

## Distribución conocida y potencial de dos taxa del género *Mimosa* (Leguminosae) endémicos de México

Susana Adriana Montaña-Arias<sup>1\*</sup>, Sara Lucía Camargo-Ricalde<sup>1\*</sup>, Rosaura Grether<sup>1</sup> & David Díaz-Pontones<sup>2</sup>

1. Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Apdo. Postal 55-535, Ciudad de México, México; arias\_susan@hotmail.com, slcr@xanum.uam.mx, rogg@xanum.uam.mx
2. Departamento de Ciencias de la Salud, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Apdo. Postal 55-535, Ciudad de México, México; dmdp@xanum.uam.mx

\* Correspondencia

Recibido 08-VI-2017. Corregido 24-X-2017. Aceptado 22-XI-2017.

**Abstract: Present and potential distribution of two *Mimosa* (Leguminosae) taxa endemic to Mexico.** *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* and *M. luisana* are endemic to Mexico, and are considered as multi-purpose plants, due to the diverse services they offer to ecosystems and to local people. Additionally, they are appreciated for their potential to restore tropical environments; hence, the objective of this study was to model the present and potential distribution of these taxa. In 2014, species registers were obtained from two databases (CONABIO and MEXU); each register was taxonomically, geographically and statistically validated. Once validated, the present and potential distribution of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (based on 99 registers) and *M. luisana* (based on 50 registers) were obtained using the MAXENT algorithm. For both taxa, the present distribution was overlapped using the layers of: elevation, climate, soil, biogeographic provinces, and hydrologic basins. *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* showed a wide distribution in Mexico (16 states); whilst *M. luisana* was restricted to the states of Puebla and Oaxaca. *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* establishes between 1 900 and 2 700 masl, and *M. luisana* between 500 and 1 760 masl. Both species were established in arid and semiarid climates; however, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* can also be found in temperate and mesic climates. Moreover, both taxa are distributed in calcareous regosol soils; although, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* is also found in eutric regosol, chromic vertisol and haplic phaeozem. The distribution of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* includes eight biogeographic provinces and three hydrologic basins; whilst *M. luisana* was only located in three provinces and two hydrologic basins; both are present in the Eje Volcánico and Sierra Madre del Sur provinces. The potential distribution models are considered as excellent ones due to an AUC of 0.91 and 0.97, respectively; these models indicated that the temperature and precipitation conditions would be suitable for the enlargement of their distribution. Likewise, these models can be considered an approach to the potential distribution knowledge of the Mexican mimosas. Nevertheless, it is important to note that the models are static and do not take into account any biotic interaction; therefore, their relationship with reality can vary. Thus, it is recommended to analyze the models through different climate change and land use scenarios. Rev. Biol. Trop. 66(1): 321-335. Epub 2018 March 01.

**Key words:** conservation; distribution; Leguminosae; MAXENT; Mexico; restoration.

El conocimiento de la distribución geográfica de los taxa proporciona información complementaria a la provista por estudios biológicos, ecológicos y sistemáticos, entre otros (Corsi, De Leeuw, & Skidmore, 2000; Hernandez, Graham, Master, & Albert, 2006)

y es indispensable para el entendimiento de los procesos y patrones de la biodiversidad (Rushton, Ormerod, & Kerby, 2004; Wisz et al., 2008), el efecto del cambio climático (Jeschke & Strayer, 2008; Hole et al., 2009) y de los sitios con potencial para la reintroducción

de taxa o para su posible restauración ambiental (Kumar & Stohlgren, 2009).

La sobreexplotación de la biodiversidad y las fluctuaciones en los parámetros climáticos son los principales factores a los que se les atribuye la pérdida de los taxa (Cushman, 2006; Maxted & Kell, 2009), por lo que se requiere de la búsqueda de estrategias que permitan la conservación de la biodiversidad. De acuerdo con Alsos, Alm, Normand y Brochmann (2009), para conservar un taxon se requiere conocer su respuesta a diferentes condiciones climáticas y, por lo tanto, su capacidad de adaptación debida a los cambios en su entorno.

Se han propuesto diversos algoritmos basados en el concepto de nicho ecológico (nicho fundamental) establecido por Hutchinson (1957). Este concepto considera a los factores bióticos y abióticos necesarios para que las poblaciones de un taxon puedan sobrevivir indefinidamente sin la necesidad de migrar (Grinnell, 1917; Hutchinson, 1944). Sin embargo, en muchos casos los taxa no ocupan en su totalidad este nicho, por lo que el espacio utilizado se llama nicho realizado (Soberón & Peterson, 2005).

Algunos de los algoritmos para modelar la distribución de los taxa son: el perfil Bioclimático, BIOCLIM (Nix, 1986); Algoritmo Genético, GARP (Stockwell & Peters, 1999); y el de Máxima Entropía, MAXENT (Phillips, Dudík, & Schapire, 2004), que están basados en datos de ocurrencia y/o ausencia, que permiten conocer la distribución de los taxa y han sido considerados herramientas fundamentales en la conservación y la ecología del paisaje (Peterson & Cohoon, 1999). De acuerdo con varios autores, el algoritmo MAXENT es considerado como uno de los mejores modelos para predecir la distribución de los taxa (Elith et al., 2006; Ramírez-Villegas, Houry, Jarvis, Debouck, & Guarino, 2010; Herrera, 2012), ya que permite interacciones entre las variables, facilita investigar el efecto de cada variable (Mateo, 2008), y funciona con tamaños de muestra pequeños (Hernández et al., 2006).

Es importante mencionar que los trabajos sobre el modelado de la distribución de taxa

mexicanos son escasos (Yberri, 2009). En este sentido, los taxa de la familia Leguminosae, una de las seis familias más diversas y mejor representadas en el país (Rzedowski, 1991; Villaseñor, 2016), están presentes en todos los tipos de vegetación y la mayoría son relevantes económicamente, por lo que es importante revisar su distribución conocida y estimar su distribución potencial.

A nivel mundial, los estudios que determinan la distribución conocida y/o potencial de los taxa de leguminosas son escasos, existen dos en África; uno enfocado en diferentes especies de Caesalpinoideae como *Anthonotha gillettii* (De Wild.) J. Léonard, *Crudia harmisiana* De Wild., *C. laurentii* De Wild., *Cryptosepalum katangense* (De Wild.) J. Léonard., *Dialium pentandrum* Steyaert, *Leonardoxa romii* (De Wild.) Aubrév. y *Pseudomacrobium mengei* (De Wild.) Hauman (Ndayishimiye et al., 2012), y otro presentado por de la Estrella, Mateo, Wieringa, Mackinder y Muñoz (2012), quienes estudiaron los patrones de distribución de 185 especies de leguminosas. Otro estudio se realizó en Sudamérica, enfocado en diferentes especies, entre ellas *Amburana cearensis* A. C. Smith de la subfamilia Papilionoideae (Pacheco, Malizia, & Cayuela, 2010); todos ellos se basaron en el algoritmo MAXENT. Para México, los trabajos son escasos, el primero fue llevado a cabo por Guevara-Escobar et al. (2008), quienes determinaron la distribución potencial de una selección de taxa arbustivos de leguminosas del bosque tropical caducifolio en el Altiplano Mexicano, y determinaron que *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., *Calliandra eriophylla* Benth. y *C. formosa* (Kunth) Benth. tienen una mayor área de distribución potencial en el Bajío; mientras que la menor área, pero con alta probabilidad de distribución, se registró para *Prosopis laevigata* (Willd.) M. C. Johnst., *Albizia plurijuga* (Standl.) Britt. et Rose y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. El segundo trabajo está enfocado en aspectos filogeográficos del complejo *Caesalpinia hintonii* (Sotuyo et al., 2010), y el tercero fue llevado a cabo por Camargo-Ricalde (2015), quien determinó

y analizó la distribución conocida y potencial de varios taxa multipropósito de los géneros *Mimosa* L. (25 taxa) y *Prosopis* L. (nueve taxa) (Leguminosae-Mimosoideae) presentes en el territorio mexicano.

En el caso particular de *Mimosa*, este es un género con distribución pantropical. En México, es el género más diverso de la subfamilia Mimosoideae; actualmente, se conocen *ca.* 104 especies (Grether, Camargo-Ricalde, Martínez-Bernal, Montaña-Arias, & Fraile, 2015), por lo que se le considera el segundo lugar de diversificación, después de Brasil (Grether, Camargo-Ricalde, & Martínez-Bernal, 1996). Debido a la importancia biológica y ecológica de los taxa de *Mimosa* en ambientes tropicales, éste ha sido objeto de múltiples estudios (sistemáticos, anatómicos, ecológicos y etnobotánicos, entre otros). Aunque se ha generado información significativa de diversas especies del género, el conocimiento relacionado con su distribución es parcial y está basado en trabajos florísticos (Martínez-Bernal & Grether, 2006; Grether, Martínez-Bernal, & Camargo-Ricalde, 2007; Martínez-Bernal, Grether, & González-Amaro, 2008), por lo que es necesario generar información sobre su distribución potencial.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la distribución conocida y potencial de *Mimosa aculeaticarpa* Ortega var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* Brandege, ambas endémicas de México, y cuya conservación es prioritaria, debido a que son taxa multipropósito, ya que brindan múltiples servicios a los ecosistemas y a los pobladores locales en donde se establecen; además de que se consideran útiles para la restauración de ambientes tropicales (Dhillon, Aguilar-Støen, & Camargo-Ricalde, 2004; Martínez-Pérez, Orozco-Segovia, & Mantorell, 2006; Pavón, Ballato-Santos, & Pérez-Pérez, 2011).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Selección de los taxa:** Se seleccionó a *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* con distribución amplia en el país, ya que habita en climas secos como templados (Grether et

al., 2007; Martínez-Bernal et al., 2008) y a *M. luisana* que es un taxon restringido al Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y Oaxaca, y sólo se establece en climas secos (Martínez-Bernal & Grether, 2006).

**Obtención de datos:** En el año 2014, se accedió a la base de datos de Leguminosas proporcionada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y a la base de datos del Herbario Nacional (MEXU) para la revisión y extracción de los registros de ambos taxa. Este estudio tuvo una duración de 21 meses; inició en octubre de 2014 y concluyó en junio de 2016; es relevante señalar que la depuración de las bases de datos y la revisión de ejemplares de herbario duró *ca.* de 18 meses.

Por taxon, se elaboró una base de datos, a la cual se le incorporaron registros de consultas de herbarios (siglas de los herbarios de acuerdo con Thiers, 2016): Herbario Nacional de México (MEXU), Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México; Herbario Metropolitano (UAMIZ), Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa; Herbario del Centro Regional del Bajío (IEB), Instituto de Ecología, A.C., Pátzcuaro, Michoacán, y del Herbario de la Facultad de Ciencias Naturales (QMEX), Universidad Autónoma de Querétaro.

**Depuración y validación de datos:** La base de datos de cada taxon, se validó taxonómicamente, corrigiendo errores de omisión, tipografía, contexto, redundancia, convención y congruencia. Para poder realizar las correcciones, se establecieron criterios taxonómicos y geográficos (depuración geográfica) mínimos a cumplir por cada registro de la base de datos (Cuadro 1), de manera que la base de datos de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, contiene registros de ejemplares recolectados entre 1932 y 2011, y la de *M. luisana* entre 1908 y 2014.

La depuración geográfica consistió en la validación de las coordenadas geográficas de cada registro con el programa ArcMap ver. 10.2.2 (ESRI, 2014), la cobertura de municipios

CUADRO 1

Criterios taxonómicos y geográficos considerados para cada registro de la base de datos

TABLE 1

Taxonomic and geographic criteria considered for each record of the database

Criterios Taxonómicos	Criterios Geográficos
De la base de CONABIO, sólo se tomaron los registros que cuentan con el ejemplar de herbario.	Revisión de áreas de distribución <i>a priori</i> (municipios, estados) por taxon, definidas con base en la experiencia del especialista y en publicaciones taxonómicas y florísticas.
En el caso de <i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i> , si el registro no presentaba la variedad, éste se descartó.	Selección de un ejemplar por taxon, cuando existen varios registros de la misma localidad.
Revisión del nombre de los taxa (ortografía y sinonimia).	Que los registros coincidieran con los rangos altitudinales en el que se desarrolla cada taxon.
Experiencia del especialista que determinó el ejemplar.	Que las coordenadas geográficas coincidieran con el sitio de colecta del taxon. Que los registros georreferenciados correspondieran a localidades en donde previamente había sido observado (colectado) el taxon y en donde se presentan las condiciones para que los taxa puedan existir.

(INEGI, 2005) y el nomenclator de CONABIO (2014). Cuando se detectaron municipios equivocados, se corrigieron y se contabilizaron como puntos validados.

La especialista del género, Rosaura Grether, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Iztapalapa, validó la distribución conocida del taxon en una coordenada proporcionada; de esta forma, se determinó *a priori* un posible patrón de distribución de cada taxon, de manera que aquellos registros que no se ajustaron al mismo, se consideraron como localidades erróneas. Las bases de datos están resguardadas en el laboratorio de Biosistemática de Leguminosas, del Departamento de Biología, de la UAM-Iztapalapa.

**Distribución conocida:** Los datos depurados se posicionaron sobre las siguientes capas: *i*) elevación, *ii*) climas (García-CONABIO, 1998), *iii*) suelos (INIFAP, 1995), *iv*) provincias biogeográficas (CONABIO, 1997), y *v*) cuencas hidrológicas (CNA, 1998), obtenidas del portal de geoinformación de la CONABIO (2011), utilizando el programa ArcMap *ver.* 10.2.2. La clasificación utilizada es la propuesta por CONABIO (2011).

**Distribución potencial:** Se modeló con base en una aproximación de nicho ecológico (Peterson et al., 2011), usando el algoritmo de máxima entropía MAXENT (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006).

**Validación estadística:** Después de la validación taxonómica y geográfica, los datos se validaron estadísticamente con el programa SPSS (2012, Statistics versión 21, [www.ibm.com.analytics/spss](http://www.ibm.com.analytics/spss)). Se identificaron los datos atípicos mediante diagramas de caja (*box plot*), producto de un cruce entre los registros (localidades únicas) y las coberturas ambientales. Una vez eliminados los datos atípicos, los datos validados se utilizaron para crear el perfil bioclimático de cada taxon mediante estadística descriptiva.

Para la modelación de la distribución potencial, se utilizaron las coberturas obtenidas de Worldclim (<http://www.worldclim.org/> - Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005 - Cuadro 2), recortadas para México. La selección de variables climáticas se realizó generando un modelo en MAXENT, con las 19 variables climáticas y mediante la gráfica de Jackknife que crea este algoritmo.



CUADRO 2  
 Variables climáticas de Worldclim, utilizadas por MAXENT, para generar los mapas de distribución potencial  
 de los dos taxa de *Mimosa* estudiados

TABLE 2  
 Worldclim climatic variables, used by MAXENT, to generate maps of potential distribution  
 of the two *Mimosa* taxa studied

No.	Abr.	Variable Climática
1	TPA	Temperatura promedio anual (°C)
2	ODT	Oscilación diurna de la temperatura (°C)
3	OAT	Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 4 y 5)
4	TPPC	Temperatura máxima promedio del período más cálido (°C)
5	TPPF	Temperatura mínima promedio del período más frío (°C)
6	TCLL	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
7	TCS	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
8	TCC	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)
9	TCF	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
10	ISO	Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
11	EDT	Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
12	EP	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
13	PA	Precipitación anual (mm)
14	PPLL	Precipitación promedio del período más lluvioso (mm)
15	PPS	Precipitación promedio del período más seco (mm)
16	PCLL	Precipitación promedio del cuatrimestre más lluvioso (mm)
17	PCS	Precipitación promedio del cuatrimestre más seco (mm)
18	PCC	Precipitación promedio del cuatrimestre más cálido (mm)
19	PCF	Precipitación promedio del cuatrimestre más frío (mm)

Igualmente, se realizó un análisis de correlación Pearson debido a que el modelo podría sesgarse por la correlación entre variables. La correlación se llevó a cabo al obtener un cruce de los registros de cada taxon con las 19 variables climáticas.

**Criterio de selección de la región de referencia (movilidad=M):** El criterio para modelar la distribución de los taxa fue mediante su patrón de distribución geográfica. La región M fue determinada considerando límites geográficos naturales, y se empleó la cobertura de cuencas hidrológicas de México (CNA, 1998).

**Evaluación de los modelos:** Se utilizó el área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés), que ha sido aceptado como un método estándar para evaluar la exactitud de los modelos de distribución (Benito de Pando &

Peñas de Giles, 2007; Lobo, Jiménez-Valverde, & Real, 2008). El valor utilizado del AUC fue el generado por el algoritmo MAXENT y la categoría del modelo se basó en Burgueño, García-Bastos y González-Buitrago (1995), y Menzaour (2005).

## RESULTADOS

**Depuración y validación de datos:** En las bases de datos consultadas se detectaron problemas taxonómicos y geográficos. Los problemas taxonómicos fueron principalmente la determinación incorrecta de algunos ejemplares de herbario o a casos de sinonimia.

En la base de datos de la CONABIO, se encontraron 281 registros de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, y 72 de *M. luisana*. En el caso de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, 221 registros fueron eliminados



por no especificar la variedad (*aculeaticarpa* o *desmanthocarpa*). Asimismo, 17 registros se descartaron por hacer referencia a taxa distintos; además, 11 registros de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y cuatro de *M. luisana* fueron retirados porque se ubicaron fuera de sus patrones de distribución.

También, se detectó que dos registros de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y cuatro de *M. luisana* tenían municipios equivocados, éstos se corrigieron y se tomaron como datos validados. Asimismo, ambos taxa presentaron localidades repetidas; es decir, que habían sido recolectadas varias veces en el mismo lugar, por lo que sólo se conservó un registro y los demás fueron descartados (cuatro y 27, respectivamente).

**Adición de registros:** Se elaboró una base de datos para *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* con 40 registros validados provenientes de la CONABIO; se le adicionaron 59 registros más, provenientes de la revisión de las colecciones de los herbarios IEB y MEXU, lo que permitió elaborar el patrón de distribución geográfica del taxon. Respecto a la base de datos de *M. luisana*, ésta tuvo 38 registros validados provenientes de la CONABIO; y se le adicionaron 12 registros del IEB.

**Distribución conocida:** Los resultados indican que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se encuentra en 16 estados de la República Mexicana (Fig. 1A). Los estados con el mayor número de registros son: Michoacán, Guanajuato, Oaxaca y Querétaro; mientras que Aguascalientes, Zacatecas, Guerrero, Tlaxcala y Veracruz sólo presentaron un registro. En el caso de *M. luisana*, el mayor número de colectas ha sido realizado en el estado de Puebla (Fig. 1B).

El análisis de la capa de elevación, mostró que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* puede localizarse desde los 0 hasta los 2 500 msnm, y *M. luisana* de 0 a 2 000 msnm. En *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, el mayor número de localidades se ubicó entre 1 500 y 2 000 msnm

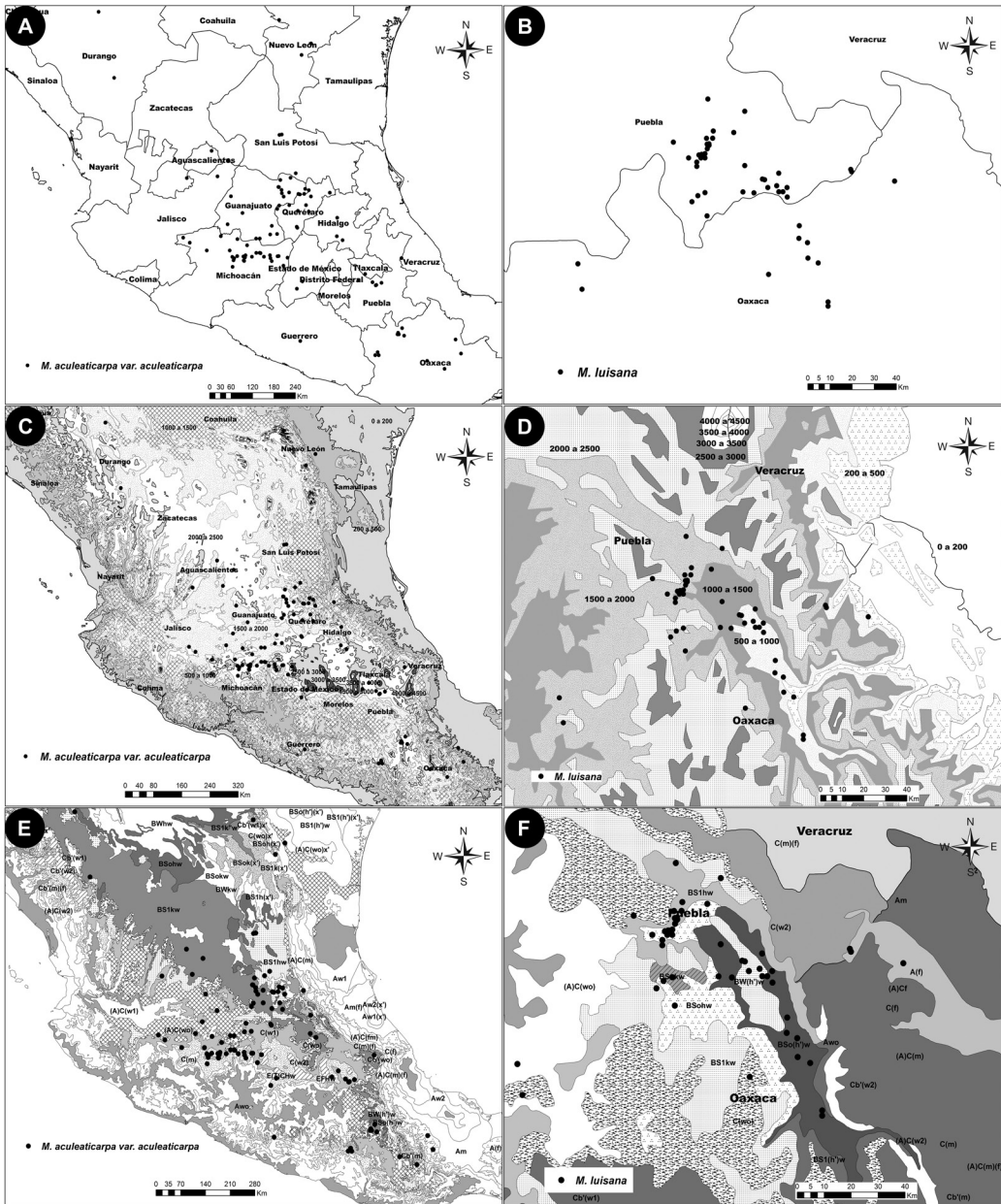
(Fig. 1C), y en *M. luisana*, 15 localidades se ubicaron entre 500 y 1 000 msnm, y otras 14 se localizaron entre 1 500 y 2 000 msnm (Fig. 1D). Sin embargo, al tomar directamente los datos originales (etiquetas de herbario), los rangos altitudinales son más estrechos, ya que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se distribuye entre los 1 900 y 2 700 msnm, y *M. luisana* entre los 500 y 1 760 msnm.

Por otro lado, la sobre-posición de las localidades de ambos taxa con la capa de climas, indicó que el mayor número de registros de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se encuentra en climas secos; así como en áridos, semiáridos, templados y mésicos (Fig. 1E); mientras que la mayoría de las localidades de *M. luisana* están ubicadas en climas áridos (Fig. 1F).

Además, las colectas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se han realizado en suelos de tipo regosol éutrico, seguido del vertisol crómico, regosol calcárico y del feozem háplico (Fig. 2A); mientras que *M. luisana* predomina en suelos de tipo regosol calcárico (Fig. 2B).

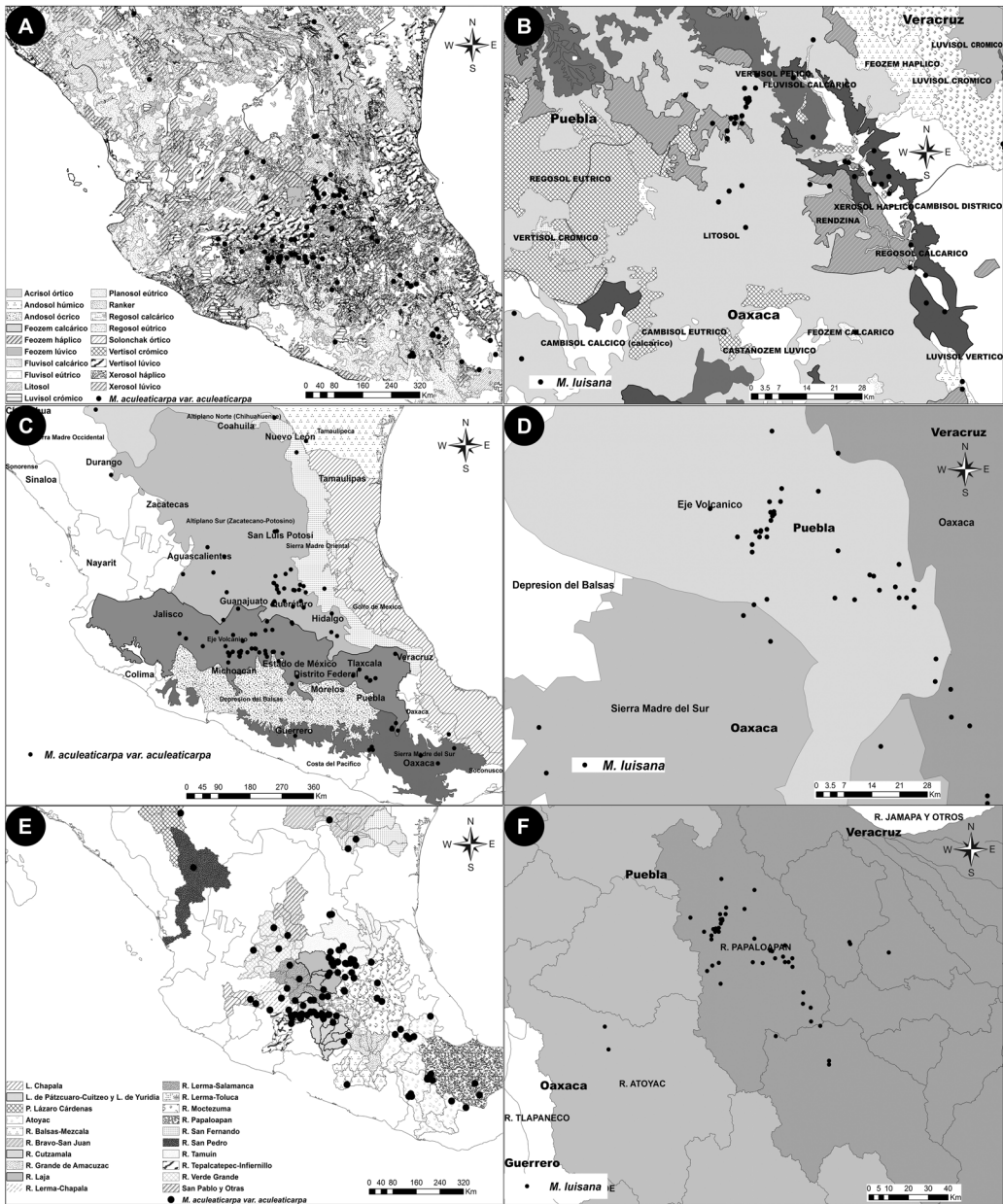
Los resultados muestran que la distribución de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* abarca ocho provincias biogeográficas: 1) Altiplano Norte, 2) Altiplano Sur, 3) Sierra Madre Oriental, 4) Tamaulipeca, 5) Eje Volcánico, 6) Depresión del Balsas, 7) Sierra Madre del Sur, y 8) Golfo de México (Fig. 2C). Cabe mencionar que el Eje Volcánico es la provincia con el mayor número de localidades, seguido del Altiplano Sur. En el caso de *M. luisana*, se observó que se distribuye en tres provincias biogeográficas: 1) Eje Volcánico, 2) Oaxaca, y 3) Sierra Madre del Sur (Fig. 2D).

Por otra parte, el análisis de la capa de cuencas mostró que el mayor número de colectas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se han realizado en la Cuenca del Río Moctezuma, en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y el Lago de Yuridia (Fig. 2E); mientras que las localidades de *M. luisana* se encuentran asociadas a la Cuenca del Río Papaloapan y la del Río Atoyac; aunque, en la primera es en donde está la mayor parte de los datos de presencia (Fig. 2F).



**Fig. 1.** Distribución conocida (localidades en puntos negros) de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (A, C, E) y *M. luisana* (B, D, F), posicionadas sobre las capas de: Estados, escala 1:1 000 000 (A, B); Elevación (msnm), escala 1:4 000 000 (C, D); y Climas, escala 1:1 000 000 (E, F).

**Fig. 1.** Present distribution (localities in black dots) of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (A, C, E) and *M. luisana* (B, D, F), positioned on the layers of: States, scale 1:1 000 000 (A, B); Elevation (mosl), scale 1:4 000 000 (C, D); and Climates, scale 1:1 000 000 (E, F).



**Fig. 2.** Distribución conocida (localidades en puntos negros) de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (A, C, E) y *M. luisana* (B, D, F), posicionadas sobre las capas de: Suelos, escalas 1:250 000 y 1:1 000 000 (A, B); Provincias biogeográficas, escala 1:4 000 000 (C, D); y Cuencas hidrológicas, escala 1:250 000 (E, F).

**Fig. 2.** Present distribution (localities in black dots) of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (A, C, E) and *M. luisana* (B, D, F), positioned on the layers: Soils, scales 1:250 000 and 1:1 000 000 (A, B); Biogeographic provinces, scale 1:4 000 000 (C, D); and Watersheds, scale 1:250 000 (E, F).



**Distribución potencial:** El perfil bioclimático generado para *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* muestra que este taxon puede habitar en lugares donde la temperatura promedio anual sea de 17.9 °C, con una precipitación promedio anual de 959 mm; mientras que *M. luisana* puede establecerse en lugares con una temperatura promedio anual de 21.1 °C y con una precipitación promedio anual de 563.2 mm.

El Jackknife generado para el modelo de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, mostró que las variables Estacionalidad de la temperatura (EDT, 18.5 %) y Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (TCC, 54.4 %) son las que aportan mayor información al modelo. Asimismo, el Jackknife indicó que el modelo se sesgaría si no se consideraban las variables EDT y Precipitación promedio del cuatrimestre más frío (PCF). La información proporcionada por el Jackknife se complementó con el análisis de correlación de Pearson y, éste último, evidenció que EDT y PCF son las únicas variables independientes; por lo que éstas se utilizaron para generar el modelo final.

En el caso de *M. luisana*, el análisis Jackknife mostró que las variables EDT (31.5 %) y PCF (45.7 %) son las variables que aportan mayor información al modelo; además de mostrar que la variable EDT debería ser considerada para no sesgar el modelo. Por lo anterior, el modelo final se generó utilizando las variables EDT y PCF.

Los modelos de ambos taxa se consideran excelentes por presentar un AUC de 0.91 y 0.97, respectivamente, lo que indica una predicción con alta exactitud.

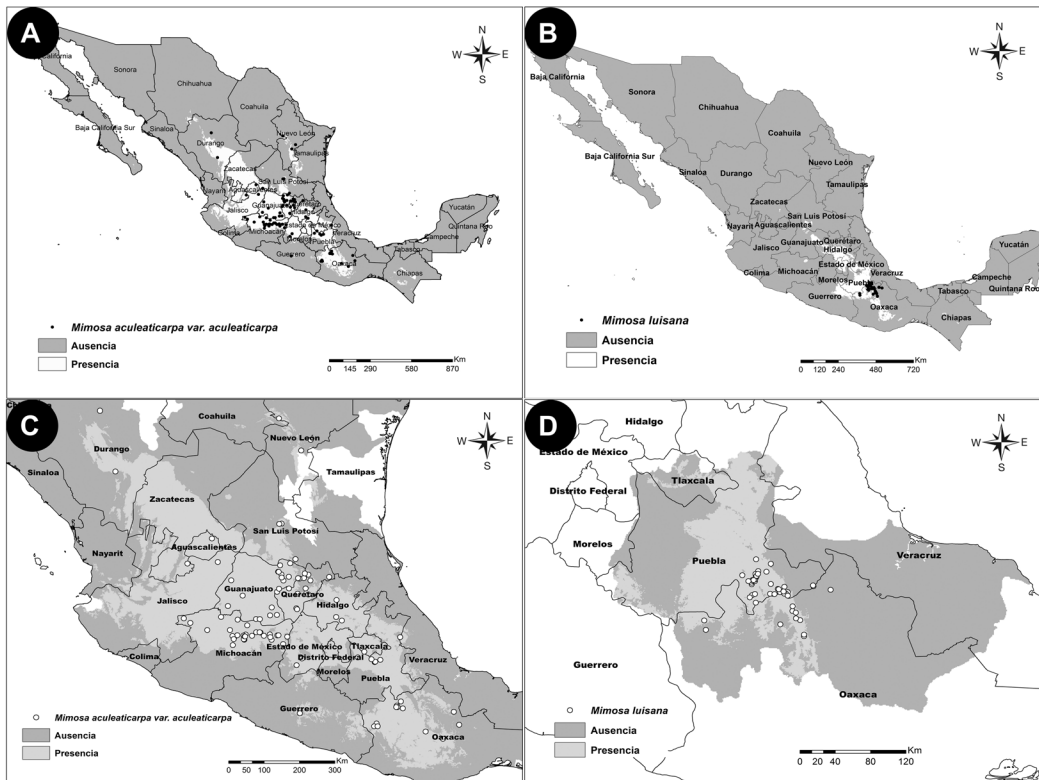
El modelo de distribución potencial de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, sin considerar su movilidad (M), sugiere que existen sitios (penínsulas de Baja California y de Yucatán) con las condiciones adecuadas para que este taxon amplíe su distribución, desde el centro del país hacia la región del Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino); también hacia el noroeste del Eje Volcánico y hacia la parte sur de la Sierra Madre del Sur (Fig. 3A). Igualmente, el modelo de distribución potencial de *M. luisana* indica que, actualmente, existen las condiciones para

que este taxon también amplíe su distribución hacia la región noreste del Eje Volcánico, las regiones suroeste y sureste de la Sierra Madre del Sur, y abarcar, en su totalidad, la provincia biogeográfica de Oaxaca y extenderse hacia una pequeña porción del oeste de la provincia del Golfo de México (Fig. 3B). La predicción indica que este taxon podría ampliar su distribución en la región oeste del Golfo de México, región en la cual, hasta ahora, sólo cuenta con un único registro. No obstante, cuando se genera la región M de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, se observa que no es posible localizarla en la Península de Baja California, ni en la de Yucatán, ni en el estado de Chiapas. Además, muestra que la distribución de este taxon podría extenderse hacia el Altiplano Zacatecano-Potosino, región que cuenta con pocos registros de colecta; de la misma forma, se podría ampliar hacia la parte oeste del Eje Volcánico y el suroeste del Altiplano Norte (Chihuahuense) (Fig. 3C). Asimismo, cuando se genera el modelo reconociendo la movilidad de *M. luisana*, se detecta que éste no llega al centro del estado de Oaxaca y, menos aún, al estado de Chiapas. Además, existen otros puntos donde están presentes las condiciones climáticas para el establecimiento del taxon, pero existen límites geográficos que impiden su ocurrencia en esos sitios (Fig. 3D).

## DISCUSIÓN

Respecto a la distribución conocida, los resultados muestran una variación en cuanto al número de registros obtenidos por taxon, esto debido a que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presenta una distribución amplia, y *M. luisana* tiene una distribución restringida. La primera está presente en 16 estados de la República, lo que concuerda con lo reportado por Grether et al. (2007) y Martínez-Bernal et al. (2008). En el caso de la distribución de *M. luisana*, ésta coincide en que sólo se establece en los estados de Puebla y Oaxaca, como lo reportan Martínez-Bernal y Grether (2006).

Asimismo, los mapas de la distribución conocida indican, con precisión, los sitios



**Fig. 3.** Distribución potencial sin considerar la movilidad del taxon (localidades en puntos negros y blancos) de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (A) y *M. luisana* (B). Distribución potencial considerando la movilidad de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (C) y *M. luisana* (D); escala 1:1 000 000.

**Fig. 3.** Potential distribution without considering the mobility of the taxon of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (A) and *M. luisana* (B). Potential distribution considering the mobility of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (C) and *M. luisana* (D); scale 1:1 000 000.

en donde se tienen más registros (colectas) para cada taxon (*M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* en Michoacán y *M. luisana* en Puebla), lo que sugiere un sesgo en los métodos, al momento de generar los modelos predictivos (Phillips et al., 2009); sin embargo, los modelos generan una distribución hipotética que, de acuerdo con Trotta-Moreu, Lobo y Cabrero-Sañudo (2008), puede ser utilizada tanto en la conservación como en la biogeografía de los taxa; además de ser una herramienta útil para la planeación de nuevas colectas.

La modelación de este tipo de distribución muestra que la mayoría de los registros, en ambos taxa, se localizan en altitudes entre 1500 a 2000 msnm; este rango

altitudinal es congruente con lo registrado por Grether et al. (2015).

Respecto a los climas, ambos taxa se encuentran en sitios con climas secos, áridos y semiáridos; aunque, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, también se encuentra en sitios templados y mésicos, lo que coincide con lo reportado por Martínez-Bernal y Grether (2006), Grether et al. (2007) y Martínez-Bernal et al. (2008).

Por otro lado, algunos autores como Lindenmayer, Mackey y Nix (1996) y Peterson, Egbert, Sánchez-Cordero y Price (2000), consideran que para generar los modelos de distribución potencial es necesario contar con, al menos, 50 registros para poder predecir

la distribución de los taxa; sin embargo, existen estudios que han utilizado menos registros (12 o 23) y los modelos han sido considerados con un alto nivel de predicción (Villaseñor & Téllez-Valdez, 2004; Palacios, 2010). Cabe mencionar que, en este estudio, sólo *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* contó con más de 50 registros, pero los modelos obtenidos para ambos taxa, tuvieron una excelente predicción.

Además, para ambos taxa, los modelos de distribución potencial coinciden en gran parte con su distribución conocida, lo que muestra un bajo error de omisión (Contreras-Medina, Luna-Vega, & Ríos-Muñoz, 2010). Igualmente, dichos modelos presentan un valor AUC alto, por lo que se pueden considerar robustos (Marmion, Parviainen, Luoto, Heikkinen, & Thuiller, 2009; Marini, Barbet-Massin, Martínez, Prestes, & Jiguet, 2010). Sin embargo, los resultados señalan que el nivel de predicción del modelo de distribución potencial de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* fue inferior (AUC = 0.91) que el de *M. luisana* (AUC = 0.97), lo que sugiere que el modelado de un taxon con amplia distribución, es menos preciso que uno correspondiente a un taxon con distribución restringida, lo que coincide con lo reportado por Hernández et al. (2006), Naoki, Gómez, López, Meneses y Vargas, (2006) y Guevara-Escobar et al. (2008).

En ese mismo sentido, algunos autores como Engler, Guisan y Rechsteiner (2004), y Chefaoui y Lobo (2008) consideran que los modelos basados solamente en datos de presencia, pueden sobreestimar la distribución de los taxa. En este caso, aunque el modelo de distribución potencial de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* es considerado un modelo excelente, podría indicar una sobreestimación de su distribución (algunas partes de la Península de Baja California y Península de Yucatán). De igual manera, sucede con el modelo de *M. luisana*, ya que predice que este taxon puede ampliar su distribución hacia las regiones centro y suroeste de Oaxaca, y centro de Chiapas, debido a que existen las condiciones de temperatura y precipitación adecuadas para que se desarrolle. Al respecto, existen estudios que

sugieren que para robustecer los modelos predictivos es necesario incorporar otros factores como la topografía (Naoki et al., 2006; Aalto & Luoto, 2014) y considerar los datos históricos de los taxa (Escalante, 2003).

Aunque la delimitación de la región M de los taxa es un tema poco tratado en la literatura, probablemente es una forma más para robustecer los modelos. De acuerdo con Brown (1995), la distribución de un taxon está determinada por la interacción entre su ecología y su historia evolutiva, por lo que para realizar predicciones de su distribución, se deben considerar sus límites geográficos, ya que ello permite reconocer sus límites de dispersión (Soberón & Peterson, 2005).

Dado lo anterior, la validación de los modelos es un tema controversial; si bien el AUC es un método aceptado (Benito de Pando & Peñas de Giles, 2007), se requiere de la validación del modelo por métodos de muestreo en campo (Contreras-Medina et al., 2010), ya que los algoritmos no consideran las interacciones bióticas que pueden afectar la distribución de los taxa (Naoki et al., 2006; Palacios, 2010). Sin embargo, en este caso particular (i.e. experiencia taxonómica y florística del género *Mimosa* en México), los modelos generados en este trabajo pueden considerarse como una aproximación al conocimiento de la distribución potencial de los taxa estudiados.

Finalmente, desde una perspectiva de cambio climático, los modelos de distribución potencial de ambos taxa, sugieren una reducción y una ampliación de su área de distribución; ya que, de acuerdo con Gómez-Díaz, Monterroso-Rivas y Tinoco-Rueda (2007), los ecosistemas templados podrían reducirse y los secos ampliarse. Bajo esta premisa, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* podría reducir su distribución; mientras que *M. luisana* la podría ampliar. No obstante, se sugiere profundizar este estudio abarcando diferentes escenarios de cambio climático y de uso de suelo; ya que son de las posibles causas que pudieran afectar a los ecosistemas (Parmensan & Yohe, 2003).

Considerando que *Mimosa* es un género pantropical y que México es el segundo centro

de distribución de este género, los mapas de distribución conocida y potencial de sus taxa deben considerarse como una aproximación al conocimiento de las mimosas mexicanas.

Asimismo, este trabajo aporta datos e información sobre zonas del territorio nacional que no han podido ser estudiadas por diversas causas (P. ej. dificultad de acceso y seguridad, entre otras), los cuales podrían ser corroborados en el campo posteriormente; aunque, es importante considerar que los modelos son estáticos, ya que no consideran las interacciones bióticas, por lo que su relación con la realidad puede variar.

Por último, aunque los modelos aquí presentados son una aproximación a la distribución conocida y potencial de los taxa estudiados, es importante incorporar otros aspectos (además de los climáticos) como los históricos y topográficos, así como los edáficos y el cambio de uso de suelo, para una mayor precisión en la predicción de los modelos.

## AGRADECIMIENTOS

Al Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de doctorado (228993/211528) otorgada a SAMA.

## RESUMEN

*Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* son endémicas de México y consideradas plantas multipropósito, ya que ofrecen diversos servicios a los ecosistemas y pobladores en donde se establecen. Además, son valoradas por su potencial como restauradoras de ambientes tropicales, por lo que el objetivo de este estudio fue modelar su distribución conocida y potencial. En el año 2014, se obtuvieron registros de dos bases de datos (CONABIO y MEXU); cada registro fue validado taxonómica, geográfica y estadísticamente, una vez validados, se obtuvo la distribución conocida y potencial para *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (basada en 99 registros) y *M. luisana* (basada en 50 registros), utilizando el algoritmo MAXENT. La distribución conocida de ambos taxa se sobreposicionó en las capas de: elevación, clima, suelo, provincias biogeográficas y cuencas hidrológicas. *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presenta amplia distribución en México (16

estados); mientras que *M. luisana* se encuentra restringida a los estados de Puebla y Oaxaca. *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se establece entre 1900 y 2700 msnm y *M. luisana* entre 500 y 1760 msnm. Ambas se encuentran en climas áridos y semiáridos; sin embargo, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* también se puede encontrar en climas templados y méxicos. Asimismo, ambos taxa se distribuyen en suelos de tipo regosol calcárico; aunque, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* también está en regosol éutrico, vertisol crómico y feozem háplico. La distribución de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* abarca ocho provincias biogeográficas y tres cuencas hidrológicas; mientras que *M. luisana* se localiza en tres provincias y dos cuencas; ambas coinciden en las provincias del Eje Volcánico y la Sierra Madre del Sur. Los modelos de distribución potencial se consideran excelentes, ya que poseen un AUC de 0.91 y 0.97, respectivamente. Los modelos indican que las condiciones de temperatura y precipitación son propicias para que ambos taxa pudieran ampliar su distribución. Igualmente, los modelos generados pueden considerarse como una aproximación al conocimiento de la distribución potencial de las mimosas mexicanas. Aunque, es importante considerar que los modelos son estáticos y no consideran a las interacciones bióticas, por lo que su relación con la realidad puede variar; por lo que se recomienda analizar los modelos mediante diferentes escenarios de cambio climático y de uso de suelo.

**Palabras clave:** conservación; distribución; Leguminosae; MAXENT; México; restauración.

## REFERENCIAS

- Aalto, J., & Luoto, M. (2014). Integrating climate and local factors for geomorphological distribution models. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 1729-1740. doi: 10.1002/esp.3554
- Alsos, I. G., Alm, T., Normand, S., & Brochmann, C. (2009). Past and future range shifts and loss of diversity in dwarf willow (*Salix herbacea* L.) inferred from genetics, fossils and modeling. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 223-239. doi: 10.1111/j.1466-8238.2008.00439.x.
- Benito de Pando, B., & Peñas de Giles, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus*, 7, 100-119.
- Brown, J. H. (1995). *Macroecology*. Illinois, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Burgueño, M. J., García-Bastos, L., & González-Buitrago, J. M. (1995). Las curvas ROC en la evaluación de pruebas diagnósticas. *Medicina Clínica*, 104, 661-670.



- Camargo-Ricalde, S. L. (2015). Modelación de la distribución real y potencial de especies de dos géneros de Mimosoideae: *Mimosa* y *Prosopis* (Leguminosae) en México. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Informe Final SNIB\_CONABIO proyecto No. JM050. México, D.F.
- Chefaoui, R. M., & Lobo, J. M. (2008). Assessing the effects of pseudo-absences on predictive distribution model performance. *Ecological Modelling*, 210, 478-486. doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.08.010.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). (1998). *Cuencas hidrológicas de la República Mexicana, escala 1:250000*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (1997). *Provincias biogeográficas de México*. Escala 1:4 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2011). *Portal de geoinformación Sistema Nacional de Información sobre biodiversidad*. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2014). *Localidades rurales y urbanas 2, 2010*, escala: 1:1. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Datos estadísticos del 2010, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). México, D.F.
- Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I., & Ríos-Muñoz, C. A. (2010). Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural*, 83, 421-433.
- Corsi, F., De Leeuw, J., & Skidmore, A. (2000). Modelling species distribution with GIS In L. Boitani & K. Fuller (Eds.), *Research techniques in animal ecology: controversies and consequences* (389-434 pp). New York, Estados Unidos: Columbia University Press.
- Cushman, S. A. (2006). Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus. *Biological Conservation*, 128, 231-240. doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.031
- de la Estrella, M., Mateo, R. G., Wieringa, J.J., Mackinder, B., & Muñoz, J. (2012). Legume diversity patterns in West Central Africa: influence of species biology on distribution models. *PLoS ONE*, 7, e41526. doi:10.1371/journal.pone.0041526
- Dhillon, S. S., Aguilar-Støen, M., & Camargo-Ricalde, S. L. (2004). Integrative ecological restoration and local involvement in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Environmental Conservation*, 13, 1-3. doi:10.1017/S0376892904001043
- Elith, J. C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, M., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Lohmann, L. G., Lois, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Overton, J. M., Peterson, T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, P., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S., & Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151. doi: 10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x
- Engler, R., Guisan, A., & Rechsteiner, L. (2004). An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41, 263-274. doi: 10.1111/j.0021-8901.2004.00881.x
- Escalante, E. T. (2003). Determinación de prioridades en las áreas de conservación para los mamíferos terrestres de México, empleando criterios biogeográficos. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoología*, 74, 211-238.
- ESRI. (2014). ArcMap, versión 10.2.2. Redlands, CA: ESRI (Environmental Systems Resource Institute).
- García, E.-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998). *'Climas'* (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México.
- Gómez-Díaz, J. D., Monterroso-Rivas, A. I., & Tinoco-Rueda, J. A. (2007). Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México. *Zonas Áridas*, 11, 61-69. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/za.v11i1.204>
- Grether, R., Camargo-Ricalde, S. L., & Martínez-Bernal, A. (1996). Especies del género *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 58, 149-152.
- Grether, R., Martínez-Bernal, A., & Camargo-Ricalde, S. L. (2007). *Mimosa*. In J. Rzedowski y G. Calderón de Rzedowski (Eds.), *Flora del Bajío y de regiones adyacentes* Fascículo 150 (140-183 pp.). México: Instituto Ecología, Centro Regional del Bajío.
- Grether, R., Camargo-Ricalde, S. L., Martínez-Bernal, A., Montaña-Arias, S., & Fraile M. E. (2015). Diversity and geographical distribution patterns of the genus *Mimosa* (Mimosoideae) in the United States, Mexico, and Central America. In R. Fortunato (Ed.), *V Conferencia Internacional de Leguminosas (VILC)*. Buenos Aires, Argentina: Fundación CICCUS.
- Grinnell, J. (1917). The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk*, 34, 427-434. doi: 10.2307/4072271
- Guevara-Escobar, A., Gonzáles-Sosa, E., Susán-Azpiri, H., Malda-Barrera, G., Martínez y Díaz, M., Gómez-Sánchez, M., Hernández-Sandoval, L., Pantoja-Hernández, Y., & Olvera-Valerio, D. (2008). Distribución

- potencial de algunas leguminosas arbustivas en el Altiplano Central de México. *Agrociencia*, 42, 703-716.
- Hernández, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., & Albert D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29, 773-785. doi: 10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x
- Herrera, C. A. (2012). *Aplicación de tecnologías de información para modelar la distribución de plagas* (Tesis de maestría). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978. doi: 10.1002/joc.1276
- Hole, D. G., Willis, S. G., Pain, D. J., Fishpool, L. D., Butchart, S. H. M., Collingham, Y. C., Rahbek, C., & Huntley, B. (2009). Projected impacts of climate change on a continent wide protected area network. *Ecology Letters*, 12, 420-431. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01297.x
- Hutchinson, G. E. (1944). Limnological studies in Connecticut. VII. A critical examination of the supposed relationship between phytoplakton periodicity and chemical changes in lake waters. *Ecology*, 25, 3-26. doi: 10.2307/1930759
- Hutchinson, G. E. (1957). *A Treatise on Limnology*. Volume I Geography, Physics, and Chemistry. New York, Estados Unidos: Chapman and Hall.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2005). *Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades*. Recuperado de <http://geoweb.inegi.org.mx/mgn2k/catalogo.jsp>
- INIFAP (Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias)- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (1995). 'Edafología'. *Escalas 1:250000 y 1:1000000*. México.
- Jeschke, J. M., & Strayer, D. L. (2008). Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134, 1-24. doi: 10.1196/annals.1439.002
- Kumar, S., & Stohlgren, T. J. (2009). MAXENT modelling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment*, 1, 94-98.
- Lindenmayer, D. B., Mackey, B. G., & Nix, H. A. (1996). The bioclimatic domains of four species of commercially important eucalypts from south-eastern Australia. *Australian Forestry*, 59, 74-89. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00049158.1996.10674672>
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17, 145-151. doi: 10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x
- Marini, M. Â., Barbet-Massin, M., Martínez, J., Prestes, N. P., & Jiguet, F. (2010). Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (*Amazona pretrei*). *Biological Conservation*, 143, 102-112. doi:10.1016/j.biocon.2009.09.009
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R. K., & Thuiller, W. (2009). Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 15, 56-69. doi: 10.1111/j.1472-4642.2008.00491.x
- Martínez-Bernal, A., & Grether, R. (2006). *Mimosa*. In A. Novelo & R. Medina-Lemus (Eds.), *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán* (42-99 pp) Fascículo 44. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez-Bernal, A., Grether, R., & González-Amaro, R. M. (2008). *Leguminosae I. Mimosoideae: Mimosa. Flora de Veracruz*. Xalapa, Veracruz, México: Instituto. Ecología A. C.
- Martínez-Pérez, G., Orozco-Segovia, A., & Mantorell, C. (2006). Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 9-20.
- Mateo, R. G. (2008). *Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal. Comparación y optimización de métodos de modelado ecológico* (Tesis de doctorado). España: Universidad Complutense de Madrid.
- Maxted, N., & Kell, S. P. (2009). *Establishment of a global network for the in situ conservation of crop wild relatives: status and needs*. Rome, Italy: FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture.
- Mezaour, A. (2005). Filtering web documents for a thematic warehouse case study: eDot a food risk data warehouse (extended). In *Intelligent information processing and web mining. Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI)*. Francia: Université Paris Sud.
- Naoki, K., Gómez, M. I., López, R. P., Meneses, R. I., & Vargas, J. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41, 65-78.
- Ndayishimiye, J., Greve, M., Stoffelen, P., Bigendako, M. J., De Cannière, C., Svenning, J. C., & Bogaert, J. (2012). Modelling the spatial distribution of endemic Caesalpinioidae in Central Africa, a contribution to the evaluation of actual protected areas in the region. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 4, 118-129. doi: 10.5897/IJBC11.150

- Nix, H. A. (1986). A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In R. Longmore (Ed.), *Atlas of elapid snakes of Australia*. Australia: Australia Government Publishing Service.
- Pacheco, S., Malizia, L. R., & Cayuela, L. (2010). Effects of climate change on subtropical forests of South America. *Tropical Conservation Science*, 3, 423-437.
- Palacios, R. (2010). *Efectos del cambio climático sobre la distribución de nopales (género Opuntia y Nopalea: Cactaceae) en la región central de México* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42. doi:10.1038/nature01286
- Pavón, N. P., Ballato-Santos, J., & Pérez-Pérez, C. (2011). Germinación y establecimiento de *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Fabaceae-Mimosoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 653-661.
- Peterson, A. T., & Cohoon, K. P. (1999). Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecological Modelling*, 117, 159-164. doi:10.1016/S0304-3800(99)00023-X
- Peterson, A. T., Egbert, S. L., Sánchez-Cordero, V., & Price, K. P. (2000). Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation*, 93, 85-94. doi:10.1016/S0006-3207(99)00074-9
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. New Jersey, Estados Unidos: Princeton University Press.
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire R. E. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the twenty-first international conference on machine learning*. doi:10.1145/1015330.1015412
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Phillips Trotta, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, 19, 181-197. doi: 10.1890/07-2153.1
- Ramírez-Villegas, J., Houry, C., Jarvis, A., Debouck, D. G., & Guarino, L. (2010). A gap analysis methodology for collecting crop gene pools: a case study with *Phaseolus beans*. *PLoS one*, 5, e13497. doi:10.1371/journal.pone.0013497
- Rushton, S. P., Ormerod, S. J., & Kerby, G. (2004). New paradigms for modelling species distributions? *Journal of Applied Ecology*, 41, 193-200. doi:10.1111/j.0021-8901.2004.00903.x
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*, 14, 3-21.
- Soberón, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 2, 110. doi:10.17161/bi.v2i0.4
- Sotuyo, S., Delgado-Salinas, A., Lewis, G. P., Chase, M. W., Ferrari, L., & Oyama K. (2010). Filogeografía del complejo *Caesalpinia hintonii*: (Leguminosae: Caesalpinioideae: Poincianella). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 883-894.
- SPSS. (2012). *IBM SPSS Statistics*. Recuperado de www.ibm.com.analytics/spss.
- Stockwell, D., & Peters, D. (1999). The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 13, 143-158. doi:10.1080/136588199241391
- Thiers, B. 2016 [actualización continua]. *Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff*. New York Botanical Garden's virtual Herbarium. Recuperado de <http://sweetgum.nybg.org/ih>.
- Trotta-Moreu, M. N., Lobo, J. M., & Cabrero-Sañudo, F. J. (2008). Distribución conocida y potencial de las especies de Geotrupinae (Coleoptera: Scarabaeoidea) en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 24, 39-65.
- Villaseñor, J. L., & Téllez-Valdez, O. (2004). Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 75, 205-220.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87, 1-344. doi:10.1016/j.rmb.2016.06.017
- Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., & Guisan, A. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14, 763-773. doi: 10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x
- WorldClim. (s.f). *Data for current conditions (~1950-2000)*. Recuperado de <http://www.worldclim.org/current>.
- Yberri, F. G. (2009). *Distribución geográfica de Nopalea phyllanthoides (DC) Britton et Rose (Cactaceae): Modelos predictivos y conservación* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, D. F., México.