

Informe final* del Proyecto JM050
Modelación de la distribución real y potencial de especies de dos géneros de Mimosoideae:
***Mimosa* y *Prosopis* (Leguminosae) en México**

Responsable: Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde
Institución: Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento de Biología
Dirección: San Rafael Atlixco # 186, Vicentina, Iztapalapa, de México, DF, 09340.
Correo electrónico: slcr@xanum.uam.mx
Teléfono/Fax: 58046450
Fecha de inicio: Junio 15, 2012.
Fecha de término: Enero 19, 2016.
Principales resultados: Base de datos, informe final, cartografía, fotografías.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Camargo Ricalde, S. L. 2016. 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.

Resumen:

Con base en una revisión exhaustiva de colecciones de herbario, literatura especializada, bases de datos y, de ser necesario, trabajo de campo, se elaborará y validará una base de datos general sobre la presencia, ausencia y abundancia de especies multipropósito de los géneros *Mimosa* (25 especies) y *Prosopis* (10 especies). Esta información se utilizará para determinar la distribución real y potencial de las especies en estudio, mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y el modelo de predicción Maxent, los cuales permiten identificar y analizar la distribución específica con precisión. Asimismo, se verificará el porcentaje de las áreas de distribución de las especies que se encuentra dentro de las Regiones Terrestres Prioritarias (RTPs), con la finalidad de determinar su estado actual de conservación. Se generarán distintos modelos de predicción de la distribución potencial de las especies cuya cartografía será digitalizada y la información será capturada en un sistema de metadatos. La cartografía de las especies multipropósito de ambos géneros es crítica para establecer programas de conservación y manejo sostenible de los recursos vegetales; así como para realizar estudios robustos acerca de los posibles impactos del cambio climático y del uso de suelo sobre la distribución y conservación de las especies estudiadas.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

INFORME FINAL DEL PROYECTO JM050

Convenio número FB1590/JM050/12

CONABIO-UAM-Iztapalapa

TÍTULO DEL PROYECTO

Modelación de la distribución real y potencial de especies de dos géneros de Mimosoideae: *Mimosa* y *Prosopis* (Leguminosae) en México

DATOS GENERALES

Responsable: Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde¹; correo-e: slcr@xanum.uam.mx

Corresponsable: Dr. Noé Manuel Montaña Arias¹

Participantes: Dra. Rosaura Grether González¹, Dr. David Espinosa Organista², M. en C. Genaro Montaña Arias², M. en B. Susana Adriana Montaña Arias¹, Biól. Azucena Ramírez Martínez¹, Biól. Martha Ramírez Martínez¹

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

1. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Biología.
2. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Unidad Multidisciplinaria de Investigación Experimental (UMIEZ)

México, D. F.; a 8 de mayo de 2015

ÍNDICE GENERAL

1. Resumen ejecutivo.....	3
2. Introducción.....	5
3. Desarrollo del proyecto	
3.1 Fuentes de información.....	6
4. Calidad de la información	
4.1 Validación taxonómica de datos.....	6
4.2 Validación geográfica de los registros.....	7
4.3 Validación estadística.....	8
5. Criterio de selección de la región de referencia (M) por taxon.....	10
6. Modelación de la distribución	
6.1 Distribución real.....	11
6.2 Distribución potencial.....	11
6.2.1 Método de modelación.....	12
6.2.2 Parámetros utilizados en la modelación	12
6.2.3 Evaluación del modelo.....	12
7. Conclusiones y recomendaciones.....	13
8. Referencias.....	15
9. Anexos.....	20
Anexo I. Documentación del material entregado.....	20
Anexo II. Calidad de información y perfil bioclimático de los taxa (PDF).....	21

1. RESUMEN EJECUTIVO

Introducción. En México, *Mimosa* tiene ca. 110 especies, por lo que es considerado como su segundo centro de distribución después de Brasil (Grether, 1978), ya que cuenta con alrededor del 22% de las especies del género conocidas a nivel mundial; de ellas, el 60% son endémicas (Grether *et al.*, 1996; Simon *et al.*, 2011). Por su parte, en México, *Prosopis* cuenta con 9 especies: *P. palmeri*, *P. odorata*, *P. articulata*, *P. laevigata*, *P. tamaulipana*, *P. velutina*, *P. juliflora*, más dos especies con sus variedades: *P. reptans* var. *reptans*, *P. reptans* var. *cinerascens*, *P. glandulosa* var. *glandulosa* y *P. glandulosa* var. *torreyana* (Rzedowski, 1988, 1998). Las especies, de ambos géneros, están incluidas en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos de la CONAFOR como de conservación prioritaria para México, pues ofrecen múltiples servicios ambientales (Galindo y García-Moya, 1986; Camargo Ricalde *et al.*, 2001). Las especies de *Mimosa* y de *Prosopis*, incrementan la fertilidad del suelo bajo su copa y forman islas de recursos (Reyes-Reyes *et al.*, 2002; Camargo-Ricalde *et al.*, 2002; 2003a, b; 2010; Montaña *et al.*, 2006; Herrera-Arreola *et al.*, 2007; Herrán *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2007; Perroni-Ventura *et al.*, 2006, 2010, García-Sánchez *et al.*, 2012). Asimismo, las especies de ambos géneros son usadas como madera, leña, cercas vivas, material para construcción, muebles, artesanías, pegamento, alimento (harina, miel, frutos) y medicinas (Galindo y García-Moya, 1986; Camargo-Ricalde *et al.*, 2001; Casas *et al.*, 2001; Paredes-Flores *et al.*, 2007; Cervantes, 2002; Barba De la Rosa *et al.*, 2006; Lira *et al.*, 2009). Por lo anterior, estas especies se consideran como plantas multipropósito y, consecuentemente, como una opción para ser utilizadas en sistemas agroforestales y en prácticas de restauración de ecosistemas perturbados (Camargo-Ricalde *et al.*, 2001; Camargo-Ricalde y García-García 2001; Dhillion *et al.*, 2004; 2005; Moreno y Casas 2010; Moreno *et al.*, 2010).

La distribución de los taxa de *Mimosa* y *Prosopis* ha sido estudiada a nivel de tipos de vegetación y de sus afinidades geográficas (Rzedowski, 1978, 1988, 1998; Sousa y Delgado, 1993); así como a pequeña escala en estudios florísticos locales y regionales (Sousa y Delgado, 1993; Guevara-Escobar *et al.*, 2008). No obstante, se ha trabajado poco en documentar la distribución de cada taxon en el país. Así, las propuestas existentes sobre la distribución de los taxa de *Mimosa* y *Prosopis* presentan limitantes para su cartografía y revelan cierta inexactitud en el mapeo de sus áreas de distribución. Lo anterior, reveló la necesidad de comprender, con mayor precisión, la distribución de los taxa de estos dos géneros mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y el modelo de predicción MaxEnt (Peterson *et al.*, 2011; Barve *et al.*, 2011), los cuales integran la información taxonómica, geográfica y ambiental para modelar la distribución de los taxa.

Objetivo general. Determinar y analizar la distribución geográfica de taxa multipropósito de los géneros *Mimosa* L. y *Prosopis* L. (Leguminosae-Mimosoideae) en el territorio mexicano.

Objetivos particulares. **1)** Elaborar dos bases de datos de los taxa seleccionados de cada género con la información disponible en las colecciones de herbario y en las bases de datos institucionales, **2)** Determinar y describir las variables ambientales (abióticas) que mejor permitieran modelar el área de distribución de los taxa a estudiar de ambos géneros, **3)** Establecer la distribución real y potencial de los taxa multipropósito de *Mimosa* y *Prosopis* en el territorio mexicano, mediante la modelación de su nicho ecológico con el algoritmo MaxEnt, y **4)** Elaborar la cartografía digital de la distribución real y potencial de los taxa estudiados como resultado del proceso de modelación e incluir, en los metadatos, la información taxonómica, ambiental y geográfica validada para dichos taxa.

Método. De la base de datos de CONABIO, se examinaron y validaron los registros de 25 taxa de *Mimosa* y 9 (de 11) taxa de *Prosopis*. Asimismo, se adicionaron a esta base de datos nuevos registros validados para completar el número mínimo recomendado para la modelación (40). Los nuevos registros fueron obtenidos del Herbario Nacional (MEXU), Instituto de Biología, UNAM; Herbario Metropolitano (UAMIZ), UAM-Iztapalapa; Herbario Regional del Bajío (IEB), Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, y del Herbario del Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Durango, IPN; así como de las bases de datos de plantas vasculares, sección Mimosoideae, Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y del Herbario Virtual C.V. Starr, New York Botanical Garden (NYBG), EUA. Esto permitió incrementar la cantidad de registros por taxon y obtener una base de datos final con información validada geográfica y taxonómicamente, la cual se utilizó para realizar 34 modelos (uno por taxon) de distribución real y potencial. Además, para cada taxon, se elaboró un perfil bioclimático y se indicaron aquellas variables que mejor explicaron los modelos de distribución potencial de cada taxon; sin embargo, se graficaron todas las variables contenidas en el perfil.

Resultados. Los productos finales que se obtuvieron fueron: *i)* Una base de datos en formato DarwinCore con 2,230 registros para los 25 taxa de *Mimosa* y 781 registros para 9 (de 11) taxa de *Prosopis*, ya que para *P. odorata* Torr. & Frém. y *P. reptans* var. *reptans* Benth., no se pudo obtener ningún registro; *ii)* Los perfiles bioclimáticos y las variables ambientales (matriz bioclimática) que mejor explicaron la

distribución de cada taxon; *iii*) 34 mapas de distribución real y 34 mapas de distribución potencial; y *iv*) Los metadatos asociados a cada modelo de distribución potencial obtenido por taxon.

Conclusiones. Los objetivos del proyecto se cumplieron al 100% al generar las dos bases de datos finales de calidad y los modelos de distribución para cada uno de los taxa comprometidos en el convenio, los cuales contribuirán al conocimiento de la distribución de algunos de los taxa multipropósito de los géneros estudiados y brindarán información que podrá ser utilizada, a futuro, en estudios biogeográficos, filogenéticos y ecológicos; así como de conservación y aprovechamiento sustentable.

Palabras clave: Distribución potencial, *Mimosa*, *Prosopis*, Leguminosae, México, modelación del nicho ecológico.

2. INTRODUCCIÓN

Los géneros *Mimosa* L. y *Prosopis* L. pertenecen a la familia Leguminosae, subfamilia Mimosoideae. En México, *Mimosa* tiene ca. 110 especies, por lo que este país es considerado como su segundo centro de distribución después de Brasil (Grether, 1978), ya que cuenta con alrededor del 22% de las especies del género conocidas a nivel mundial; de ellas, el 60% son endémicas (Grether *et al.*, 1996; Simon *et al.*, 2011). Por su parte, en México, *Prosopis* cuenta con 9 especies: *Prosopis palmeri*, *P. odorata*, *P. articulata*, *P. laevigata*, *P. tamaulipana*, *P. velutina*, *P. juliflora*, más dos especies con sus variedades: *P. reptans* var. *reptans*, *P. reptans* var. *cinerascens*, *P. glandulosa* var. *glandulosa* y *P. glandulosa* var. *torreyana* (Rzedowski, 1988, 1998). Las especies, de ambos géneros, están incluidas en el Inventario Nacional Forestal y de suelos de la CONAFOR como de conservación prioritaria en México, pues ofrecen múltiples servicios ambientales (Galindo y García-Moya, 1986; Camargo Ricalde *et al.*, 2001).

Las especies de *Mimosa* y de *Prosopis*, incrementan la fertilidad del suelo bajo su copa y forman islas de recursos (Reyes-Reyes *et al.*, 2002; Camargo-Ricalde *et al.*, 2002; 2003a, b; 2010; Montañón *et al.*, 2006; Herrera-Arreola *et al.*, 2007; Herrán *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2007; Perroni-Ventura *et al.*, 2006, 2010, García-Sánchez *et al.*, 2012). Asimismo, las especies de estos géneros son usadas como madera, leña, cercas vivas, material para construcción, muebles, artesanías, pegamento, alimento (harina, miel, frutos) y medicinas (Galindo y García-Moya, 1986; Camargo-Ricalde *et al.*, 2001; Casas *et al.*, 2001; Paredes-Flores *et al.*, 2007; Cervantes, 2002; Barba De la Rosa *et al.*, 2006; Lira *et al.*, 2009). Por lo anterior, estas especies se consideran como plantas *multipropósito* y, consecuentemente, se han propuesto como una opción para ser utilizadas en prácticas agrosilvopastoriles y de restauración de ecosistemas perturbados (Camargo-Ricalde *et al.*, 2001; Camargo-Ricalde y García-García 2001, Dhillon *et al.*, 2004, 2005; Moreno y Casas 2010; Moreno *et al.*, 2010).

La distribución de los taxa de *Mimosa* y *Prosopis* ha sido estudiada a nivel de tipos de vegetación y de sus afinidades geográficas (Rzedowski, 1978, 1988, 1998; Sousa y Delgado, 1993); así como a escala local en estudios florísticos locales y regionales (Sousa y Delgado, 1993; Guevara-Escobar *et al.*, 2008). No obstante, poco se ha hecho para documentar la distribución de cada taxon en el país. Los esfuerzos en esta dirección proponen mapas de distribución en los cuales los taxa se representan como un conjunto de puntos (localidades de colecta de cada ejemplar de herbario), donde la unión de los puntos periféricos circunscribe el área de distribución geográfica conocida del taxon (Rzedowski, 1988, 1998; Sousa y Delgado, 1993; Palacios, 2006). Otras formas de representar la distribución geográfica de un taxon, se han basado en registrarla por límites políticos (estados, municipios, etc.) o bien

mediante cuadrantes (latitud y longitud, hectáreas o kilómetros cuadrados, etc.). Así, las propuestas existentes sobre la distribución de los taxa de *Mimosa* y *Prosopis* presentan limitantes para su cartografía y revelan cierta inexactitud en el mapeo de sus áreas de distribución. Lo anterior, reveló la necesidad de comprender, con mayor precisión, la distribución de los taxa de estos dos géneros, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y el modelo de predicción MaxEnt (Bocco *et al.*, 1999; Navarro *et al.*, 2003; Barve *et al.*, 2011), los cuales integran la información taxonómica y geográfica, validada y vertida, de una base de datos con la información ambiental, con el fin de elaborar modelos de distribución de los taxa.

Por lo tanto, este trabajo se enfocó en la distribución de 25 taxa de *Mimosa* y 9 (de 11) taxa de *Prosopis*, localizados en México. Los taxa seleccionados no contaban con un mapa de distribución geográfica para el país, por lo que la evaluación de su distribución es necesaria para el diseño de planes, y políticas de conservación y manejo sostenible de estos taxa multipropósito. De este modo, se requería determinar su distribución geográfica real y potencial, a partir de registros validados, y de estimar su nicho ecológico en función de las condiciones ambientales. Este estudio es el primero sobre modelación de la distribución geográfica de taxa de *Mimosa* y *Prosopis* en México. Los resultados del proyecto serán presentados en congresos nacionales e internacionales y serán reportados para la comunidad científica en, al menos, un artículo científico internacional.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Fuente de los datos

Los datos se obtuvieron de una consulta al Sistema de Información sobre Biodiversidad (SNIB) acerca de registros de taxa de *Mimosa* y *Prosopis*. Éste proporcionó la base de datos inicial para los taxa de ambos géneros. Otros registros complementarios se obtuvieron de la revisión de los siguientes herbarios: Herbario Nacional (MEXU), Instituto de Biología, UNAM; Herbario Metropolitano (UAMIZ), UAM-Iztapalapa; Herbario Regional del Bajío (IEB), Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, y Herbario del Centro de Investigación Interdisciplinaria para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Durango, IPN; así como de las bases de datos internacionales de plantas vasculares, sección Mimosoideae, Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y del Herbario Virtual C.V. Starr, New York Botanical Garden (NYBG), EUA (Cuadro 1).

4. CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

4.1. Validación taxonómica de datos.

La información taxonómica fue validada siguiendo el estándar de las páginas web The Plant List (www.theplantlist.org) y Tropicos (www.tropicos.org). Los nombres de los autores de cada taxon se homogeneizaron de acuerdo con Brummit (1994) y The International Plant Names Index (IPNI).

El reconocimiento de cada uno de los taxa fue un aspecto crítico para su validación taxonómica. Una descripción detallada de las características morfológicas de los taxa de *Mimosa* y *Prosopis* puede consultarse en Grether *et al.* (1996; 2006), Barneby (1991), Burkart (1948 y 1976), Rzedowski (1988, 1998) y Palacios (2006).

Asimismo, se analizaron otros criterios taxonómicos como: 1) En el campo de la base de CONABIO que dice pendiente/revisado, se tomaron en cuenta sólo los datos que decían revisado, 2) Si los taxa no presentaban la variedad, éstos se descartaron, 3) Se revisó el nombre de los taxa (ortografía y sinonimia), 4) Se revisó el año de publicación del taxon, 5) Se verificó la confiabilidad del especialista que determinó el ejemplar en función de conocer que la persona tenía experiencia probada en la identificación de los taxa, 6) Se consultó literatura especializada como claves taxonómicas, artículos florísticos y bitácoras de campo, y 7) Se consultó a la especialista en Mimosoideae.

4.2 Validación geográfica de los registros.

Las localidades fueron verificadas por comparación con el nomenclátor de localidades y la cobertura de municipios de México (INEGI, 2005), y mediante el seguimiento de rutas en Google Earth versión 7.1.22041 (Google Inc., 2013).

Asimismo, se revisaron: 1) La correspondencia de los registros y localidades con la revisión de áreas de distribución *a priori* por taxon, definidas con base en la experiencia del especialista y en publicaciones taxonómicas y florísticas; de manera que aquellos registros que no se ajustaron al mismo, se consideraron como localidades equivocadas, 2) Que las localidades no estuvieran repetidas. Es importante mencionar que para la modelación de la distribución potencial, se usaron localidades únicas; sin embargo, las bases de datos en formato DarwinCore, cuentan con todos los registros, y 3) Se redujo la autocorrelación espacial de los registros mediante las herramientas de modelado de distribución de especies (SDM) de la interface entre ArcMap y MaxEnt (ArcToolbox/ SDM Tools/ 1 Universal Tools/ Spatially Rarefy Occurrence Data for SDMs/ Spatially Rarefy Occurrence Data for SDMs [to reduce spatial autocorrelation]). La estimación de la autocorrelación se evaluó a intervalos de un kilómetro.

Lo anterior, se realizó con la finalidad de que el modelo de distribución potencial no tuviera sesgos en la modelación (error de comisión). Sin embargo, las bases de datos en formato DarwinCore cuentan con registros de localidades repetidas; es decir, localidades con más de un registro por sitio. Ésto debido a que si se dejara un registro único en la base de datos, ésto llevaría a la pérdida de información importante en referencia a cada taxon.

De esta manera, se validaron todos los registros para la base de datos de CONABIO y, a su vez, se construyó el `occurrenceID`, dato necesario de acuerdo con el Control de Calidad establecido en el Manual de Procedimiento proporcionado por la CONABIO.

Con base en lo anterior, para ambos géneros, se revisaron los 32 campos de la base datos de CONABIO, corrigiendo errores de omisión, tipografía, contexto, redundancia, convención y congruencia, con el fin de que fuesen compatibles con el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), haciendo que correspondieran al estándar de DarwinCore.

4.3 Validación estadística.

Los registros depurados, taxonómica como geográficamente, también fueron validados estadísticamente mediante el programa estadístico SPSS (Statistics versión 21 2012, www.ibm.com.analytics/spss). De manera que, para identificar los datos atípicos, se generaron gráficos Box plot que muestran medidas de tendencia central y de dispersión de los datos, producto de un cruce entre los registros (localidades únicas) y las cobertura ambientales, lo que permitió reconocer los rangos ambientales en donde han sido registrados los taxa. Así, los registros que presentaron valores fuera de la desviación estándar, fueron revisados y validados; sin embargo, cuando no fue posible validarlos, éstos se excluyeron para generar el modelo. Una vez eliminados los datos atípicos, los datos validados se utilizaron para crear el perfil bioclimático de cada taxa mediante estadística descriptiva (promedio, máximo, mínimo y desviación estándar) realizada también en el programa SPSS.

Cuadro 1. Registros totales (T) y registros por cada base de datos: Base DC Mimosa II: 2230 y Base DC Prosopis II: s 781, Total de registros validados (V) = 3011, ER= ENDÉMICA RESTRINGIDA, EPM= ENDÉMICA PARA MÉXICO y AD= AMPLIA DISTRIBUCIÓN.

**MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN REAL Y POTENCIAL DE ESPECIES DE DOS GÉNEROS DE MIMOSOIDEAE:
MIMOSA Y PROSOPIS (LEGUMINOSAE) EN MÉXICO, marzo 2015**

Especie/Variiedad	Distribución	CONABIO	GBIF	UAMI	IEB	CIIDIR	NYBG	T	
Mimosa		T	VAL						
1. <i>M. acantholoba</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Poir. var. <i>eurycarpa</i> (B. L. Rob) Barneby, 1898	ER	55	30		3	7		40	
2. <i>M. aculeaticarpa</i> Ortega var. <i>aculeaticarpa</i> , 1800	EPM	44	40		2			42	
3. <i>M. albida</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. var. <i>albida</i> , 1806	AD	174	148	14	11			173	
4. <i>M. albida</i> Humb. & Bonpl. ex Willd. var. <i>strigosa</i> (Willd.) B. L. Rob., 1898	AD	52	45	10				55	
5. <i>M. arenosa</i> (Willd.) Poir., 1810	AD	25	19	12	9			40	
6. <i>M. bahamensis</i> Benth. 1842	AD	620	364	13				377	
7. <i>M. benthamii</i> J. F. Macbr. var. <i>benthamii</i> , 1919	EPM	42	31		16		3	50	
8. <i>M. biuncifera</i> Benth., 1839	AD	312	250	16				266	
9. <i>M. calcicola</i> B. L. Rob., 1898	ER	25	16		7	6		29	
10. <i>M. depauperata</i> Benth., 1839	ER	33	25		8	3		36	
11. <i>M. distachya</i> Cav. var. <i>distachya</i> , 1795	EPM	42	32		5	5		42	
12. <i>M. galeottii</i> Benth., 1846	EPM	154	110					110	
13. <i>M. lacerata</i> Rose, 1897	EPM	75	63					63	
14. <i>M. leucaenoides</i> Benth., 1846	EPM	149	110					110	
15. <i>M. luisana</i> Brandege, 1908	ER	72	36		8	4		48	
16. <i>M. malacophylla</i> A. Gray, 1850	AD	79	61					61	
17. <i>M. martindelcampoi</i> Medrano, 1982	ER	24	20					20	
18. <i>M. mollis</i> Benth., 1842	EPM	90	67					67	
19. <i>M. monancistra</i> Benth., 1839	EPM	142	109					109	
20. <i>M. pigra</i> L. var. <i>pigra</i> , 1755	AD	35	34	16				50	
21. <i>M. polyantha</i> Benth., 1842	EPM	208	161					161	
22. <i>M. pudica</i> L., 1753	AD	229	159	17				176	
23. <i>M. tenuiflora</i> (Willd.) Poir., 1810	AD	60	52	13				65	
24. <i>M. texana</i> (A. Gray) Small var. <i>filipes</i> (Britton & Rose) Barneby, 1991	ER	3	2		11			13	
25. <i>M. texana</i> (A. Gray) Small var. <i>texana</i> , 1901	AD	26	18				9	27	
TOTALES =		2770	2002	111	80	25	3	9	2230
Prosopis									
1. <i>P. articulata</i> S. Watson, 1889	ER	134	42	4				46	
2. <i>P. glandulosa</i> Torr. var. <i>glandulosa</i> , 1962	AD	73	28	12				40	
3. <i>P. glandulosa</i> Torr. var. <i>torreyana</i> (L. D. Benson) M. C. Johnst., 1962	AD	126	95	15				110	
4. <i>P. juliflora</i> (Sw.) DC., 1825	AD	194	93	21				114	

5. <i>P. laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst., 1962	EPM	537	348	348
6. <i>P. odorata</i> Torr. et Frém.	AD	0		0
7. <i>P. palmeri</i> S. Watson, 1889	ER	80	60	60
8. <i>P. reptans</i> Benth. var. <i>reptans</i>	AD	0		0
9. <i>P. reptans</i> var. <i>cinerascens</i> (A. Gray) Burkart, 1940	AD	23	18	18
10. <i>P. tamaulipana</i> Burkart, 1976	ER	45	28	28
11. <i>P. velutina</i> Wooton, 1898	AD	9	7	10
TOTALES =		1221	719	62
				781

5. CRITERIO DE SELECCIÓN DE LA REGIÓN DE REFERENCIA (M) POR TAXON

La mayoría de los taxa de *Mimosa* seleccionadas han sido estudiados por nuestro Grupo de Investigación, Biosistemática de Leguminosas, en aspectos como: taxonomía, filogenia, biología y ecología, por lo que se cuenta con información no sólo biológica, sino también relacionada con su importancia ecológica y económica. Asimismo, se cuenta con información taxonómica, ecológica y con experiencia para definir los patrones de distribución geográfica de los taxa seleccionados. Así, se reconocieron los taxa endémicos restringidos a una pequeña región, los taxa endémicos de México, los taxa con áreas de distribución disyunta, y aquéllos con amplia distribución en América. De modo que el tipo de distribución conocida *a priori* fue un criterio importante para seleccionarlos y modelar su distribución en México y América. En cuanto a los taxa de *Prosopis*, el taxon más estudiado por nuestro grupo de investigación ha sido *P. laevigata*; no obstante, se obtuvo también información de los otros taxa que se distribuyen en México.

Con la finalidad de definir la región **M**, se consideró el tipo de distribución que presentan cada uno de los taxa de ambos géneros propuestos en este proyecto, por lo que éstos fueron agrupados en tres categorías:

I. Taxa endémicos con distribución restringida en México

Mimosa (4 especies y 2 variedades) y *Prosopis* (3 especies)

II. Taxa endémicos con amplia distribución en México

Mimosa (6 especies y 3 variedades) y *Prosopis* (una especie)

III. Taxa con amplia distribución en América

Mimosa (6 especies y 4 variedades) y *Prosopis* (2 especies y 3 variedades)

La categorización fue validada mediante estudios taxonómicos publicados para cada taxon y con base en la experiencia de campo (bitácoras, recorridos y colectas); así como en estudios previos realizados por nuestro Grupo de Investigación. Esta categorización permitió definir la “movilidad” (**M**) de los taxa, lo cual es un parámetro clave en la modelación de la distribución potencial. Además, con base en esta categorización, se seleccionó el tipo de coberturas ambientales (capas) que se utilizarían para cada categoría por taxon.

Para los taxa que caen en las Categorías I y II, se usaron las coberturas ambientales nacionales; mientras que para los que se agrupan en la Categoría III, se utilizaron las coberturas ambientales internacionales de WorldClim (Global Climate Data).

De la misma manera y con la finalidad de reforzar la adecuada delimitación de la **M** para cada taxon, la categorización de la Categoría III requirió de revisar y validar registros de bases de datos internacionales (e.g. GBIF), cuyos registros, previamente validados, se adicionaron a la base de datos, ya que el no considerarlos podría sesgar los modelos de distribución.

Cabe mencionar que la **M** de los taxa de la Categoría III, presentan una **M** mayor que su área de distribución potencial modelada debido a que no se consideraron la totalidad de los registros de la distribución para cada taxon. En consecuencia, los registros no consideran toda la región **M**, sino sólo una parte, ésto debido a que era necesario incorporar algunos registros adicionales a los del país para no sesgar los modelos de distribución obtenidos para México.

Asimismo, con base en la categorización para los taxa, espacialmente la región **M** fue delimitada considerando límites geográficos naturales, por lo cual, se empleó la cobertura de cuencas hidrológicas para México (CNA-México, 1998, Escala: 1:250000), obtenida de la página CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>), y de Norteamérica y Sudamérica (WaterBase, Escala: 1:250000), obtenida de la página de WaterBase (http://www.waterbase.org/download_data.html).

6. MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN

6.1 Distribución real

La distribución real fue definida, para este proyecto, como la fracción del espacio geográfico en el que está presente un taxon e interactúa con los componentes bióticos y abióticos del ambiente, en función de su historia evolutiva (Zunino y Palestrinil, 1991). Así, generalmente, los taxa se representan sólo como un conjunto de localidades (Villaseñor y Téllez, 2004) que circunscriben el área de distribución de cada taxon.

De la base de datos final, sólo aquellos registros validados taxonómica y geográficamente, para cada taxón, fueron transformados en un formato shape. Este último archivo es la representación de la distribución real; es decir, son el conjunto de localidades donde han sido colectados los taxa.

6.2 Distribución potencial

Una vez delimitada la región **M** de cada taxon, se eligieron las variables climáticas nacionales propuestas por Téllez *et al.* (2011), disponibles en <http://idrisi.uaemex.mx/index.php/ligas/geodatos/306-superficies-climaticas>, con el fin de modelar la distribución de los taxa agrupados en las dos primeras Categorías (I: Taxa endémicos con distribución restringida en México, y II: Taxa endémicos con amplia distribución en México); mientras que para los taxa que corresponden a la Categoría III (Amplia distribución en América), se utilizaron las variables climáticas provenientes de WorldClim (www.world.org/bioclim; Hijmans *et al.*, 2005).

Cabe mencionar que en el proceso de modelación, no todas las variables fueron utilizadas, ya que muchas resultaron estar correlacionadas. Ésto se pudo detectar mediante una correlación (*r-Pearson*) entre las 19 variables, lo cual permitió excluir variables y seleccionar sólo aquellas variables menos correlacionadas y, así, evitar redundancias y el sesgo en los modelos.

6.2.1 Método de modelación

A partir de los registros únicos (depurados geográfica, taxonómica y estadísticamente), se realizó una primera aproximación del modelo de distribución potencial con el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt versión 3.3, Phillips *et al.*, 2004), usando 75% de los datos, ya que los restantes (25%) se usaron para validar el modelo. Las opciones del análisis para el modelo fueron las curvas de respuesta (exponencial), la imagen de la predicción y la importancia de las variables por el método Jackknife. Este modelo fue generado en función de la categorización mencionada anteriormente para los taxa de *Mimosa* y *Prosopis*. Un segundo modelo se construyó a partir de aquellas variables que tuvieron mayor contribución a la construcción del primer modelo y que presentaron mayor sensibilidad al ser eliminadas, y que no tuvieron autocorrelación significativa entre ellas. Los modelos finales se presentan en archivos "Mimaca.asc", donde, cada modelo, fue recortado al décimo percentil, en cuyo caso, los valores por arriba del umbral fueron reemplazados por "1" y los menores por "0".

6.2.2 Parámetros utilizados en la modelación

Los parámetros de elaboración fueron: tipo de salida: logístico; porcentaje de puntos de entrenamiento: 75%; porcentaje de puntos de prueba: 25%; número máximo de puntos background: 1000; y selección de la opción clamping: sí. Otros parámetros que se

habilitaron durante la modelación son: *Create response curves* y *Do jackknife to measure variable importance*. Además, se realizaron los siguientes cambios: 1) En la pestaña *Settings-Basic*, se cambió el valor *Random test percentage* de 0 a 25; 2) Mientras que en la pestaña *Advanced*, se seleccionaron las demás casillas que no estaban activadas, estas fueron: *Add all samples to background*, *Write plot data* y *Append summary results to maxentResults.csv.file*. Asimismo, se activó en *Apply threshold rule* la opción: *10 percentile training presence*, quedando, así, activadas todas las casillas de verificación de la pestaña *Advanced*, y 3) Los valores preestablecidos en la pestaña *Experimental* se quedaron igual y, únicamente, se activaron las casillas: *Write background predictions* y *Show exponent in response curves*. La evaluación del modelo final se realizó mediante la curva ROC completa (Peterson *et al.*, 2008, Burgueño *et al.*, 1995).

6.2.3 Evaluación del modelo

Los modelos fueron validados utilizando los puntos de recolecta (localidades únicas) que no fueron integrados en el modelado (25% de los registros); así como por la experiencia del Grupo de Investigación en recolectas previas, realizadas en regiones predichas y seleccionadas al azar. Para ésto, la base de datos de las localidades de recolecta fue dividida al azar, lo que permitió utilizar una parte de los datos (ca. 75%, dependiendo del número de registros por taxon) para generar el modelo, y la otra parte (ca. 25%) para validarlo. Además, se utilizó una curva para describir la tasa de identificación correcta de presencias (sensitivity, en el eje de las “y”), contra la tasa de falsas alarmas (1-specificity, en el eje de las “x”), llamada Receiver Operating Characteristic (ROC), pero debido a que no se contó con ausencias verdaderas, se cuidó de no dar igual ponderación a errores de omisión que a los de comisión (Peterson *et al.*, 2008).

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conforme a los resultados y productos comprometidos en el convenio para la realización de este proyecto, los logros fueron:

- i) Dos bases de datos que contienen los registros validados, taxonómica y geográficamente, de los taxa de ambos géneros: 25 taxa de *Mimosa* (2,230 registros), Proyecto JM050 DCMimosa, y 9 taxa (de 11) de *Prosopis* (781 registros), Proyecto JM050 DCProsopis; bajo el formato estándar DarwinCore.
- ii) Un documento que contiene los metadatos de los 34 taxa que se modelaron (Proyecto JM050).
- iii) Los perfiles bioclimáticos y las variables ambientales seleccionadas como las

que mejor explican la distribución de cada taxon.

- iv) La cartografía digital de los mapas de la distribución geográfica de los taxa, tanto de distribución real como potencial.

Los modelos propuestos podrían ser mejorados incrementando el número de registros validados e independientes; así como considerando coberturas biológicas que ayudaran a describir y analizar las áreas de distribución de los taxa en un contexto eco-geográfico (e.g. provincias biogeográficas). Adicionalmente, se debe de reconocer que, debido a su complejidad, los sistemas naturales y los modeladores no permiten una adecuada o total modelación de la distribución geográfica de los taxa, principalmente, por su incapacidad para incluir y explicar las interacciones bióticas, el cambio evolutivo y la dispersión, ocasionando que los errores de predicción sean inevitables y que los modelos obtenidos tengan limitaciones. También, se recomienda una validación de los modelos presentados basada en trabajo de campo. En un futuro, ésto ayudará a validar la sub- o sobre-estimación de las áreas predichas por MaxEnt y a registrar nuevas localidades potenciales de recolecta de los taxa, de tal manera que si estas localidades se ubicaran dentro de las áreas estimadas, el modelo pudiera considerarse como robusto.

Al realizar los modelos de distribución de cada uno de los taxa que formaron parte del proyecto, se pudo constatar la importancia de contar con datos confiables y validados desde que se realiza la base de datos, hasta la elaboración de los modelos. Así, cada decisión que se tomó durante la realización del proyecto tuvo que ser sustentada en la literatura y avalada por la experiencia de campo de la especialista y del Grupo de Investigación, lo que fue fundamental para lograr depurar la información y estructurar la base de datos final. El proceso de validación fue lo que tomó más tiempo y demandó más recursos, sugiriendo que las bases de datos deben ser validadas desde un inicio y no sólo hasta que se requiere su uso para la modelación.

La mayoría de los taxa, comprometidos en el proyecto, tuvieron buena cantidad de registros independientes para la modelación de su distribución. No obstante, hubo taxa en los cuales no fue posible obtener información de ninguna fuente, estos fueron: *P. odorata* y *P. reptans* var. *reptans*; o bien hubieron taxa en los que los registros validados fueron menos de 20, como fue el caso de *M. calcicola* (19), *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (19), *M. texana* var. *filipes* (13), *M. texana* var. *texana* (18), *M. martindelcampoi* (15), *P. reptans* var. *cinerascens* (7) y *P. velutina* (13). Ésto sugiere que futuros proyectos de investigación, de campo y de herbario, deben ser prioritarios para considerar a estos taxa con la intención de aumentar el esfuerzo de colecta y el número de registros validados. Asimismo, aquellos taxa con distribución endémica restringida tuvieron un muy bajo número de registros; sin embargo, se

tomó la decisión de realizar la modelación debido a que, por su restricción de área, se tendría una posibilidad muy baja de obtener más registros independientes para modelar su distribución. Cabe señalar que, desafortunadamente, este podría ser el escenario general de la mayoría de los taxa de la flora de México, ya que, por lo general, los herbarios y las bases de datos existentes cuentan con pocos registros con información completa y validada, sobre todo de aquellos taxa de interés, como son los endémicos. Por lo tanto, es necesario señalar que las dos bases de datos finales sólo contaron con el número mínimo de registros independientes y validados para la modelación porque la base de datos original presentó errores taxonómicos y geográficos; por lo anterior, es recomendable incrementar el número de registros validados mediante trabajo de campo y de herbario.

Por otra parte, los resultados indican que es posible continuar, de manera exitosa, con la determinación de la distribución geográfica de otros taxa de Mimosoideae en México.

Además, en la parte académica del proyecto, también se contribuyó a: *i*) La formación de capital humano mediante los estudios de Posgrado de tres estudiantes, dos de Doctorado y uno de Maestría, *ii*) La presentación de los resultados del proyecto en dos congresos, uno internacional (Congreso Latinoamericano de Botánica en octubre de 2014, en Brasil) y uno nacional (Congreso Mexicano de Ecología, en San Luis Potosí 2015), y *iii*) La elaboración de un artículo científico internacional que está en preparación para un número especial sobre modelos de distribución, el cual será publicado en la revista Botanical Sciences.

8. REFERENCIAS

- Barba De la Rosa A.P., Frías-Hernández J.T., Olalde-Portugal V. y González-Castañeda J. (2006) Processing, nutritional evaluation, and utilization of whole mesquite flour (*Prosopis laevigata*). *J. Food Sci.* 71: 315-320.
- Barneby R.C. (1991) *Sensitivae Censitae*. A description of the genus *Mimosa* L. (Mimosaceae) in the New World. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 65: 1-835.
- Barve N., Barve V., Jiménez-Valverde A., Lira-Noriega A., Maher S.P., Peterson A.T., Soberon J. y Villalobos F. (2011) The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecol. Modelling* 222: 1810-1819.
- Bocco G., Palacio J.L. y Valenzuela R.C. (1999) Integración de la percepción

- remota y los sistemas de información geográfica. *Ciencia y Desarrollo*.17:79-88.
- Brummitt R.K. y Powell C.E. (1994) (editors). Authors of plant names. A list of authors of scientific names of plants, with recommended standard form of their names including abbreviations. Royal Botanical Gardens Kew: 732 pp.
- Burgueño M.J., García-Bastos L. y Gonzáles-Buitrago J.M. (1995) Las curvas ROC en la evaluación de pruebas diagnósticas. *Med. Clin (Barc)* 104: 661-670.
- Burkart A. (1948) Las especies de *Mimosa* de la Flora Argentina. *Darwiniana* 8: 11-231.
- Burkat A. (1976) A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journ. Arnold. Arbor.* 57: 217-249; 450-486.
- Camargo-Ricalde, S.L. y García-García V. (2001) El género *Mimosa* (Fabaceae) y la restauración ecológica. *ContactoS*. 39: 34-42.
- Camargo-Ricalde S.L., Grether R., Martínez-Bernal A., García-García V. y Barrios-del-Rosal S. (2001) Especies útiles del género *Mimosa* (Fabaceae-Mimosoideae) en México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* 68: 33-44.
- Camargo-Ricalde S. L., Dhillion S.S. y Grether R. (2002) Community structure of endemic *Mimosa* species and environmental heterogeneity in a semiarid Mexican Valley. *J. Veg. Sci.* 13: 697-704.
- Camargo-Ricalde S.L. y Dhillion S.S. (2003) Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal “resource islands” within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Mycorrhiza* 13: 129-136.
- Camargo-Ricalde S.L., Dhillion S.S. y González-Jiménez C. (2003) Mycorrhizal perennials of the “matorral xerófilo” and the “selva baja caducifolia” communities in the semiarid Tehuacán- Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza* 13: 77-83.
- Camargo-Ricalde S.L., Reyes-Jaramillo I. y Montaña N.M. (2010) Forestry insularity effect of four *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) on soil nutrients of a Mexican semiarid ecosystem. *Agrof. Syst.* 80: 385-397.
- Casas A, Valiente-Banuet A, Viveros JL, Caballero J, Cortés L, Dávila P, Lira R, Rodríguez L. (2001) Plant resources of the Tehuacan-Cuicatlán Valley, Mexico. *Econom. Bot.* 55:129-166.
- Cervantes R.M. (2002) Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México: 1.5.3. México: UNAM, Instituto de Geografía. Pág. 149-155.

- Cuervo-Robayo A.P., Venegas-Barrera C.S., Téllez-Valdés O., Manjarrez J., Gómez-Albores M.A. y Martínez-Meyer E. (2013) An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *Int. J. Climatol.* 34: 2427–2437. DOI: 10.1002/joc.3848.
- Dhillion S.S., Aguilar-Støen M. y Camargo-Ricalde S.L. (2004) Integrative ecological restoration and the involvement of local communities in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Environ. Conser.* 59: 390-394.
- Dhillion S.S. y Camargo-Ricalde S.L. (2005) The cultural and ecological roles of *Mimosa* species in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Econom. Bot.* 59: 390-394.
- Flores E., Frías J., Jurado P., Olalde V., Figueroa J.D., Valdivia A. y García-Moya E. (2007) Efecto del gatuño sobre la fertilidad del suelo y la biomasa herbácea en pastizales del centro de México. *Terra Lat.* 25: 311-319.
- Galindo A.S. y García-Moya E. (1986) The uses of mesquite (*Prosopis* spp.) in the highlands of San Luis Potosi, Mexico. *For. Ecol. Manag.* 16: 49-56.
- García-Sánchez R., Camargo-Ricalde S.L., García-Moya E., Luna-Cavazos M., Romero-Manzanares A. y Montaña N.M. (2012) *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera*, jointly influence plant diversity and soil fertility in a Mexican semiarid ecosystem. *Int. J. Trop. Biol. Conser.* 60:87-103.
- Grether R. (1978) A general review of the genus *Mimosa* in México. *Bulletin of the International Group for the Study of Mimosoideae* 6: 45-50.
- Grether R., Camargo-Ricalde S.L. y Martínez-Bernal A. (1996) Especies del género *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Bol. Soc. Bot. México* 58: 149-152.
- Grether R., Martínez-Bernal A., Luckow M. y Zárate S. (2006) *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Fascículo 44. Mimosaceae Tribu Mimoseae Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 107 pp.
- Guevara-Escobar A., González-Sosa E., Suzán-Azpíri H., Malda-Barrera G., Martínez y Díaz M, Gómez-Sánchez M., Hernández-Sandoval L., Pantoja-Hernández Y. y Olvera-Valerio D. (2008) Distribución potencial de algunas leguminosas arbustivas en el Altiplano Central de México. *Agrociencia* 42: 703-716.
- Herrán J.F., Angoa M.V., Serrato R., Frías-Hernández J.T. y Olalde-Portugal V. (2007) Impacto de la densidad de gatuño (*Mimosa monancistra*) en la microflora del suelo del semiárido del estado de Aguascalientes. *RaXimhai* 3: 481-480.

- Herrera-Arreola G., Herrera Y., Reyes-Reyes B.G. y Dendooven L. (2007) Mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw) DC), huisache (*Acacia farnesiana* (L) Willd.) and catclaw (*Mimosa biuncifera* Benth.) and their effect on dynamics of carbon and nitrogen in soils of the semi-arid highlands of Durango Mexico. *J. Arid. Environ.* 69: 583-598.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G. y Jarvis A. (2005) Very highresolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965-1978.
- Lira R., Casas A., Rosas-López R., Paredes-Flores M., Rangel-Landa S., Solís L., Torres I. y Dávila P. (2009) Traditional knowledge and useful plant richness in the Tehuacán-Cuicatlán, México. *Econom. Bot.* 63: 271–287.
- Montaño N.M., García-Sánchez R., Ochoa G. y Monroy A. (2006) Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra Lat.* 24: 193-105.
- Moreno A. y Casas A. (2010) Agroforestry systems: restoration of semiarid zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecol. Rest.* 28: 361-368.
- Moreno A., Casas A., Blancas J., Torres I., Masera O., Caballero J., García-Barrios L., Pérez-Negrón E. y Rangel-Landa S. (2010) Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Agrof. Syst.* 80: 315-331.
- Navarro A., Peterson A. T., Nakazawa Y.J. y Liebing-Fossas I. (2003) Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. En: Morrone J.J. y J. Llorente (eds) *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*: 115-122. UNAM-CONABIO, Ciudad de México.
- Palacios R.A. (2006) Los mezquites mexicanos: biodiversidad y distribución geográfica. *Bol. Soc. Argentina de Botánica* 41: 99-121.
- Paredes-Flores M., Lira R. y Dávila P. (2007) Estudio etnobotánico de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Acta Bot. Mexicana* 79: 13-61.
- Perroni-Ventura Y., Montaña C. y García-Oliva F. (2006) Relationship between soil nutrient availability and plant species richness in a tropical semi-arid environment. *J. Veg. Sci.* 17: 719-728.
- Perroni-Ventura Y., Montaña C. y García-Oliva F. (2010) Carbon-nitrogen interactions in fertility island soil from a tropical semi-arid ecosystem. *Funct. Ecol.* 24: 233-242.

- Peterson A.T., Soberón J., Pearson R.G., Anderson R.P., Martínez-Meyer E., Nakamura M. y Araújo M.B. (2011) Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press. New Jersey.
- Peterson A.T., Papes M. y Soberon J. (2008) Rethinking receiver Operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecol. Modelling* 213: 63–72. doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008.
- Phillips S.J., Anderson R.P. y Schapire R.E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modelling* 190: 231-259.
- Reyes-Reyes G., Barón-Ocampo L., Cualí-Álvarez I., Frías-Hernández J.T., Olalde-Portugal V., Varela L. y Dendooven L. (2002) C and N dynamics in soil from the central highlands of Mexico as affected by mesquite (*Prosopis* spp.) and huizache (*Acacia tortuosa*): a laboratory investigation. *Appl. Soil Ecol.* 19: 27-34.
- Rzedowski J. (1978) *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México, 431 pp.
- Rzedowski J. (1988) Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Bot. Mexicana* 3: 7-19.
- Rzedowski J. (1998) Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En: Ramammorthy T.P., Bye R., Lot A. y Fa J., eds., *Diversidad biológica en México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México. Pp. 129-145.
- Simon M.F., Grether R., De Queiroz L.P., Särkinen T.E., Dutra V.F. y Hughes C.E. (2011) The evolutionary history of *Mimosa* (Leguminosae): toward a phylogeny of the sensitive plants. *Amer. J. Botany* 98(7): 1201-1221.
- Sousa M. y Delgado A. (1993) *Mexican Leguminosae: phytogeography, endemism, and origins*. En: Ramamoorthy T.P., Bye R., Lot A. y Fa J., eds., 1993. *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press. Pp. 459-511.
- Téllez O., Hutchinson M.A., Nix H.A. y Jones P. (2011) Desarrollo de coberturas digitales climáticas para México. En: Sánchez G., Ballesteros C. y Pavón N. *CAMBIO CLIMÁTICO aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pp. 15-24.
- Villaseñor, J.L. y Téllez 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*. 75(2): 205-220.

Zunino, M. y Palestrini C. 1991. I taxa parafiletic la biogeografia: alcune riflessioni critiche. Atti Acc. Sci. Torino. 125(3-4): 35-54.