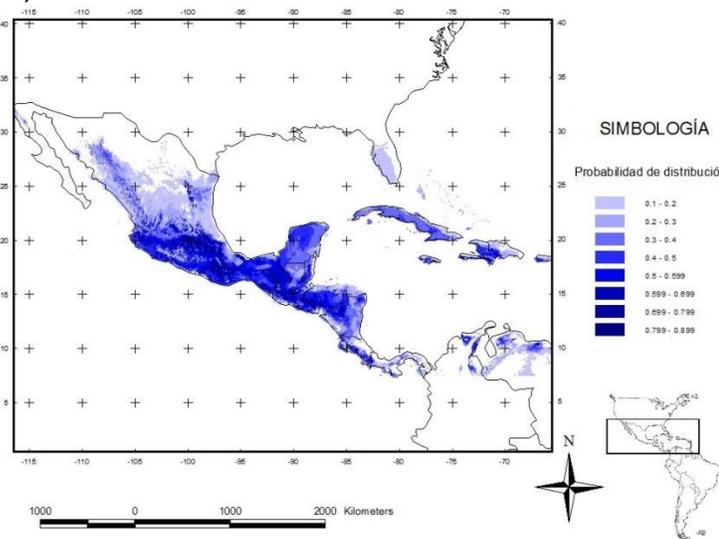
a)



b)



c)



d)

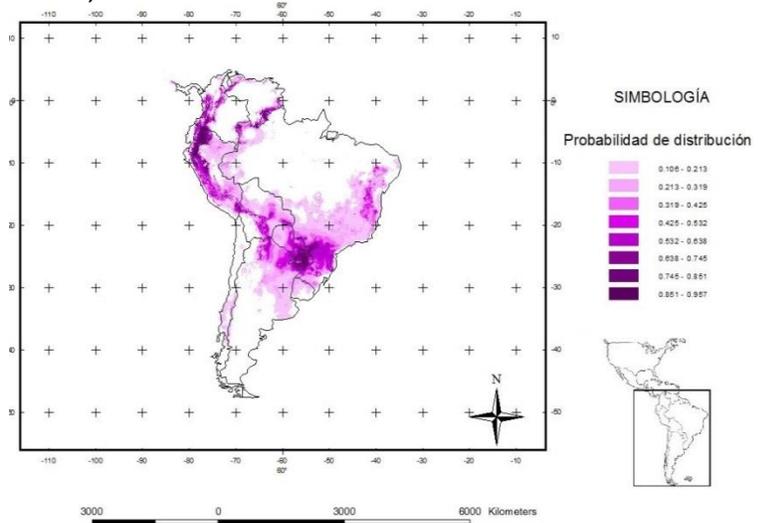


Fig. 6 Distribución potencial de *Chenopodium ambrosioides* en a) América, b) Norteamérica, c) Centroamérica y d) Sudamérica, el tono más fuerte indica una alta probabilidad de condiciones adecuadas y los más tenues una menor probabilidad de condiciones adecuadas para la especie.

6.3 DISTRIBUCIÓN POTENCIAL

Los mapas de distribución potencial generados por el logaritmo MaxEnt fueron evaluados a partir del estadístico AUC (Area Under Curve). El valor de AUC del modelo de América fue de 0.903; para Norteamérica de 0.969, Centroamérica 0.910 y para Sudamérica de 0.934, lo que indica que los modelos realizados son mejores que aquellos realizados al azar, por lo que la predicción tiene un alto nivel de precisión en aquellas áreas donde la especie se encuentra y en las que la especie está ausente. Se puede observar que *Chenopodium ambrosioides* presenta amplias áreas de distribución potencial, en zonas donde aún no ha sido muestreada especialmente en Centroamérica y Norteamérica (Fig.5)

Cuadro 2. Valores porcentuales de las variables ambientales para *Chenopodium ambrosioides*

Variable climática	Porcentaje de contribución para América	Porcentaje de contribución para Norteamérica	Porcentaje de contribución para Centroamérica	Porcentaje de contribución para Sudamérica
1. Temperatura promedio anual	8	3.2	0	9.2
2. Oscilación diurna de la temperatura	0	0	0	7.2
3. Isotermalidad	11.1	0	0	16.2
4. Estacionalidad de la temperatura	11	0	55.2	0
5. Temperatura máxima promedio del periodo más cálido	0	10.3	8.4	0
6. Temperatura media promedio del periodo más frío	6.5	0	4.5	0
7. Oscilación anual de la temperatura	0	6.5	0	0

Cuadro 2. Continuación

8. Temperatura promedio del trimestre más lluvioso	10.1	0	0	0
9. Temperatura promedio del trimestre más seco	0	2.9	0	0
10. Temperatura promedio del trimestre más cálido	4.8	0	10.8	0
11. Temperatura promedio del trimestre más frío	26.9	45.4	5.6	17.7
12. Precipitación anual	0	6.4	9	0
13. Precipitación del periodo más lluvioso	21.6	0	0	0
14. Precipitación del periodo más seco	0	0	0	0
15. Estacionalidad de la precipitación	0	0	6.6	17.6
16. Precipitación del trimestre más lluvioso	0	0	0	10
17. Precipitación del trimestre más seco	0	0	0	8
18. Precipitación del trimestre más cálido	0	0	0	14.1
19. Precipitación del trimestre más frío	0	25.3	0	0

6.4 VARIABLES AMBIENTALES

El análisis “Jackknife” realizado por el algoritmo MaxEnt muestra la contribución de los parámetros climáticos a la distribución del Epazote; las variables que aparecen con mayor frecuencia y por tanto son las que más influyen en su distribución son: la temperatura promedio del trimestre más frío, precipitación del periodo más lluvioso, Isotermalidad, estacionalidad de la temperatura, temperatura promedio anual y temperatura media promedio del periodo más frío (cuadro 2. y Fig. 7).

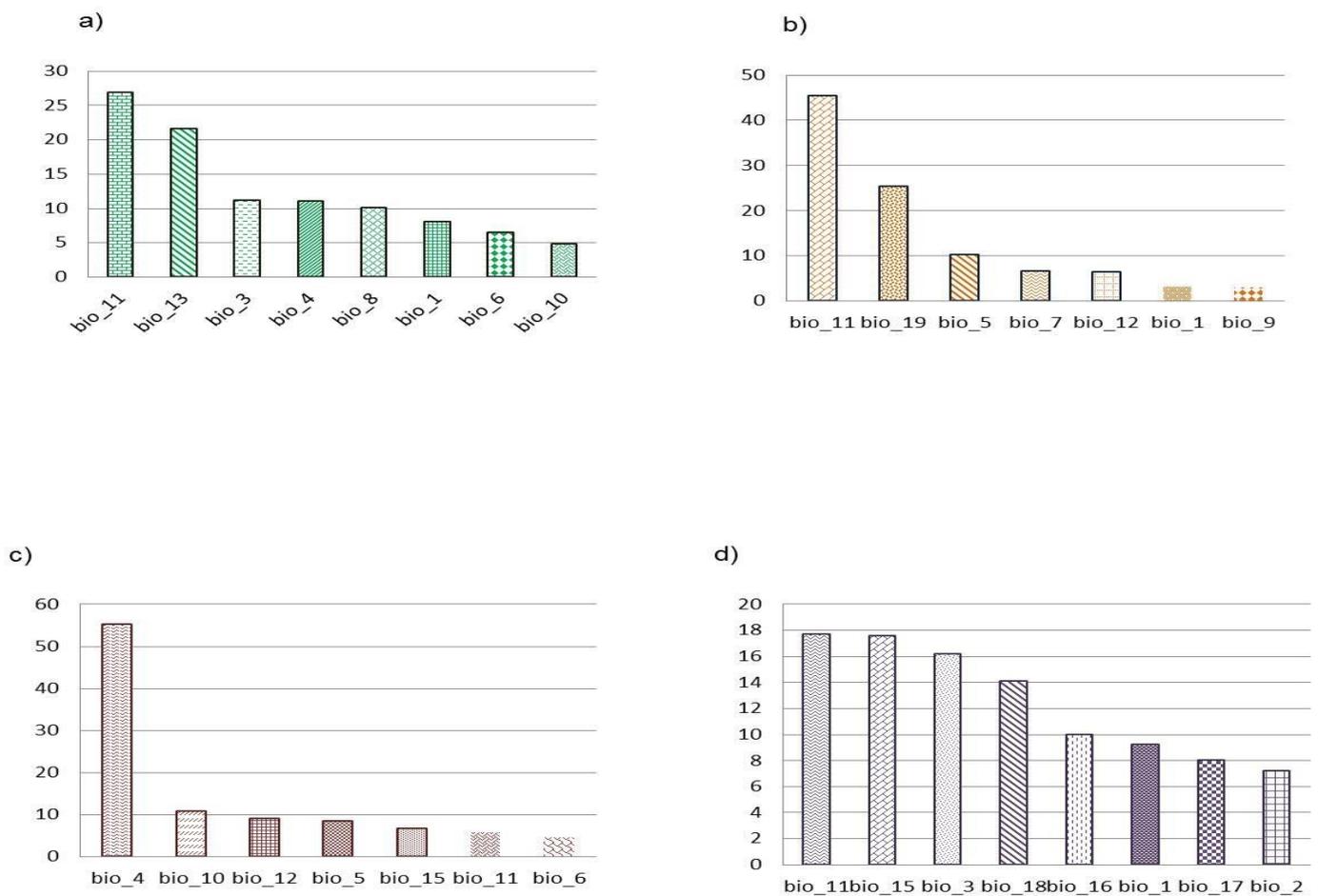


Fig. 7 Variables ambientales que determinan la distribución de *Chenopodium ambrosioides* en a) América, b) Norteamérica , c) Centroamérica y d) Sudamérica

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la distribución de *Chenopodium ambrosioides* se extiende desde el norte hasta el sur de América, con una mejor representación en la parte centro del continente, debido a que más del 50% de los registros se encuentran en esta zona. Los mapas obtenidos señalan que países como Belice, El Salvador, Costa Rica, Guatemala, Brasil y el Caribe, no cuentan con gran número de registros (Fig.6), presentan zonas potenciales donde puede encontrarse la especie. En México los estados de Guerrero, Campeche, Aguascalientes, parte del Altiplano y de la Sierra Madre Occidental presentan la misma condición.

La especie se extiende sobre todo en las regiones templadas, tropicales y cálidas, tal como algunos autores lo han sugerido (Gómez, 2008; León, 2005 y Simón, 1996). El análisis de las variables climáticas arrojó que la temperatura promedio del trimestre más frío, la precipitación del periodo más lluvioso, la isothermalidad y la estacionalidad de la temperatura son las variables climáticas que mayormente influyen en la distribución de la especie, pero no hay reportes que lo sustenten y habría que verificar en campo si bajo estas condiciones se desarrolla la misma. Sin embargo la FAO (2011) sugiere que la propagación del género *Chenopodium* se debe a su gran adaptabilidad a diversas temperaturas, tolerancia al frío y bajos porcentajes de humedad, lo que permite que las especies de este género colonicen diversos ambientes. Podría suponerse que estas condiciones influyan en la distribución de *Chenopodium ambrosioides*, ya que crece como una planta pionera asociada principalmente a cultivos, caminos y huertos familiares, sobre todo por su fácil propagación y adaptabilidad a condiciones extremas (Villaseñor y Espinosa-García,

1998; Puente *et al.*, 2010) por lo cual ha sido señalada como una especie cosmopolita (Simon, 1996).

No obstante, los mapas resultantes indican que la distribución de la especie no es uniforme puesto que presenta áreas de ausencia en el este de Norteamérica, Norte de México, noreste y suroeste de Sudamérica, lo que hace que el conocimiento sobre el área total que ocupa la especie sea limitado. Desafortunadamente esto tiende a suceder con mucha frecuencia para la mayoría de las especies de flora, puesto que los herbarios y otras colecciones científicas cuentan con pocos registros (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004; Villaseñor, 2003). Sobre todo para aquellas especies que no son de interés económico, las endémicas o aquellas que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo. Por tanto, la utilidad de los modelos de distribución potencial se ve limitada solo a ciertos grupos biológicos. Por lo que es indispensable y prioritario continuar desarrollando líneas de investigación que incluyan inventarios biológicos completos, para tener una mejor representación de la diversidad biológica y su distribución geográfica (Sánchez-Cordero *et al.*, 2001). La eficacia para predecir la distribución de cualquier especie depende de la cantidad de datos con los que se cuenta. Autores como Lindenmeyer (1996) y Peterson (2000) han señalado que se debe de utilizar como mínimo 50 localidades debidamente georreferenciadas para efectuar los análisis. En este caso se utilizó un número mayor, por lo que se puede tener la certeza de que los modelos generados para *Chenopodium ambrosioides* predicen eficazmente su distribución potencial. Sin embargo, los modelos bioclimáticos incluyen dos tipos de errores, falso negativo o error de omisión, el cual no considera el espacio que la especie debería de estar ocupando por lo que hay

una subestimación un segundo error es el de comisión o falso positivo que considera un espacio que en realidad la especie no habita o no debe habitar, produciendo una sobreestimación (Anderson *et al.*, 2003; Peterson y Vieglais, 2001). Otra desventaja que presenta estos métodos es que suponen que la distribución geográfica de las especies está limitada exclusivamente por factores climáticos, por lo que tienden a ser restrictivos al no considerar a la topografía, la geología, los tipos de vegetación, los antecedentes históricos, las interacciones bióticas y los procesos de dispersión, entre otros ya que su único objetivo es estimar las condiciones adecuadas a través del paisaje. Por tanto, al no tomar en cuenta estos procesos que son necesarios para delimitar el nicho fundamental donde la especie se desarrolla (Pearson y Dawson, 2003; Stockwel y Peters, 1999), se propician errores en la predicción, sin importar el método utilizado (Peterson, 2001; Palacios, 2010). Los modelos generados para el presente trabajo deben de ser considerados como una aproximación a la distribución de *Chenopodium ambrosioides* y solo a través de trabajo de campo, se podrá determinar si los modelos predicen de manera correcta la distribución de la especie y cuanto se extienden más allá de sus límites reales. No obstante, autores como Garfias *et al.*, (2013); Villaseñor y Téllez-Valdés (2004) y Contreras-Medina *et al.*, (2010) han mencionado que el modelado bioclimático no debe de subestimarse ya que representa una importante herramienta para la comprensión de los patrones de distribución actual y potencial tanto de la flora como de la fauna ya que generan información fundamental que puede contribuir a futuros estudios biogeográficos, de cambio climático, planeación en el uso recursos naturales, taxonómicos, de conservación y biodiversidad.

CONCLUSIONES

Los modelos de distribución potencial realizados en el presente trabajo muestran que *Chenopodium ambrosioides* se distribuye probablemente en todo el continente Americano, con una mejor representación en Centroamérica, debido a la falta de registros en las demás zonas y no porque la especie no este ampliamente distribuida.

Países como Belice, El Salvador, Costa Rica, Guatemala, Brasil y el Caribe, presentan zonas potenciales donde puede encontrarse la especie. En México los estados de Guerrero, Campeche, Aguascalientes, parte del Altiplano y la Sierra Madre Occidental también presentan zonas potenciales de distribución, que necesitan de verificación de campo. Así mismo se pudo reconocer las características climáticas bajo las cuales la especie prospera o puede desarrollarse.

Por lo anterior se puede decir que los modelos generados son buenos, puesto que presentan un alto nivel de predicción, sin embargo, deben de ser considerados como una aproximación, ya que no toman en cuenta los procesos biológicos indispensables para el desarrollo de las especies y tienden a presentar errores en la predicción. Solo a través de trabajo de campo se podrá determinar si estiman de manera correcta la distribución de la especie.

LITERATURA CITADA

- Anderson, R. P., D. Lew y A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Arzate-García, K. M. 2009. Distribución de cinco especies de *Agave* y su relación con algunos parámetros ambientales en Metztitlán, Hidalgo. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. UNAM.103pp.
- Blanckaert, I., M. Paredes-Flores, F. J. Espinosa-García y D. Piñero. 2012. Ethnobotanical, morphological, phytochemical and molecular evidence for the incipient domestication of Epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.: Chenopodiaceae) in a semi-arid region of México. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59: 557-573.
- Carbajal, E. H. 2008. Importancia de las plantas en la cultura alimentarias de la comunidad XI'Ol Las Guapas, Rayón, San Luis Potosí. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. UASLP. Pp 152
- Clemants, S. E. & S. L. Mosyakin. 2003. *Dysphania* R. Brown (=Chenopodium). In: S.L. Welsh, C.W. Crompton & S. E. Clemants (eds) *Chenopodiaceae* Ventenat. Flora of North America, vol. 4, Magnoliophyta: Caryophyllidae, Part 1. Oxford University Press, Oxford, pp 267–274.
- Contreras-Medina, R., I. Luna-Vega. y C.A. Ríos-Muñoz. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxeaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso del suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* .83:421-433 pp.
- ESRI (Environmental Scientific Research Institute). 2002. ArcView 3.2. ESRI, Redlands, California. Environmental Systems Research Institute
- FAO, 2011. La quinua: cultivo milenario para contribuir a la salud alimentaria mundial. 2011. *Oficina Regional para América Latina y el Caribe*. Pp 30.

Fuentes-Bazan, S., G. Mansion & T. Borsch. 2012. Towards a species level tree of the globally diverse genus *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 62:359-374.

Garfias, S. R., S. M. Castillo., I. M. Toral., G. S. Adasme y C. R. Navarro. 2013. Determinación de la distribución actual y potencial de bosque nativo mediante análisis espacial en SIG. Estudio de caso: Tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe en Chile. *Interciencia* 38(8):577-584 pp.

Gómez, C.J. R .2008. Epazote (*Chenopodium ambrosioides*). Revisión a sus características morfológicas, actividad farmacológica y biogénesis de su principio activo, ascaridol. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 7:3-9 pp.

Hall, C.1985. América Central como Región Geográfica. *Anuario de Estudios Centroamericanos, Univ. Costa Rica* 11(2): 5-24

Hernández, M. H., García A. A y Ulloa. M. 2001. Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad. Instituto de Biología, UNAM. Fondo de Cultura Económica.

Hijmans, R. J., S. E. Cameron., J. L. Parra., P. G. Jones y A. Jarvis. 2005. Very High Resolution Interpolated Climate Surface for Global Land Areas. *International journal climatology* 25:1965-1978.

Hutchinson, M, F. 1995. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *Int. J. Geogr. Inform. Syst.* 9: 385–403.

Hutchinson, M. F. 1998. Interpolation of rainfall with thin plate smoothing splines: I. Two-dimensional Smoothing of Data with Short Range Correlation. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2:152-167.

Jaramillo, C. B.E., E. Duarte y W. Delgado. 2012. Bioactividad del aceite esencial de *Chenopodium ambrosioides* colombiano. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 17:54-64pp.

Leal-Nares, O., M. E. Mendoza., D. Pérez-Salicrup., D. Geneletti., E. López-Granados y E. Carranza. 2012. Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en el conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:1152-1170 pp.

León, J. V. 2005. Elaboración de una base de datos de plantas utilizadas en la medicina tradicional mexicana. Tesis de Licenciatura. Pp 50.

Lindenmayer, D. B., B. G. Mackey y H. A. Nix. 1996. The bioclimatic domains of four species of commercially important eucalypts from south-eastern Australia. *Australian Forestry* 59: 74-89.

Lira, R., O. Téllez-Valdés y P. Dávila. .2009. The effects of climate change on the geographic distribution of Mexican wild relatives of domesticated *Cucurbitaceae*. *Genetic Resources and Crop Evolution* 56:691-703.

Londoño-Murcia, M. C y Sánchez-Cordero. 2011. Distribución y conservación de especies amenazadas en Mesoamérica, Chocó y Andes tropicales. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:926-950.

López-Soto, J.L. 2005. Distribución geográfica y áreas potenciales de diversidad del frijol silvestre (*Phaseolus spp.*). Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad de Guadalajara. 77pp.

Lozoya, X. y M. Lozoya. 1982. Flora medicinal de México: primera parte: plantas indígenas. Instituto mexicano de seguro social. México, D.F, México

Martínez-Meyer, E. 2005. Climate Change and Biodiversity: Some Considerations in Forecasting Shifts in Species' Potential Distributions. *Biodiversity informatics*.2:42-55

Méndez-Larios, I., E. Ortiz y J.L. Villaseñor. 2004. Las *Magnoliophytas* endémicas de la porción xerofítica de la provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 75(1):87:104.

Moreno R., R. Zamora., J.R. Molina., A. Vásquez y M. Herrera. 2011. Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in South Chilean temperate forest using Maximum entropy (Maxent). *Ecol. Informat* 6: 364-370.

Nix, H.A. 1986. A Biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In: Longmore R. (ed.), Atlas of the Elapid snakes of Australia. *Flora and Fauna* 7: 4–15.

Palacios, R. M. P. 2010. Efectos Del Cambio Climático Sobre La Distribución De Nopales (Género *Opuntia* y *Nopalea*: Cactaceae) En la Región Central de México. Tesis de Maestría en Ciencias .UNAM. 105pp

Paredes, L. O y M. Valverde. 2006. Los recursos nutraceuticos y medicinales que Mesoamérica le ha dado al mundo. *Cinvestav* Julio-Septiembre. 65-73

Pearson, R. G. y T. P. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12: 361-371

Phillips, S. J., R. P. Anderson y R.P. Schapire. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190:231-259

Phillips, S. J y M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175pp.

Phillips, S. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. 2010. Exercise. American Museum of Natural History, Lessons in Conservation. Disponible en <http://ncep.amnh.org/linc>.

Peterson, A. T., J. Soberón y V Sánchez-Cordero. 1999. Conservation of ecological niches in evolutionary time. *Science* 285: 1265-1267.

Peterson, A. T., S. L. Egbert, V. Sánchez-Cordero y K. P. Prince. 2000. Geographic analysis of conservation priorities using distributional modeling and complementarity: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93: 85-94.

Peterson, A. T. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* 103: 599-605.

Peterson, A. T. y D. A. Vieglais. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *BioScience* 51: 363-371.

Puente, P.E., E.S.L. Hernández., R. Mariaca-Méndez y M. A. M. Alejandro. 2010. Uso y disponibilidad de plantas medicinales en los huertos familiares del Caobanal, Humanguillo, Tabasco, México. *Unacar tecnociencia* 4 /1) 40-53.

Sánchez -Cordero, V., A. T. Peterson y P. Escalante-Pliego. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. In: H. M. Hernández, A. N. García A., F. Álvarez y M. Ulloa (comps.) *Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., pp. 359-379.

Simón, L. E. 1996. Notas sobre *Chenopodium* L. subgen. *Ambrosia* A. J. Scott (Chenopodiaceae). 1. Taxonomía. 2. Fitogeografía: Áreas disyuntas. *Anales Del Jardín Botánico de Madrid* 54:137-148.

Skov, F. 2000. Potential plant distribution mapping based on climatic similarity. *Taxon* 49: 503-515.

Stockwell, R.B. D y A, T Peterson. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* 148: 1-13.

Swets, J. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240:1285-1293.

Téllez-Valdés, O., Y. M. Chávez-Huerta., A. C. Gómez-Tagle y M. V. Gutierrez-Garduño. 2004. Modelado bioclimático como herramienta para el manejo forestal: estudio de cuatro especies de *Pinus*. *Ciencia forestal en México* 29:1-23 pp.

Téllez-Valdés, O., P. Dávila-Aranda y R. Lira-Saade. 2006. The effects of climate change on the long-term conservation of *Fagus grandifolia* var. *mexicana*, an important species of the Cloud Forest in Eastern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15:1095–1107.

Villaseñor, J. L. y F. J. Espinosa-García. 1998. Catálogo de Malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica, México, D.F., México.

Villaseñor, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las *Magnoliophyta* de México. *Interciencia* 28: 160-167.

Villaseñor, J.L. y O. Téllez-Valdés .2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (*Asteraceae*) en México. *Anales Inst. Biol. Universidad Nacional México, Serie Botánica* 75: 205-220.

FUENTES ELECTRÓNICAS

<http://www.tropicos.org> Disponible Abril 2014.

<http://www.esri.com> Disponible Abril 2014.

<http://www.worldclim.org> Disponible Abril 2014.