



Casa abierta al tiempo

**RESPUESTAS ECOANATÓMICAS Y ECOFISIOLÓGICAS DE
DOS ESPECIES DEL GÉNERO *Mimosa* (LEGUMINOSAE)
ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

TESIS

Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Biológicas y de la Salud

PRESENTA

M. en B. SUSANA ADRIANA MONTAÑO ARIAS

Directora: Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde

Asesora: Dra. Rosaura Grether González

Asesor: Dr. David Manuel Díaz Pontones

Junio, 2016

“El Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de excelencia del CONACyT y además cuenta con apoyo del mismo Consejo, con el convenio “PFP-20-93”

Esta tesis se realizó en los laboratorios de Biología y Ecología de Leguminosas, y en Biosistemática de Leguminosas de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, bajo la tutoría de:

Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde (directora, Departamento Biología, UAMI)

Dra. Rosaura Grether González (asesora, Departamento Biología, UAMI)

Dr. David Manuel Díaz Pontones (asesor, Departamento de Ciencias de la Salud,
UAMI)

El jurado designado por las

Divisiones de Ciencias Biológicas y de la Salud

de las Unidades Cuajimalpa, Iztapalapa y Xochimilco aprobó la tesis que presentó

Susana Adriana Montaña Arias

El día 15 de junio del año 2016

Comité Tutorial

Directora: Dra. Sara Lucía Camargo

Ricalde

Asesora Interna: Dra. Rosaura Grether

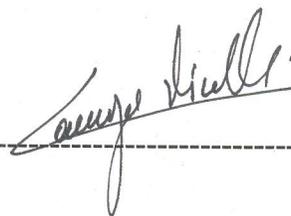
González

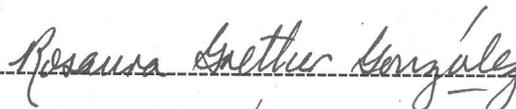
Asesor Interno: Dr. David Manuel Díaz

Pontones

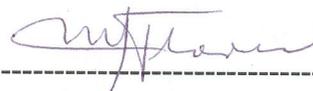
Sinodal: Dra. María Hilda Flores Olvera

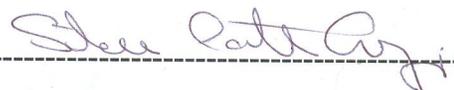
Sinodal: Dra. Silvia Castillo Argüero











Agradecimientos

A mis padres: *Con todo mi amor, respeto y admiración*

Evaristo Genaro Montaña Quezada[†] y Esperanza Arias Garibay

A mis hermanos

Noé Manuel, Genaro y Ana Georgina
Por su compañía y apoyo

Esta tesis es una contribución a los Proyectos “Biología y Ecología del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae) en ecosistemas áridos y semiáridos de México: El caso del Valle de Tehuacán-Cuicatlán como un sistema modelo” y “Filogenia Infragenérica de grupos selectos de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae) basada en datos moleculares”.

Se agradece a CONACyT-México por la beca otorgada para realizar mis estudios de Doctorado (CVU 228993/Becario 211528).

A mi directora de tesis la Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde por brindarme la oportunidad de trabajar en sus proyectos, por enseñarme a hacer investigación, por sus consejos, las múltiples correcciones y críticas y, por sus valiosas aportaciones a mi formación académica. Además, agradezco su ayuda incondicional, por contribuir con ideas y trabajo, por su enorme paciencia y amistad en todo momento del proceso

de investigación. A mis asesores: Dra. Rosaura Grether González y Dr. David M. Díaz Pontones por su motivación, apoyo, correcciones y críticas a mi trabajo de investigación, todo contribuyó enormemente al buen término de esta tesis. En especial, agradezco a la Dra. Rosaura Grether por creer en mí y darme la oportunidad de ser su estudiante, además, agradezco su enorme paciencia, comprensión y por siempre darme ánimos.

A las Dras. Hilda Flores Olvera y Silvia Castillo Argüero por aceptar ser sinodales, por sus sugerencias y/o recomendaciones que sin duda enriquecieron el contenido de esta tesis.

Quiero agradecer al Dr. Jonh Larsen por asesorarme durante mi estancia de Investigación en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.

Al Dr. Noé Montaña y al M. en B. Laurent Martínez Olivares[†] por su ayuda en las colectas del material de campo. A la Dra. Leticia Pacheco por su compañía, asesoría y ánimo. Al Sr. Elías Ruíz Juárez (No. Económico 19750) de la Carpintería de la UAMI, por su disposición a elaborar las muestras para el estudio macroscópico de la madera.

Por otra parte, agradezco a la Universidad Autónoma Metropolitana y en especial, al Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud por brindarme apoyo económico durante mis estudios. Asimismo, al Programa de Movilidad Estudiantil “Santander” (ECOES) por la beca otorgada para realizar una estancia de Investigación en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, Campus Morelia.

ÍNDICE

Resumen	9
Abstract	12
Introducción General	15
Literatura Citada	
Objetivo General	23
Objetivos Particulares	23
CAPITULO I Distribución conocida y potencial de <i>Mimosa aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i> y <i>M. luisana</i> (Leguminosae-Mimosoideae)	24
<i>Introducción</i>	
<i>Antecedentes</i>	26
<i>Preguntas de Investigación</i>	33
<i>Hipótesis</i>	33
<i>Objetivo</i>	33
<i>Métodos</i>	34
<i>Resultados</i>	40
<i>Discusión</i>	62
<i>Conclusiones</i>	66
<i>Literatura Citada</i>	66
CAPITULO II Morfología de la semilla y anatomía de la testa de dos taxa del género <i>Mimosa</i> (Leguminosae-Mimosoideae)	95
<i>Introducción</i>	
<i>Antecedentes</i>	98
<i>Preguntas de Investigación</i>	106
<i>Hipótesis</i>	106
<i>Objetivo</i>	107
<i>Métodos</i>	107
<i>Resultados</i>	110
<i>Discusión</i>	123
<i>Conclusiones</i>	129
<i>Literatura Citada</i>	130

CAPITULO III Efecto de la escarificación y la temperatura en la germinación de dos especies de <i>Mimosa</i> (Leguminosae-Mimosoideae)	146
<i>Introducción</i>	
<i>Antecedentes</i>	148
<i>Preguntas de Investigación</i>	152
<i>Hipótesis</i>	152
<i>Objetivo</i>	152
<i>Métodos</i>	153
<i>Resultados</i>	157
<i>Discusión</i>	167
<i>Conclusiones</i>	173
<i>Literatura Citada</i>	174
<i>Publicación</i>	183
CAPITULO IV Análisis ecoanatómico de la madera de <i>Mimosa aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i> y <i>M. luisana</i> (Leguminosae-Mimosoideae)	184
<i>Introducción</i>	
<i>Antecedentes</i>	186
<i>Preguntas de Investigación</i>	190
<i>Hipótesis</i>	191
<i>Objetivo</i>	191
<i>Métodos</i>	191
<i>Resultados</i>	195
<i>Discusión</i>	201
<i>Conclusiones</i>	209
<i>Literatura Citada</i>	211
Discusión General	222
Literatura Citada	
Conclusiones Generales	237
Perspectivas	240

RESUMEN

Una de las predicciones sobre el efecto de cambio climático es que los ecosistemas podrían ampliar o reducir sus áreas de distribución, debido a que los ambientes húmedos podrían convertirse en secos y viceversa; esto como respuesta al grado de tolerancia de los taxa, principalmente vegetales, que los componen. Por ejemplo, dentro de la familia Leguminosae, se considera que el género *Mimosa* es, potencialmente, capaz de tolerar un amplio rango de variaciones ambientales. Las mimosas mexicanas predominan en ecosistemas cálido-húmedos y cálido-secos, y considerando su importancia biológica y ecológica, se requieren estudios que permitieran establecer el nivel de tolerancia que poseen estas plantas ante las modificaciones que pudiesen darse en los elementos del clima como son la temperatura y la precipitación. Por lo anterior, se generaron mapas de distribución conocida y modelos de distribución potencial de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (ambiente mésico; amplia distribución, endémica de México) y *M. luisana* (ambiente seco; endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y Oaxaca), y con el propósito de dar soporte a estos modelos, sobre todo al potencial, se describieron, analizaron, compararon y evaluaron las características morfológicas de sus semillas, la anatomía de la testa y su germinación; así como la anatomía de su madera, obteniéndose, además, los Índices de Vulnerabilidad (IV) y de Mesomorfía (IM), respectivos. Lo anterior, se estableció como fundamento para

determinar el grado de tolerancia de estas taxa a los posibles cambios de temperatura y precipitación predichos, y para, finalmente, validar dichos modelos. A partir de la depuración y validación de bases de datos de *Mimosa* (CONABIO, GBIF) y de revisión de herbarios, se determinó, para cada taxon, su distribución conocida y se generaron modelos de distribución potencial con el algoritmo MaxEnt. *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* tiene amplia distribución en el país; mientras que *M. luisana* presenta una distribución restringida; no obstante, los modelos de distribución potencial indican que ambas taxa podrían ampliar su distribución. Los dos taxa presentan características anatómicas que apoyan la predicción de los modelos; en el caso de la semilla de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, ésta presenta una testa conformada por cutícula, macroesclereidas y parénquima; mientras que la testa de la semilla de *M. luisana* está constituida por cutícula, macroesclereidas, osteoesclereidas y parénquima; por lo que, en ambos casos, la semilla requiere de un método de escarificación para permitir la germinación. Una vez escarificadas, el mayor porcentaje de germinación, independientemente de la temperatura (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40°C), lo presenta *M. luisana* (50-100%); mientras que a 45°C, es *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* quien alcanza el mayor porcentaje (35%). En el caso de la anatomía de la madera, ésta presenta características que les permitiría, a ambas taxa, adaptarse a variaciones en la precipitación. *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presenta una madera con porosidad anular; mientras que en *M. luisana*, la porosidad es difusa. Ambas taxa presentan elementos de vaso cortos, de diámetro pequeño y sólo los de la madera temprana son de diámetro mediano. El IV más alto (4.05) se determinó en *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*; por lo que el IV,

en conjunto con las características anatómicas de su madera, indican que este taxon es el más vulnerable a la sequía; además de presentar el IM más alto (729.05, menor tolerancia). En cambio, los valores más bajos de los IV (1.42) e IM (226.71), los presentó *M. luisana*, lo que sugiere que este taxon es más resistente a la sequía (mayor tolerancia). De ahí que, si en conjunto se considera la distribución conocida de ambos taxa, así como las predicciones relacionadas con la transformación de los ecosistemas húmedos a secos, entonces es posible sugerir que ambos taxa cuentan con las características biológicas que les permitirían ampliar su distribución, ya que demostraron ser tolerantes a dichos cambios climáticos. Por lo tanto, se propone que ambos taxa pueden ser utilizados en programas de restauración ambiental, respetando su área de distribución conocida; por ejemplo, se propone a *M. luisana* para restaurar sitios secos del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y sitios similares adyacentes, y a *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, con una distribución conocida mucho más amplia en México, para lugares mésicos.

ABSTRACT

One of the predictions related to the effect of climate change is that ecosystems could expand or reduce their ranges of distribution, as humid environments could become dry and vice versa; this in response to the degree of tolerance of the taxa, mainly plants, which conform them. For instance, within the family Leguminosae, it is considered that genus *Mimosa* is potentially able to tolerate a wide range of environmental variations. Mexican mimosas dominate in humid-warm and dry-warm ecosystems and, considering their biological and ecological importance, more studies are needed to establish the level of tolerance that these plants could have in relation to the changes that may occur in climatic elements such as temperature and precipitation. Therefore, known distribution maps and potential distribution models of *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (mesic environment, wide distribution, endemic to Mexico) and *M. luisana* (dry environment, endemic to the Valley of Tehuacán-Cuicatlán, Puebla and Oaxaca states) were generated; hence, in order to support these maps and models, mainly the potential ones, the morphological characteristics of the seeds and the seed cover, and seed germination of both taxa, were described, analyzed, compared and evaluated; as well as the their wood anatomy, getting, in addition, the Vulnerability Index (VI) and the Mesomorphy Index (MI). With this information, it was possible to establish a basis for determining the degree of tolerance of both taxa to the possible changes predicted in temperature and

precipitation, and, finally, validate such models. Once, *Mimosa* data bases (CONABIO, GBIF) were depurated and validated, and the herbaria revision done, the known distribution maps were generated, as well as the potential distribution model using the MaxEnt algorithm. *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* is widely distributed in the country; while *M. luisana* has a restricted distribution; besides, the potential distribution models indicate that both taxa may spread their distribution. The two taxa have anatomical features that support the prediction models; in the case of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* cover seed, it is formed by a cuticle, macrosclereids and parenchyma; while *M. luisana*'s cover seed, has a cuticle macrosclereids, osteosclereids and parenchyma; thus, in both cases, the seed requires scarification for germination. After scarification, regardless of temperature (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 °C), the highest germination percentage was recorded on *M. luisana* (50-100%); whereas, at 45 °C, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* showed the highest percentage of germination (35%). In relation to the wood anatomy evaluation, both taxa own characteristics that may allow them to adapt to variations in precipitation. *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* has a ring porous wood; while *M. luisana* has a diffuse porosity. Both taxa have short vessel elements, with a small diameter and, only in the early wood, the vessel elements have a median diameter. The higher VI (4.05) was determined in *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*; consequently, the VI, jointly with the anatomical characteristics of the wood, indicates that this taxon is the most vulnerable to drought; moreover, it also presents the highest IM (729.05, less tolerance). Whereas, the lowest VI (1.42) and MI (226.71) were shown by *M. luisana*, suggesting that this taxon is more resistant to drought (more tolerance). Hence, if the

known distribution of both taxa is considered together; as well as the prediction related with the transformation of humid ecosystems to dry ones, then, it is possible to suggest that both taxa have biological characteristics that would allow them to spread their distribution, because they have proved to be tolerant to such climate changes. Therefore, it is proposed that the two taxa may be used in ecological restoration programs, respecting their known range of distribution; for instance, it is possible to propose that *M. luisana* may be used to restore dry sites within the Valley of Tehuacán-Cuicatlán, and similar adjacent sites, and *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, with a much wider known distribution in Mexico, for mesic sites.

INTRODUCCIÓN GENERAL

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) calcula que la superficie terrestre se calentará hasta 5 °C para finales del siglo XXI, lo que implica cambios en la temperatura y precipitación, que variarían geográficamente (Christensen *et al.*, 2007). Por ejemplo, se espera que debido al calentamiento de la superficie del océano, las sequías aumenten en algunos ecosistemas; mientras que en otros, haya una mayor precipitación (Dirmeyer y Shukla, 1996; Peñuelas *et al.*, 2004; Rind *et al.*, 1990).

En términos ecológicos, estos efectos interactivos entre la temperatura y la disponibilidad de agua previstos para las próximas décadas, podrían afectar la distribución de las plantas y, por tanto, la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (Ward *et al.*, 1999; Peñuelas *et al.*, 2004). Estudios experimentales que simulan el calentamiento y la sequía muestran que los taxa modificaran su distribución (Peñuelas *et al.*, 2004), la cual puede ser evaluada mediante modelos predictivos.

Al respecto, Peterson *et al.* (2011) mencionan que la predicción de la distribución de los taxa se realiza con base en una aproximación de modelación de nicho ecológico, usando el algoritmo de máxima entropía Maxent (Phillips *et al.*, 2006). Sin embargo, los modelos de distribución de los taxa no consideran otros aspectos relevantes relacionados con la biología de los organismos, como son su

morfología, anatomía, fisiología, crecimiento y reproducción, entre otros, y, particularmente en plantas, su fenología, germinación y establecimiento, ya que estos aspectos muestran el grado de tolerancia de los taxa vegetales a esos cambios y, de ello, depende que los ecosistemas puedan expandirse o contraerse (Parmesan y Yohe, 2003).

Bajo la premisa de que los ecosistemas húmedos cambien a secos y viceversa (Villers, 1998), toman relevancia los taxa que habitan en ambos ambientes y considerando la predominancia del género *Mimosa* (Leguminosae) en este tipo de ecosistemas en México (Orozco-Almanza *et al.*, 2003) y a su importancia biológica y ecológica (Camargo-Ricalde *et al.*, 2002, 2010; Valiente-Banuet *et al.*, 1991; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991), es importante conocer las respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de sus taxa, en este caso de *M. aculeaticarpa* Ortega var. *aculeaticarpa* y de *M. luisana* Brandegees (Anexo), ante las condiciones actuales de temperatura y/o precipitación para determinar el grado de tolerancia que pudieran presentar ante los posibles cambios ambientales predichos y, de esta manera, sugerir una ampliación o reducción de su distribución.

Como una aproximación, se generaron modelos de distribución conocida y potencial de ambos taxa que permitieron establecer los ecosistemas en los que están o estarían presentes (Capítulo I), apoyado con el estudio de otros aspectos biológicos como son la anatomía de la semilla (Capítulo II), la germinación de las semillas a diferentes temperaturas (Capítulo III) y la anatomía de la madera (Capítulo IV), los cuales permitieron determinar la organización anatómica y el grado de

tolerancia que presentan estas taxa para validar una ampliación o reducción de su distribución, sugerida por los modelos.

LITERATURA CITADA

- Camargo-Ricalde, S.L., Dhillon S.S. y Grether R. 2002. Community structure of endemic *Mimosa* species and environmental heterogeneity in a semi-arid Mexican valley. *Journal of Vegetation Science* **13**: 697-704.
- Camargo-Ricalde, S.L., Montaña N.M., Reyes-Jaramillo I., Jiménez-González C. y Dhillon S.S. 2010. Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Trees-Structure and Function* **24**: 67-78.
- Christensen, J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.-T., Laprise, R. Magaña Rueda V., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A. y Whetton P. 2007. Regional climate projections. En: Solomon S., Qin D., Manning M., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., LeRoy-Miller H. y Chen Z. Eds. *Climate Change: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 847-940, Cambridge University Press, Cambridge.

- Dirmeyer, P.A. y Shukla J. 1996. The effect on regional and global climate of expansion of the world's deserts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **122**: 451-482.
- Martínez-Bernal, A. y Grether R. 2006. *Mimosa*. En: Novelo A. y Medina-Lemus R. (eds.). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 44. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 1-108 p.
- Orozco-Almanza, M.S., Ponce de León-García L., Grether R. y García-Moya E. 2003. Germination of four species of the genus *Mimosa* (Leguminosae) in a semi-arid zone of Central Mexico. *Journal of Arid Environments* **55**: 75-92.
- Parmesan, C. y Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems *Nature* **421**: 37-42.
- Peñuelas, J., Sabaté S., Fidella I. y Gracia C. 2004. Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación. En: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. 425-460. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid.
- 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. 314 p.
- Phillips, S.J., Anderson R.P. y Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**: 231-259.

- Rind, D., Goldberg R., Hansen J., Rosenzweig C. y Ruedy R. 1990. Potential evapotranspiration and the likelihood of future drought. *Journal of Geophysical Research* **95**: 9983-10004.
- Valiente-Banuet, A. y Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Ecology* **79**: 961-971.
- Valiente-Banuet, A., Vite F. y Zavala-Hurtado J.A. 1991. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Vegetation Science* **2**: 11-14.
- Ward, J., Tissue D.T., Thomas R.B. y Strain B.R. 1999. Comparative responses of model C3 y C4 plants to drought in low and elevated CO₂. *Global Change Biology* **5**: 857-867.

ANEXO

ANEXO. Características morfológicas de los taxa estudiados

De acuerdo con Martínez-Bernal y Grether (2006), *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se caracteriza por ser un arbusto de 1.5 a 2.5 m de altura (Figura 1A), con hojas compuestas por 6-16 pares de pinnas, y por 8-16 pares de folíolos. Sus flores son blancas o púrpuras en los lóbulos, éstas se encuentran agrupadas en capítulos solitarios y en fascículos 2-5 (Figura 1B). Forma de 1-15 legumbres por capítulo (Figura 1C), los frutos son dehiscentes y el margen es persistente (Figura 1D).



Figura 1. *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*. A. Arbusto con frutos; B. Inflorescencias en capítulo; C y D. Frutos maduros dehiscentes.

Asimismo, de acuerdo con Martínez-Bernal y Grether (2006), *Mimosa luisana* puede crecer como un arbusto o un árbol de 1.0 a 4.5 m de altura (Figura 2A), con hojas compuestas por (2-)3-5(-6) pares de pinnas, y por (2-)3-5(-6) pares de folíolos. Sus flores son lilas, éstas se encuentran agrupadas espigas solitarias y en fascículos 2(-3) (Figura 2B). Forma de 2-10 legumbres por espiga (Figura 2C). Cada legumbre se encuentra dividida en 6 o 7 artejos (Figura 2D).



Figura 2. *Mimosa luisana*. A. Arbusto con inflorescencias; B. Inflorescencias en espiga, jóvenes en color lila y viejas en color rosa pálido; C y D. Frutos maduros divididos en artejos.

OBJETIVO GENERAL

A partir de la generación de mapas de distribución conocida y modelos de distribución potencial de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae), *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana*, evaluar sus respuestas anatómicas y fisiológicas a posibles cambios de temperatura y precipitación, para determinar el grado de tolerancia de dichos taxa a esos cambios y, por lo tanto, sustentar sus modelos de distribución potencial.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Generar mapas de distribución actual y modelos de distribución potencial de dos taxa de *Mimosa* (Leguminosae), *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana*, presentes en México.
2. Describir la morfología y la anatomía de la semilla de los dos taxa del género *Mimosa* en estudio e inferir sobre sus implicaciones ecológicas.
3. Determinar el efecto de la escarificación y de la temperatura en la germinación de las semillas de los dos taxa del género *Mimosa* en estudio.
4. Describir la anatomía de la madera de los dos taxa de *Mimosa* en estudio e inferir sobre sus implicaciones ecológicas.

CAPÍTULO I

Distribución conocida y potencial de dos taxa de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae)

Actual and potential distribution of two taxa of Mimosa (Leguminosae-Mimosoideae)

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la distribución geográfica de los taxa proporciona información complementaria a la provista por estudios biológicos, ecológicos y sistemáticos, entre otros (Corsi *et al.*, 2000, Hernandez *et al.*, 2006; Loiselle *et al.*, 2003), y es indispensable para el entendimiento de los procesos y patrones de la biodiversidad (Rushton *et al.*, 2004; Wisz *et al.*, 2008), el efecto del cambio climático (Hole *et al.*, 2009; Jeschke *et al.*, 2008; Thomas *et al.*, 2004) y de los sitios con potencial para reintroducir taxa o para su posible restauración ambiental (Kumar y Stohlgren, 2009).

Por otro lado, debido a los constantes problemas que impactan a la biodiversidad (Por ej. deforestación, saqueo de taxa), existe una búsqueda continua de estrategias para la conservación, tanto de los taxa, como de los ecosistemas (Thuiller *et al.*, 2008), una de las estrategias es la modelación de la distribución geográfica.

De acuerdo con Brown (1995) y Lomolino (2005), el factor más importante que determina la distribución de los taxa es el clima; por lo que los parámetros para

modelar y explicar la distribución son la temperatura y la precipitación (Arudel, 2004; González-Espinosa *et al.*, 2004; Hernández-Pérez, 2011).

Al respecto, se han propuesto diversos algoritmos como el perfil Bioclimático, BIOCLIM (Nix, 1986); Algoritmo Genético, GARP (Stockwell y Peters, 1999); y el de Máxima Entropía, MAXENT (Phillips *et al.*, 2004), que están basados en datos de ocurrencia y/o ausencias que permiten conocer la distribución de los taxa (Elith *et al.*, 2006), y que son considerados herramientas fundamentales en la conservación y la ecología del paisaje (Peterson y Cohoon, 1999). Los algoritmos anteriores se basan en el concepto de nicho ecológico (nicho fundamental) propuesto 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 (Schoener, 1989; Soberón y Peterson, 2005).

Por lo anterior, mediante la modelación de la distribución conocida o nicho realizado de un taxon se obtiene información sobre el intervalo ambiental en el que se establece, y con la modelación del nicho fundamental o distribución potencial se reconocen los sitios donde existen las condiciones ambientales propicias para que se establezca dicho taxon y, de esta manera, se pueden estimar los efectos de las variaciones en los parámetros de temperatura y precipitación en la distribución de los taxa (Morales, 2012). Cabe señalar que los efectos a tales variaciones pueden verse

reflejados desde el nivel específico hasta el nivel ecosistémico (Parmesan y Yohe, 2003; Trejo *et al.*, 2011).

ANTECEDENTES

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

Para conocer y determinar las condiciones climático-ambientales en las que se localiza un taxon, es necesario conocer su distribución geográfica. Al respecto, existen diversos estudios que analizan la distribución geográfica de los taxa a diferentes escalas: *i*) Continental (De la Estrella *et al.*, 2012; Ndayishimiye *et al.*, 2012; Pacheco *et al.*, 2010), *ii*) Geopolítica, a nivel de país (Bravo, 2011; Contreras-Medina *et al.*, 2010; Núñez-Colín, 2010) o a nivel estatal (Harbert *et al.*, 2014; Hernández-Pérez *et al.*, 2011; Hurtado, 2007; Villaseñor y Téllez, 2004), *iii*) algunos consideran la Regionalización Biogeográfica; por ejemplo, Sotuyo *et al.* (2010) analizaron la distribución del complejo *Caesalpinia hintonii* en la Depresión del Balsas, y Duno-de Stefano *et al.* (2012) que analizaron los patrones de distribución geográfica de 224 taxa de leguminosas nativas de la Península de Yucatán; y *iv*)

otros se basan en las Provincias Florísticas (Ávila-Bello y López-Mata, 2001). Sin embargo, independientemente de la escala, todos utilizan los sistemas de información geográfica (SIG) para mapear la distribución conocida de los taxa; además de emplear algoritmos para modelar la distribución potencial, los cuales requieren conocer las condiciones ambientales del hábitat donde se establece el taxon (Jarvis *et al.*, 2005).

La información sobre las condiciones ambientales en las que se establecen los taxa se puede obtener de: *i*) Bases de datos, ya sea de herbarios (Duno-de Stefano *et al.*, 2012; Gómez-Mendoza, 2008; Ndayishimiye *et al.*, 2012; Villaseñor y Téllez, 2004), de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO (Guevara-Escobar *et al.*, 2008; Núñez-Colín, 2010), de Tropicos (Mateo, 2008) y del Nomenclator (Rodríguez-Ochoa, 2014), *ii*) Consultas de etiquetas de herbarios (Ávila-Bello y López-Mata, 2001; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2012; De la Estrella *et al.*, 2012; Hurtado, 2007), y *iii*) Colectas de campo (Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007; Palacios, 2010; Sunil *et al.*, 2009).

Con la información recabada de cualquiera de las fuentes anteriormente mencionadas, se procede a mapear la distribución conocida de los taxa; mientras que para modelar la distribución potencial, además de la información recabada, se requiere el uso de algoritmos que consideren variables climáticas y generen resultados confiables (Grand *et al.*, 2007). Entre los modelos que predicen la distribución potencial encontramos por orden de aparición a: *i*) El Perfil Bioclimático, BIOCLIM, que calcula los parámetros bioclimáticos para todos los sitios de registro,

con ellos genera un perfil bioclimático que sintetiza las condiciones climáticas de los sitios analizados y los compara con los atributos climáticos del área de estudio (Fischer *et al.*, 2001), *ii*) Algoritmo Genético, GARP, el cual proyecta los datos dependiendo de las interacciones, éstas las genera el programa entre las capas ambientales determinadas para el taxon en estudio y los puntos de registro del taxon que se realicen (Hurtado, 2007), *iii*) Máxima Entropía, MAXENT, que estima la probabilidad de distribución esperada, encontrando la probabilidad de distribución que es más uniforme (entropía máxima), dadas las restricciones de que el valor esperado de cada variable predicativa ambiental se ajuste con su promedio empírico (valores para los datos de registros positivos - Phillips *et al.*, 2006).

De acuerdo con Mateo (2008), BIOCLIM presenta varias desventajas como son: *i*) Es un método poco flexible, ya que no permite interacciones entre variables; *ii*) Da la misma importancia a todas las variables; *iii*) No tienen ningún procedimiento para seleccionar variables; *iv*) No se puede conocer la influencia de cada variable en el modelo final; *v*) Tampoco está muy claro cómo puede afectar el empleo de numerosas variables que están altamente correlacionadas en el resultado final de los modelos; *vi*) Es un método que tiende a sobreajustar; y *vii*) Es muy susceptible a la presencia de valores atípicos (*outliers*).

Por otro lado, GARP presenta las siguientes desventajas *i*) El modelo genera pseudo-asusencias (Soberón y Peterson, 2005); *ii*) Tiende a cometer errores de comisión (Almazán, 2007), es decir, el modelo predice la presencia de un taxon

cuando realmente no se ha observado (Mateo, 2008); y *iii*) Presenta diferentes modelos utilizando los mismos datos (Anderson *et al.*, 2003).

Las limitaciones del algoritmo de MAXENT son realmente las conocidas; es decir, no existe un método de selección de variables, pero permite interacciones entre las variables; asimismo, se puede investigar el efecto de cada una (Mateo, 2008), y funciona con tamaños de muestra pequeños (Hernandez *et al.*, 2006; Mateo, 2008); por lo que es considerado uno de los mejores modelos para predecir la distribución de los taxa (Elith *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2006; Herrera, 2012; Phillips y Dudík, 2008; Ramírez-Villegas *et al.*, 2010).

Uno de los parámetros para elegir el algoritmo con el cual trabajar la modelación de la distribución, es el tipo de datos con los que se cuente; es decir, con datos de presencia u ocurrencia (Tsoar *et al.*, 2007), con datos de presencia y ausencia (Elith *et al.*, 2006; Graham *et al.*, 2008; Manel *et al.*, 2001) e, incluso, existen estudios que cuentan, además, con datos de abundancia (Cawsey *et al.*, 2002; Leathwick, 2001; Pearce y Ferrier, 2001). Cabe mencionar que los algoritmos BIOCLIM, GARP y MAXENT, requieren solamente de datos de presencia (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006; Riquelme, 2013) y, aunque son métodos criticados por basarse únicamente en registros de presencia, es importante mencionar que la mayoría de los estudios se basan en este tipo de datos (Mateo *et al.*, 2011), ya que no existen datos de ausencias (P.ej., Graham *et al.*, 2004; Mateo *et al.*, 2010).

Otro parámetro es el número de datos de presencia (tamaño de la muestra) con los que se cuenta. Al respecto, Mateo (2008) menciona que el tamaño de la muestra tiene una influencia potencial en la consistencia y fiabilidad de los modelos. De manera que la estabilidad y la consistencia de los modelos disminuye según disminuye el tamaño de la muestra; mientras que la fiabilidad final de los modelos debe aumentar con tamaños de muestra mayores (Hernandez *et al.*, 2006; McPherson *et al.*, 2004; Wisz *et al.*, 2008). Franklin (2009) menciona que existe discrepancia entre la cantidad de datos para realizar la modelación de la distribución que va desde 30, 50 y 100 como mínimo, hasta 100 y 500 como máximo.

Cabe señalar que, de acuerdo con Herrera (2012), más allá del número de observaciones, lo importante es contar con ocurrencias del taxon que se encuentren bien distribuidas a lo largo del espacio que se sabe ocupa el mismo. Sin embargo, es importante considerar que, en ocasiones, los registros pueden ser muy limitados, principalmente en taxa de distribución restringida (Pearson *et al.*, 2006), por lo que, muchas veces, se tiene la duda de cuántas observaciones son necesarias para que los resultados de un modelo sean confiables (Herrera, 2012).

Al respecto, Hernandez *et al.* (2006) reportan que los algoritmos BIOCLIM y GARP requieren de un tamaño de muestra grande. En el caso de BIOCLIM, debe ser superior a 150 registros y, aún con ello, se tiene una baja precisión al momento de predecir la distribución; mientras que GARP, con 75 registros, alcanza su máxima precisión; aunque, con 10 (Stockwell y Peterson, 2002) o 15 registros (Papeş y Gaubert, 2007), se genera un modelo confiable. En el caso de MAXENT, se

mantiene estable la precisión de la predicción a partir de 5 registros de presencia (Hernandez *et al.*, 2006).

Cabe señalar que, además del tamaño de la muestra, existen otros factores importantes que deben ser considerados; entre ellos destacan la calidad de los datos y la ecología del taxon; es decir, si presenta una distribución amplia o restringida (Mateo, 2008).

Es necesario considerar las limitaciones que tiene el hacer uso de bases de datos, consulta de herbarios (etiquetas/ejemplares) y colectas (datos de campo/ejemplares), o una combinación de las anteriores, ya que lo anterior se verá reflejado en una buena calidad de los datos. De acuerdo con Graham *et al.* (2004) y con Stein y Wieczorek (2004), las bases de datos deben ser depuradas; es decir, eliminar registros con información incompleta y con errores taxonómicos, entre otros.

Asimismo, para muchas taxa existe una relativa escasez de datos y poca disponibilidad de ellos; además, presentan problemas relacionados con sesgos debido a la limitada accesibilidad de sus sitios (Peterson *et al.*, 1998). Actualmente, los trabajos sobre el modelado de la distribución de taxa mexicanos se consideran escasos (Yberri, 2009). Considerando que, en México, se tienen seis familias representativas debido al número de taxa que presentan (Rzedowski, 1991); entre ellas, la familia Leguminosae, la cual está presente en todos los tipos de vegetación y es de suma importancia económica para el país, por lo que es importante mapear la distribución conocida y la potencial de sus taxa, para evaluar los posibles efectos de

las variaciones en los regímenes de temperatura y precipitación en la distribución de las mismas.

En México, las leguminosas son una de las familias más amplias y mejor representadas (Sosa y Dávila, 1994); sin embargo, los estudios enfocados en la distribución de sus taxa son escasos. Al respecto, Guevara-Escobar *et al.* (2008) determinaron la distribución potencial de una selección de taxa arbustivos de leguminosas del bosque tropical caducifolio en el Altiplano Mexicano. Ellos reportan que *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. y *Calliandra* spp. fueron las leguminosas con 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. & Rose y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit; estas últimas se ubican en la subfamilia Mimosoideae, al igual que *Mimosa*, siendo este el género más diverso de Mimosoideae en el país (Grether *et al.*, 1996).

El género *Mimosa* ha sido objeto de múltiples estudios (P. ej. sistemáticos, anatómicos, ecológicos, etc.), por lo que el conocimiento sobre sus taxa es significativo; aunque, el conocimiento relacionado con su distribución es parcial (Grether *et al.*, 2007; Grether *et al.*, 2015; Martínez-Bernal y Grether, 2006), sobre todo en el caso de su distribución potencial.

Por lo anterior, este estudio busca contribuir al conocimiento de la distribución del género *Mimosa*; en particular, se pretende explorar la distribución conocida y

potencial de *M. aculeaticarpa* Ortega var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* Brandegeee, cuya conservación, considero, es prioritaria debido a que son taxa multipropósito (Dhillion *et al.*, 2004; Martínez-Pérez *et al.*, 2006; Pavón *et al.*, 2011), ya que ofrecen múltiples servicios a los ecosistemas y pobladores donde se establecen.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la distribución conocida de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana*?

¿Cuál es la distribución potencial de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana*?

HIPÓTESIS

Si la distribución de los taxa está determinada por factores climáticos como la temperatura, la precipitación; entonces, debido a que el taxon con amplia distribución no tiene preferencia por algún tipo de clima, este ampliará su distribución; mientras que el taxon con distribución restringida, la reducirá.

OBJETIVO

Determinar la distribución conocida y potencial de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana*, ambas endémicas de México.

MÉTODOS

Selección de los taxa

Se eligió a *Mimosa aculeaticarpa* var. *acuelaticarpa* y a *M. luisana*, ambos taxa endémicos de México, pero con diferente distribución. De acuerdo con Grether *et al.* (2007), *M. aculeaticarpa* var. *acuelaticarpa* presenta una amplia distribución en el país, estableciéndose tanto en climas secos como templados; mientras que *M. luisana* es un taxon restringido al Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y Oaxaca, y sólo se establece en climas secos (Martínez-Bernal y Grether, 2006).

Obtención de datos

Los registros de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* fueron extraídos de la base de datos de Leguminosas proporcionada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y de la base de datos del Herbario Nacional (MEXU).

Asimismo, para la incorporación de datos, se realizó una consulta de ambos taxa en los siguientes herbarios: Herbario Nacional de México (MEXU), del Instituto de Biología, de la Universidad Nacional Autónoma de México; Herbario Metropolitano (UAMIZ), de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa; Herbario del Centro Regional del Bajío (IEB), del Instituto de Ecología, A.C., Pátzcuaro, Michoacán, y Herbario de la Facultad de Ciencias Naturales (QMEX), de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se revisaron los ejemplares para ratificar o rectificar su identificación y

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

se extrajeron los datos de las etiquetas de herbario de los mismos. Posteriormente, se elaboró una base de datos para cada taxon en formato de Excel.

Depuración y validación de datos

Para ambos taxa, 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 sean comparables con otras bases de datos (P. ej. el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB)). Para corregir los errores, antes mencionados, se establecieron criterios taxonómicos y geográficos mínimos a cumplir por cada registro de la base de datos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Criterios taxonómicos y geográficos mínimos a cumplir por cada registro de la base de datos incorporado.

Criterios Taxonómicos	Criterios Geográficos
De la base de CONABIO, sólo se tomaron los registros que cuentan con el campo revisado.	Revisión de áreas de distribución <i>a priori</i> (municipios, estados), por taxon, definidas con base en la experiencia del especialista, sus publicaciones taxonómicas y florísticas.
En el caso de <i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i> , si el registro no presentaba la variedad, éstos se descartaron.	Que las localidades no estuvieran repetidas.
Revisión del nombre de los taxa (ortografía y sinonimia).	Que los registros coincidieran con los rangos latitudinales en los que se desarrolla cada taxon.
Revisión del año de publicación del taxon.	Que las coordenadas geográficas coincidieran con el sitio de colecta del taxon.
Confiablez del especialista que determinó el ejemplar.	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 pudieran existir.

Para cada taxon, se revisó su base de datos, de manera que los registros que presentaban coordenadas geográficas, fueron validados con el programa ArcMap ver. 10.2.2 (Análisis espacial), la cobertura de municipios (INEGI, 2005) y el programa Nomenclator (2005). Cuando se detectaron municipios equivocados, se corrigieron y se contabilizaron como puntos validados.

Con base en la experiencia de campo de la especialista en el género, Dra. Rosaura Grether González, y en la literatura especializada, se validó la presencia del taxon en una coordenada dada. De esta forma, se formuló *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.

Lo anterior, permitió detectar registros en lugares equívocos, donde no está o pudo ser confundido con otro taxon, o no fue corroborado por la especialista; por lo tanto, estos datos fueron eliminados.

Debido a que en el manejo de la base de datos es recomendable trabajar con un número menor de registros sin auto-correlación espacial para lograr una mejor calidad de datos para la modelación, los registros con localidades repetidas fueron excluidos, dejando un sólo registro validado.

Distribución conocida

Una vez depurados los datos, éstos se posicionaron utilizando el programa ArcMap ver. 10.2.2. Asimismo, los datos de presencia se sobre-posicionaron sobre las

siguientes capas: *i*) elevación, *ii*) climas, *iii*) suelos, *iv*) provincias biogeográficas y *v*) cuencas hidrológicas, obtenidas de la página de la CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>, publicadas en 2001), por lo tanto, la clasificación utilizada es la propuesta por CONABIO (2011).

El número de datos de ocurrencia utilizados para mapear la distribución conocida de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* fue de 99 y de 50 datos para *M. luisana*.

Distribución potencial

Modelación de la distribución potencial

La distribución potencial de ambos taxa fue modelada con base en una aproximación de modelación de nicho ecológico (Peterson *et al.*, 2011), usando el algoritmo de máxima entropía MAXENT (Phillips *et al.*, 2006). Se seleccionó el algoritmo MAXENT porque no se contó con ausencias reales de los taxa (Elith *et al.*, 2010; Peterson *et al.*, 2011).

Validación estadística

Los registros depurados tanto taxonómica como geográficamente, fueron validados estadísticamente mediante el programa estadístico SPSS (Statistics versión 21 2012, www.ibm.com.analytics/spss). Se identificaron los datos atípicos mediante diagramas de caja (*box plot*) que muestran las medidas de tendencia central y de dispersión de los datos, producto de un cruce entre los registros (localidades únicas) y las

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

coberturas 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 del modelo. Una vez eliminados los datos atípicos, los datos validados se utilizaron para crear el perfil bioclimático de cada taxon mediante estadística descriptiva (valor promedio, máximo, mínimo y desviación estándar), también realizada en el programa SPSS.

Asimismo, para modelar la distribución potencial de ambos taxa, se utilizaron las coberturas obtenidas de Worldclim (<http://www.worldclim.org/> - Hijmans *et al.* 2005), el cual consta de 19 superficies climáticas con información sobre temperatura y precipitación (Cuadro 2), siendo recortadas para México.

Cuadro 2. Variables climáticas (coberturas de Worldclim), utilizadas por MAXENT, para generar los mapas de distribución potencial de los dos taxa de *Mimosa* estudiados.

No.	Abr.	Cobertura 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)

Para modelar la distribución potencial de ambas taxa de *Mimosa* en estudio, 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. Se comparó la ganancia que tendría el modelo con cada una de sus variables y se detectaron cuáles fueron las variables que, al retirarlas o no considerarlas, sesgarían el modelo (Reguerín, 2012). El modelo también podría sesgarse debido a la correlación entre variables; así, se realizó una prueba de correlación Pearson, para detectar las variables independientes (Sokal y Rohlf, 1995) y, explorar la sensibilidad del modelo al ir excluyendo variables.

El coeficiente de correlación de Pearson se llevó a cabo obteniendo un cruce de los registros de cada uno de los taxa y las 19 variables climáticas; de esta manera, además de la selección de variables, también se obtuvo el perfil bioclimático de cada taxon.

Criterio de selección de la región de referencia (M)

El criterio para modelar la distribución de los taxa de *Mimosa* en estudio, fue mediante su patrón de distribución geográfica (movilidad=M). Se seleccionó a *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, con amplia distribución en México, y *M. luisana*, con distribución endémica restringida al país (Grether *et al.*, 1996; Grether *et al.*, 2007; Martínez-Bernal y Grether, 2006).

La región M fue delimitada considerando límites geográficos naturales, para lo cual, se empleó la cobertura de cuencas hidrológicas para México de la Comisión Nacional del Agua (CNA-México, 1998, Escala: 1:250000), obtenida de la página de la CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>).

Evaluación de los modelos

Como método de evaluación, se utilizó el área bajo la curva (AUC), el cual ha sido aceptado como un método estándar para evaluar la exactitud de los modelos de distribución (Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007; Lobo *et al.*, 2007). El valor utilizado del AUC fue el generado por el algoritmo MAXENT (Reguerín, 2012). De acuerdo con Herrera (2012), los valores del AUC oscilan de 0 a 1; los más cercanos a 1, representan un ajuste perfecto del modelo; mientras que los más cercanos a 0, representan un desajuste completo del modelo. Asimismo, se consultaron las clasificaciones propuestas por Burgueño *et al.* (1995) y Menzaour (2005) para indicar la categoría (malo, bueno, excelente) a la que pertenece el modelo.

RESULTADOS

La base de datos proporcionada por la CONABIO consta de 7,144 registros para el género *Mimosa*, de los cuales 353 pertenecen a los taxa estudiados. *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* tuvo 281 registros; mientras que 72 corresponden a *M. luisana*.

1. Depuración de las bases de datos; errores taxonómicos y geográficos

1.1 *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*

En la base de datos de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, se detectaron problemas taxonómicos y geográficos. Los problemas taxonómicos hacen referencia a la confusión entre taxa. Por ejemplo, la especialista en el género considera que la variedad *biuncifera* (base de datos de la CONABIO) es en realidad un taxon diferente. Aunque, Barneby (1991) la considera una variedad de *aculeaticarpa*.

En la base de datos de la CONABIO, 15 registros pertenecen a la variedad *biuncifera*; uno más, reporta la variedad *lindheimeri* (=var. *biuncifera*, Barneby, 1991), y otro reporta la variedad *imparilis* (= *Mimosa galeotti*, Barneby, 1991), por lo que estos 17 registros fueron descartados.

Por otro lado, 221 registros fueron eliminados de la base de datos, ya que no especifican la variedad (*aculeaticarpa* o *desmanthocarpa*). Sólo hubo un registro con la variedad *desmathocarpa* y también fue descartado.

Diez registros de la base de datos de la CONABIO mostraron que este taxon se distribuye en el estado de Tamaulipas y otro en el estado de Chihuahua, por lo que los 11 registros fueron descartados, ya que salen del patrón de distribución del taxon.

Por otra parte, se detectó que dos registros de la misma base de datos presentan municipios equivocados, éstos se corrigieron con ayuda de la especialista

se tomaron como datos validados. Asimismo, cuatro registros presentaron localidades repetidas y fueron descartados.

Finalmente, la base de datos que originalmente constaba de 281 registros, quedó con sólo 40 registros validados.

1.2 *Mimosa luisana*

En el caso de la base de datos de *Mimosa luisana*, también presentó errores taxonómicos y geográficos. Debido a errores taxonómicos, solamente se descartó un registro porque le faltan varios datos, entre los que destacan: no hay apellido del colector, el campo de observado o reportado está en blanco, no hay dato de altitud del sitio, no hay fecha de colecta y no hay localidad exacta.

Cuatro registros reportan una distribución en el Distrito Federal, Oaxaca (centro), Michoacán y Durango, respectivamente, y, de acuerdo con la especialista en el género, dichos registros salen del patrón de distribución del taxon, por lo que fueron descartados.

Un registro más fue descartado, ya que, mediante la revisión del ejemplar en el Herbario Metropolitano (UAMIZ), se encontró que éste corresponde a un ejemplar colectado en el municipio de Coxcatlán; sin embargo, la base de datos de CONABIO reporta al ejemplar en el municipio de Caltepec, lo cual no corresponde.

Asimismo, se detectó que cuatro registros presentaron municipios equivocados; se corrigieron con ayuda de la especialista y se tomaron como datos

validados. Además, 27 registros presentaron localidades repetidas, por lo que fueron descartados.

Finalmente, la base de datos que originalmente constaba de 72 registros, quedó con sólo 38 registros validados.

2. Adición de registros

A la base de datos que se elaboró para *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* que constaba de 40 registros validados provenientes de la CONABIO, se le adicionaron 59 registros más (99 registros en total), lo que permitió elaborar el patrón de distribución geográfica del taxon. Cabe señalar que los registros se obtuvieron de la siguiente manera: 40 registros del Herbario Regional del Bajío (IEB), 12 registros de la Base de Datos del Herbario Nacional de México (MEXU) y 7 registros fueron tomados directamente de las etiquetas de los ejemplares de Herbario del MEXU; todos los registros fueron validados siguiendo los criterios mínimos a cumplir presentados en el Cuadro 1.

Respecto a la base de datos de *Mimosa luisana*, ésta constaba de 38 registros validados provenientes de la CONABIO; se le adicionaron 12 registros del IEB (50 registros en total).

3. Distribución conocida de los taxa

3.1. *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*

Los resultados indican que *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se encuentra presente en 16 estados de la República Mexicana (Cuadro 3; Figura 1). Los estados con el mayor número de registros son: Michoacán (30), Guanajuato (19), Oaxaca (13) y Querétaro (12); mientras que cinco estados (Aguascalientes, Zacatecas, Guerrero, Tlaxcala y Veracruz) sólo presentaron uno.

El análisis de los registros mostró que los individuos de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se localizan desde los 0 hasta los 2,500 msnm (Figura 2); aunque, el mayor número de localidades (39) se ubica entre 1,500-2,000 msnm (Figura 3). Cabe mencionar que, la capa de elevación maneja rangos de altitudes, por lo que para datos exactos la altitud se tomó directamente de los datos originales, resultando en que este taxon se distribuye entre los 1,900 y 2,700 msnm, concordando con lo reportado en la Flora del Bajío (Grether *et al.*, 2007)

Asimismo, se realizó una sobre-posición de las localidades de este taxon con la capa de climas, obteniendo que el mayor número de localidades predominan en un clima árido; no obstante, también se localiza en climas semiáridos, templados y méxicos (Anexo 1 y Figura 4).

La sobre-posición de las coordenadas de las localidades con la capa de suelos indica que la mayoría de las colectas fueron de individuos que se ubican en suelos de tipo regosol éutrico (21 registros), seguido del vertisol crómico (15

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

registros), regosol calcárico (14 registros) y del feozem háplico (13 registros; Figuras 5 y 6).

Cuadro 3. México, estados del país donde se ha colectado *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

Estado	Número de registros	Estado	Número de registros
Aguascalientes	1	Nuevo León	3
Durango	2	Oaxaca	13
Estado de México	2	Puebla	5
Guanajuato	19	Querétaro	12
Guerrero	1	San Luis Potosí	3
Hidalgo	3	Tlaxcala	1
Jalisco	2	Veracruz	1
Michoacán	30	Zacatecas	1

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

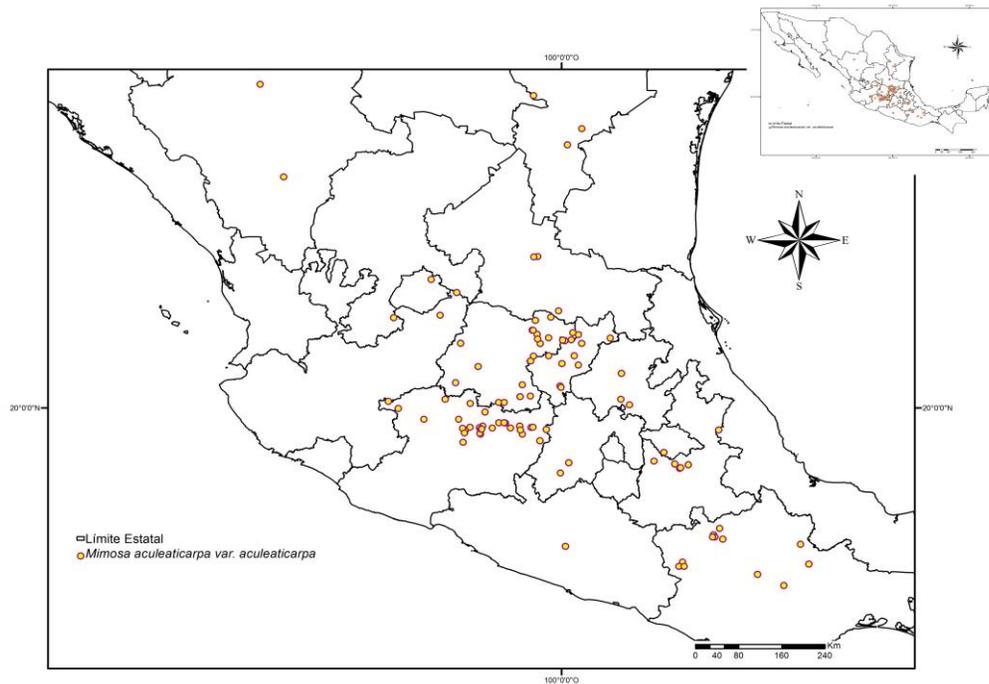


Figura 1. México, localidades de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

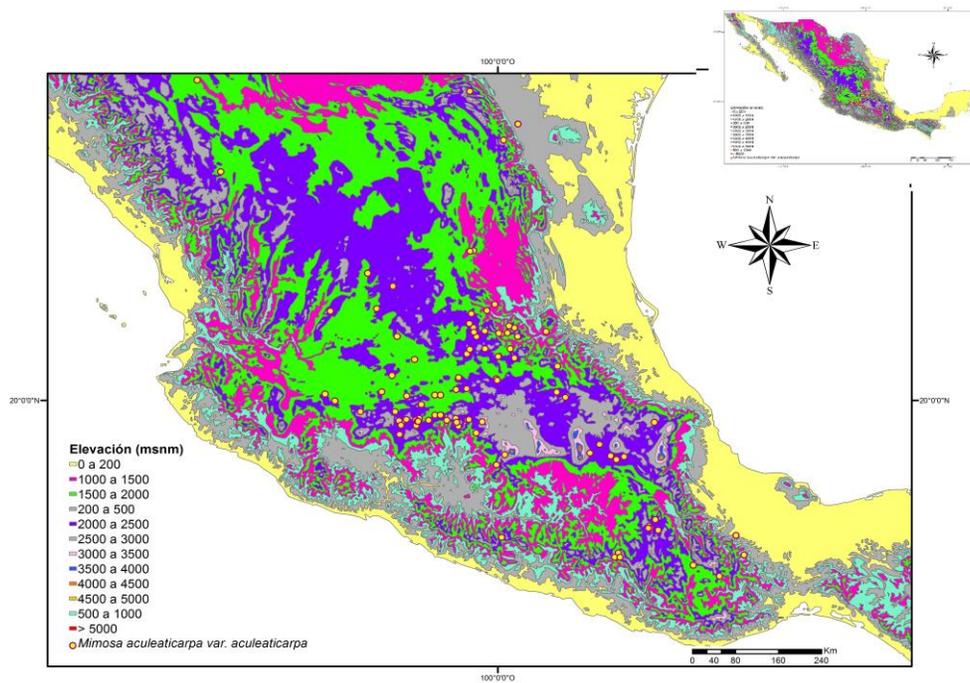


Figura 2. México, elevaciones en las que se localizan los registros de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

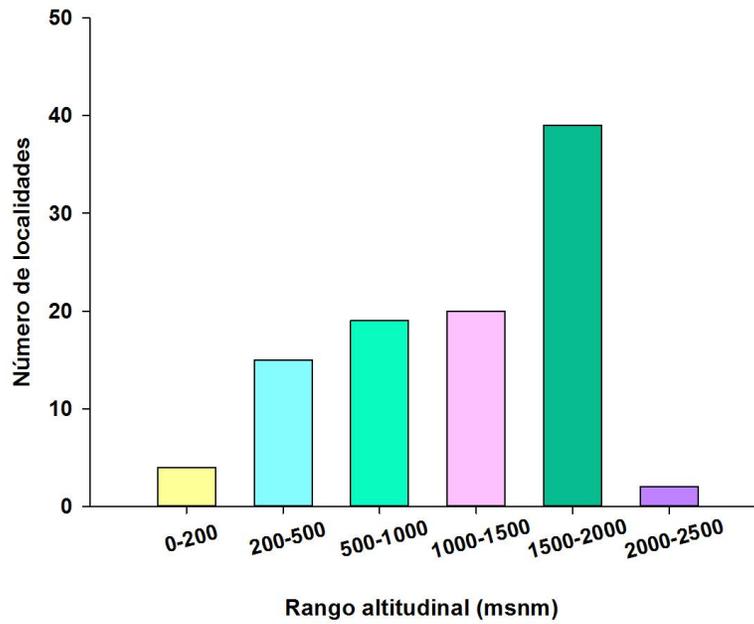


Figura 3. Número de localidades de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* por rango altitudinal.

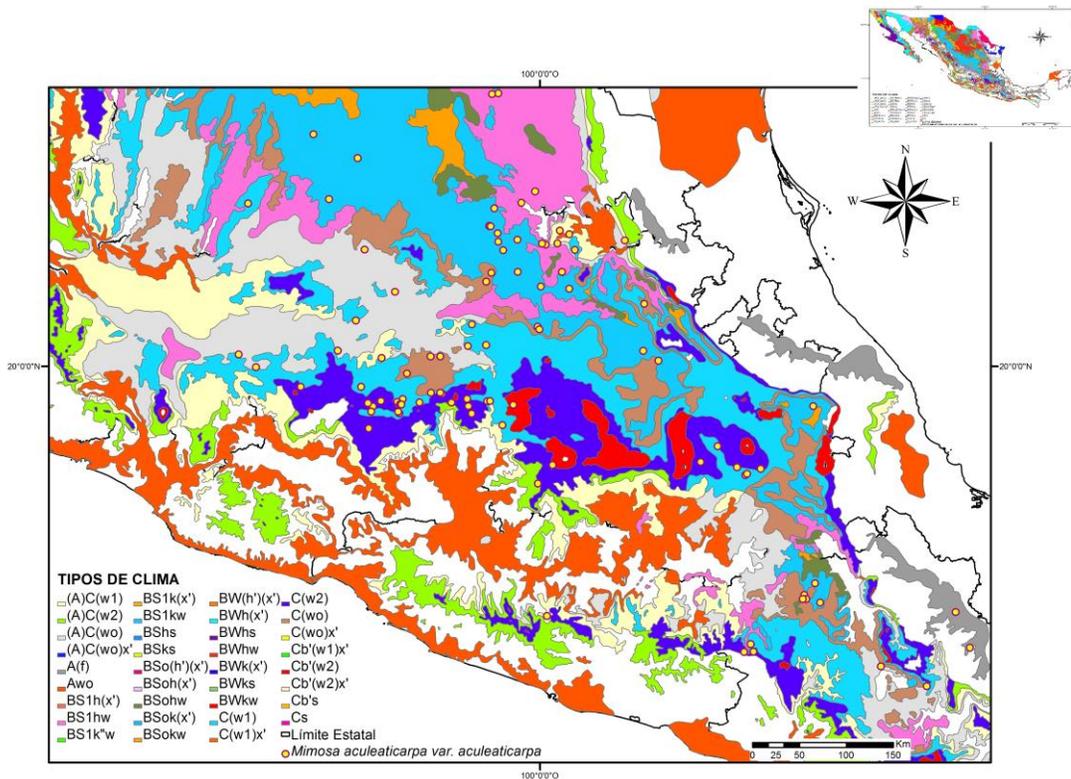


Figura 4. México, climas en los que se localizan los registros de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

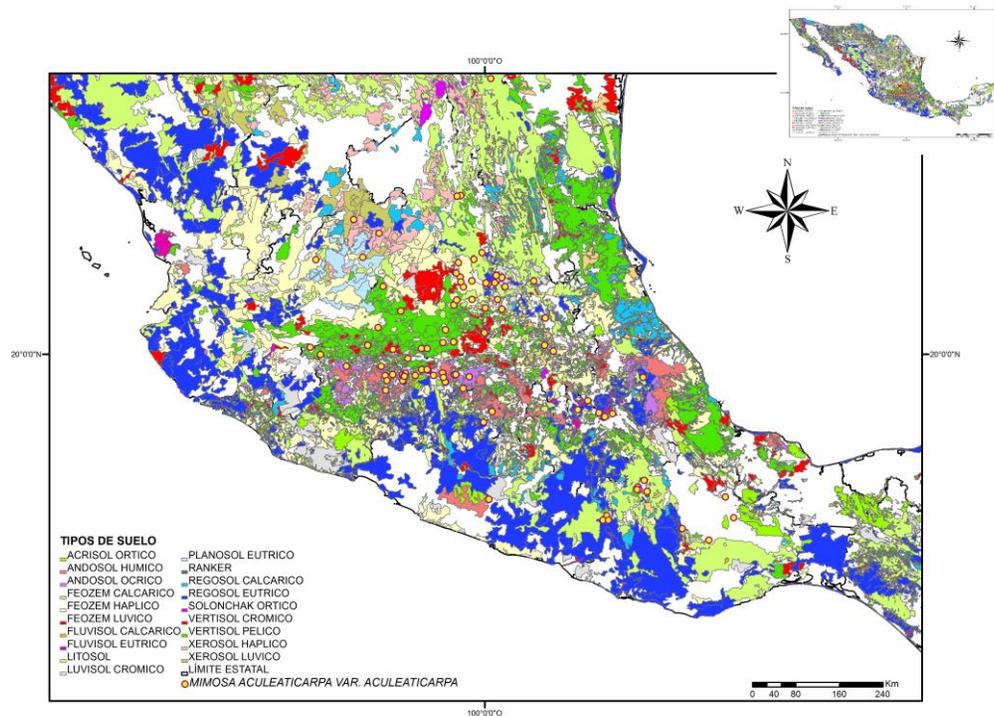


Figura 5. México, suelos en los que se establece *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

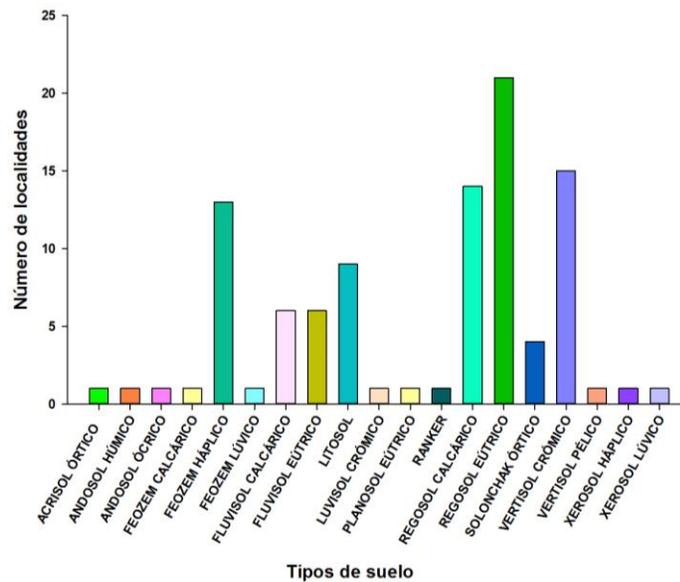


Figura 6. Número de localidades de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* por tipo de suelo.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Además, los resultados indican que la distribución conocida de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* abarca ocho provincias biogeográficas (CONABIO, 2001): 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 (Figura 7).

Cabe mencionar que, aunque los resultados indican que el Eje Volcánico es la provincia con el mayor número de localidades (46), seguido del Altiplano Sur (29), no es posible asegurar que el taxon predomina en el estado de Michoacán, debido a la falta de exploración de otros sitios.

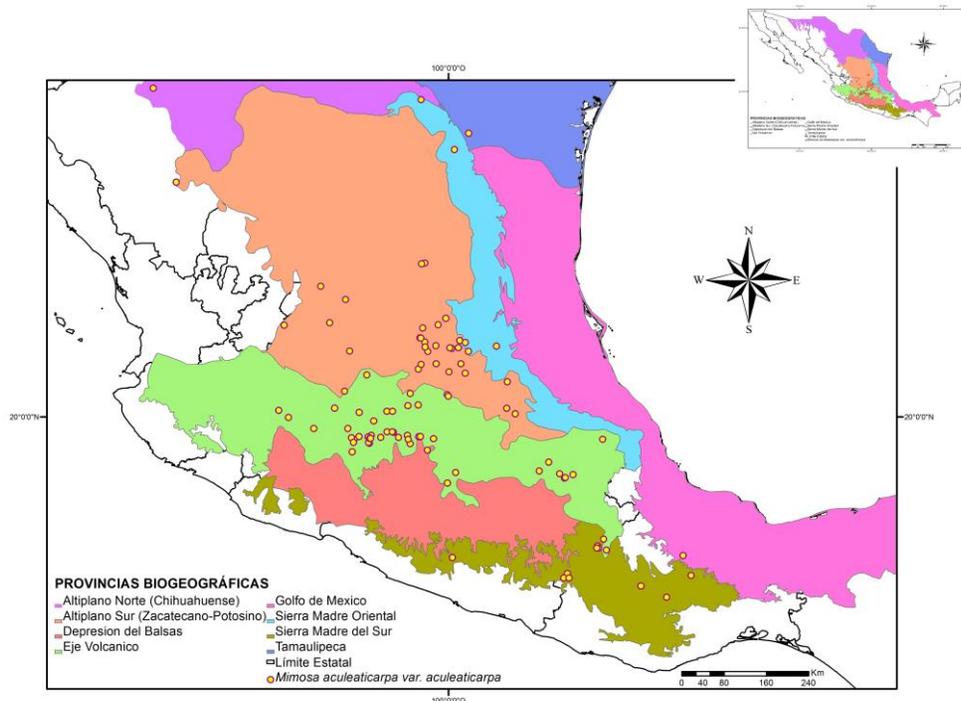


Figura 7. Provincias biogeográficas en las que se localizan los registros de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Por último, la sobre-posición de las localidades con la capa de cuencas hidrológicas muestra que los sitios están cercanos a una fuente de agua, destacando que el mayor número de colectas se ha realizado en la Cuenca del Río Moctezuma y en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo y Lago de Yuridia (Figura 8).

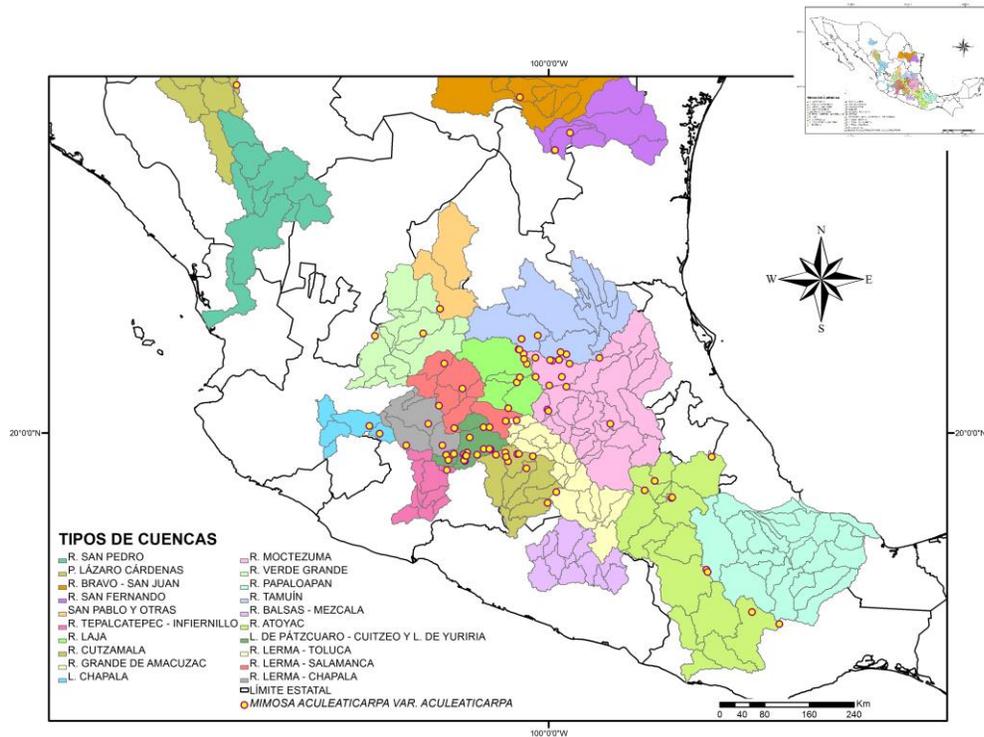


Figura 8. México, cuencas hidrológicas en las que se localizan los registros de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

3.2. *Mimosa luisana*

Mimosa luisana es endémica de México, específicamente, su distribución está restringida al Valle de Tehuacán-Cuicatlán, estados de Puebla y Oaxaca. Los resultados indican que el mayor número de colectadas han sido realizadas en el estado de Puebla (Figura 9).

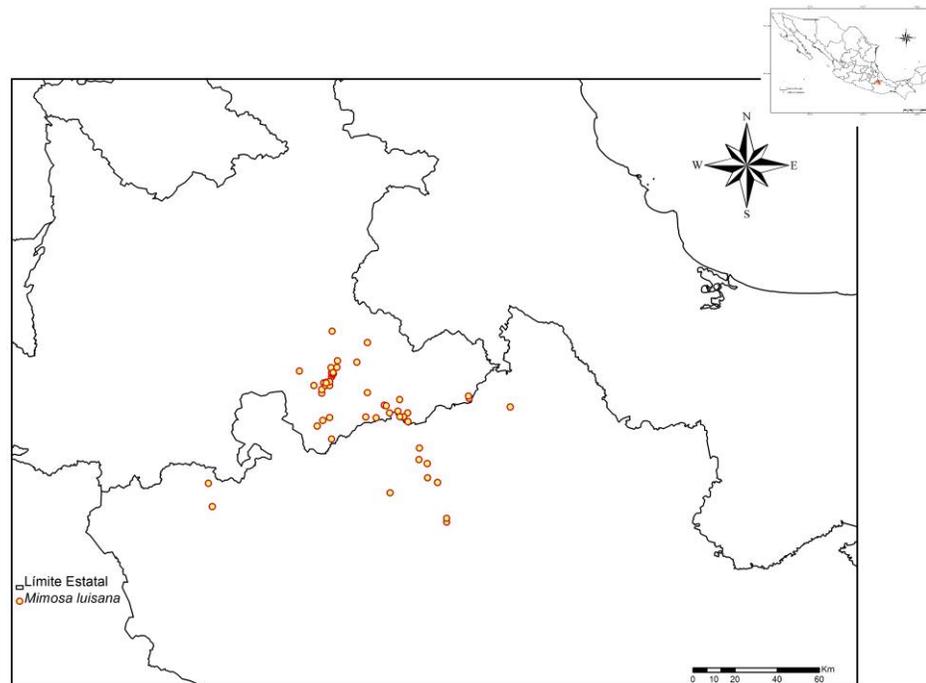


Figura 9. México, localidades de *Mimosa luisana* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y Oaxaca.

El análisis de los registros obtenidos mostró que los individuos de *M. luisana* se localizan en el rango que de los 0 hasta los 2,000 msnm (Figuras 10 y 11). El mayor número de localidades (15) se ubica entre 500-1,000 msnm; aunque, 14 localidades se localizan entre 1,500-2,000 msnm. Cabe mencionar que, la capa de elevación maneja rangos de altitudes, por lo que para datos exactos la altitud se tomó directamente de los datos originales, resultando en que este taxon se distribuye entre los 500 y 1,760 msnm, concordando con lo reportado en la Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Martínez-Bernal y Grether, 2006)

La sobre-posición de las localidades de este taxon con la capa de climas, mostró que la mayoría de las localidades están ubicadas en un clima árido (Anexo 2

y Figura 12). De manera adicional, los resultados muestran que *M. luisana* predominan en suelos de tipo regosol calcárico (Figuras 13 y 14). Asimismo, se observó que el taxon se distribuye principalmente en las siguientes provincias biogeográficas: 1) Eje Volcánico, 2) Oaxaca, y 3) Sierra Madre del Sur (Figura 15).

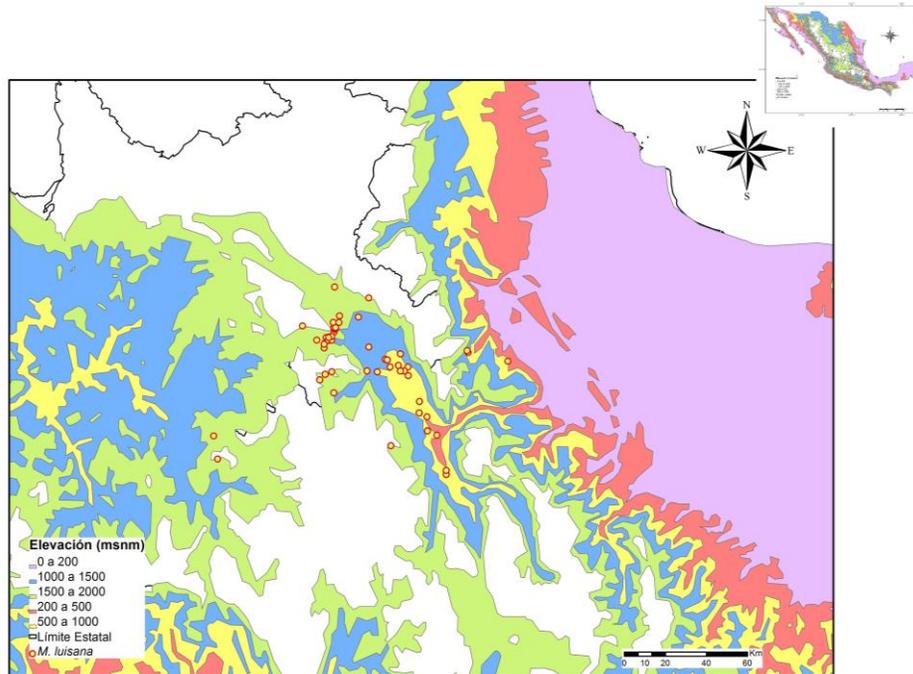


Figura 10. México, elevaciones en las que se localizan los registros de *Mimosa luisana*.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

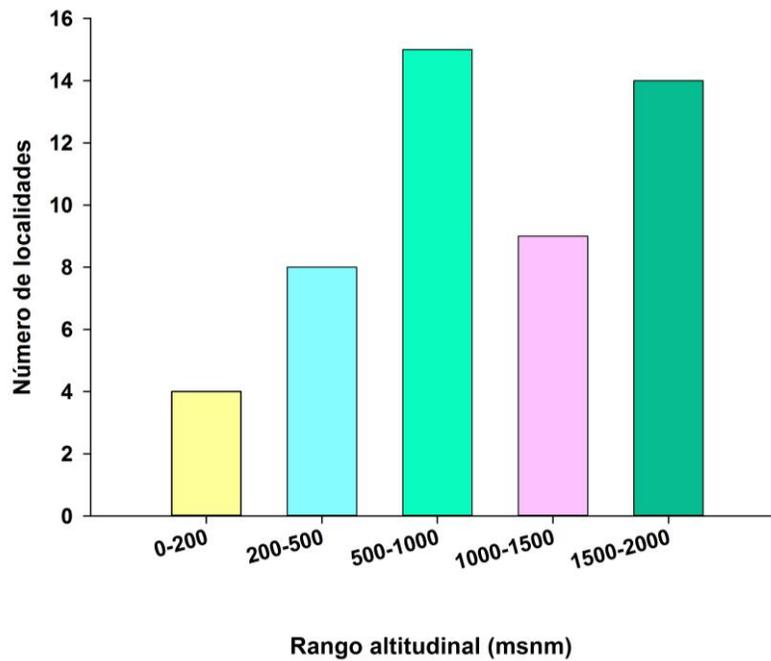


Figura 11. Número de localidades de *Mimosa luisana* por rango altitudinal.

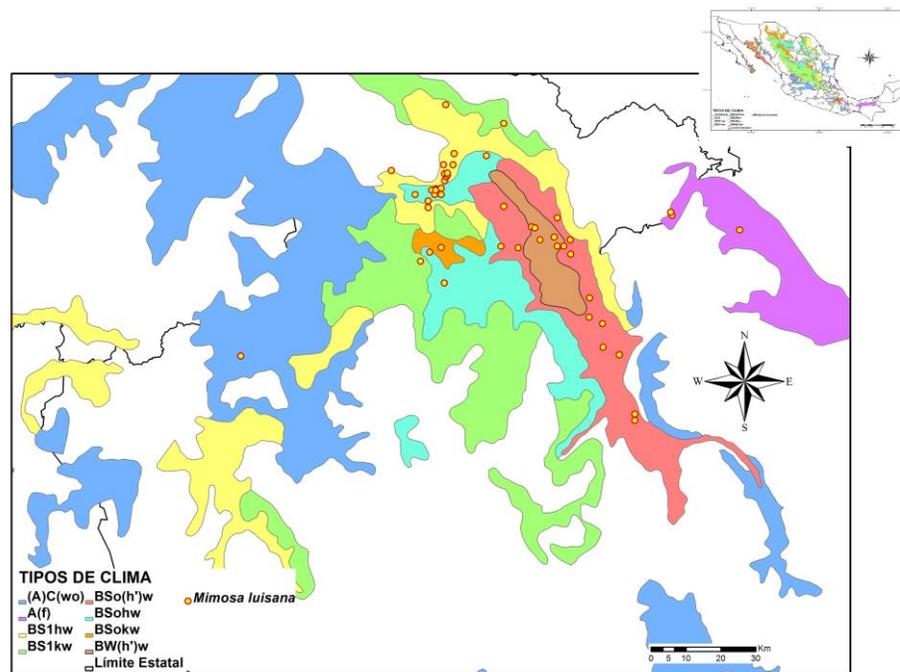


Figura 12. México, climas en los que se localizan los registros de *Mimosa luisana*.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

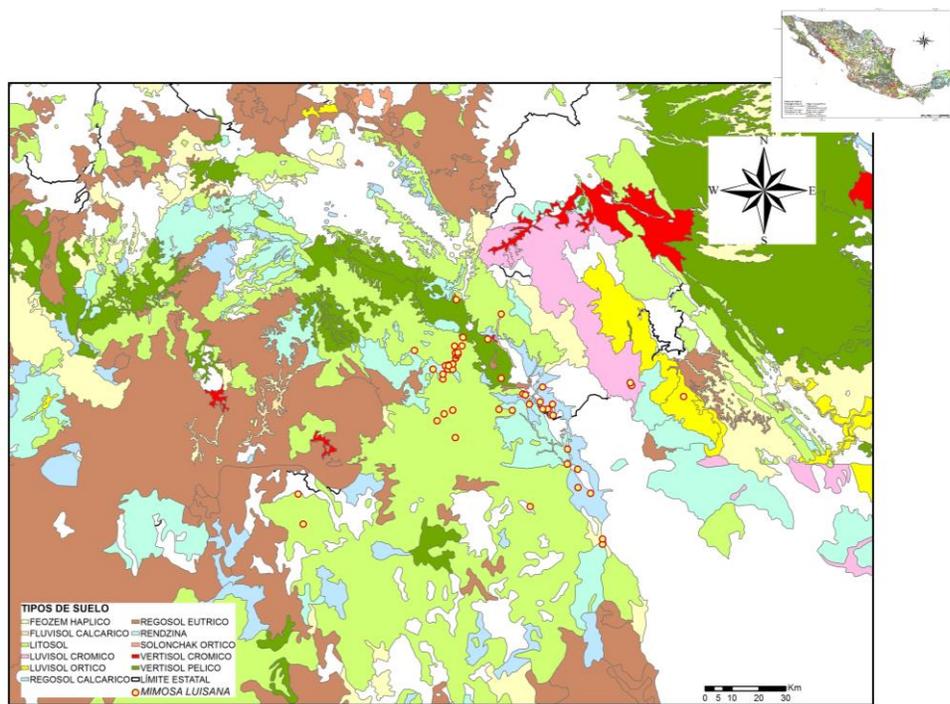


Figura 13. México, suelos en los que se localizan los registros de *Mimosa luisana*.

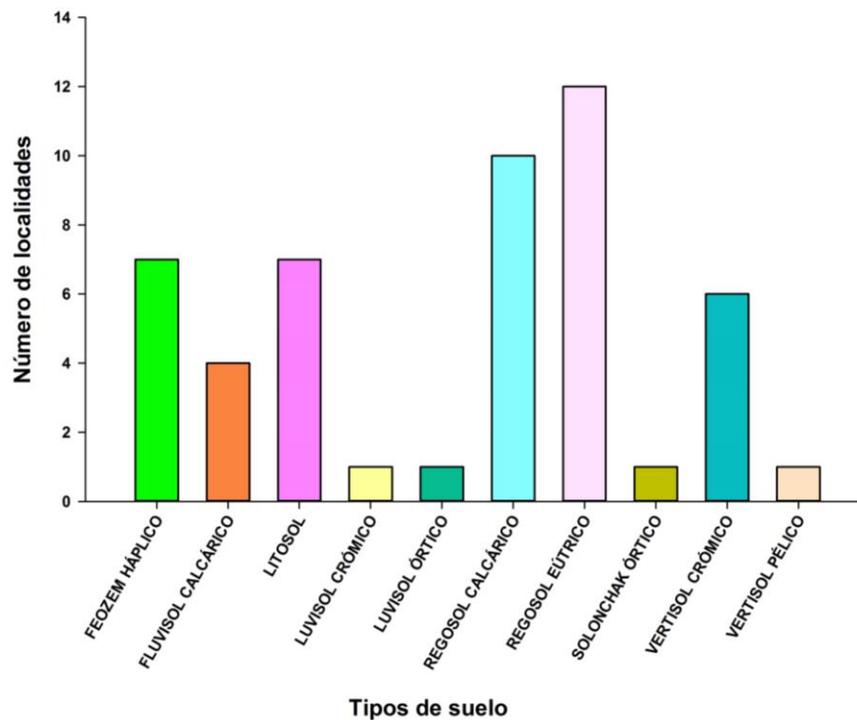


Figura 14. Número de localidades de *Mimosa luisana* por tipo de suelo.

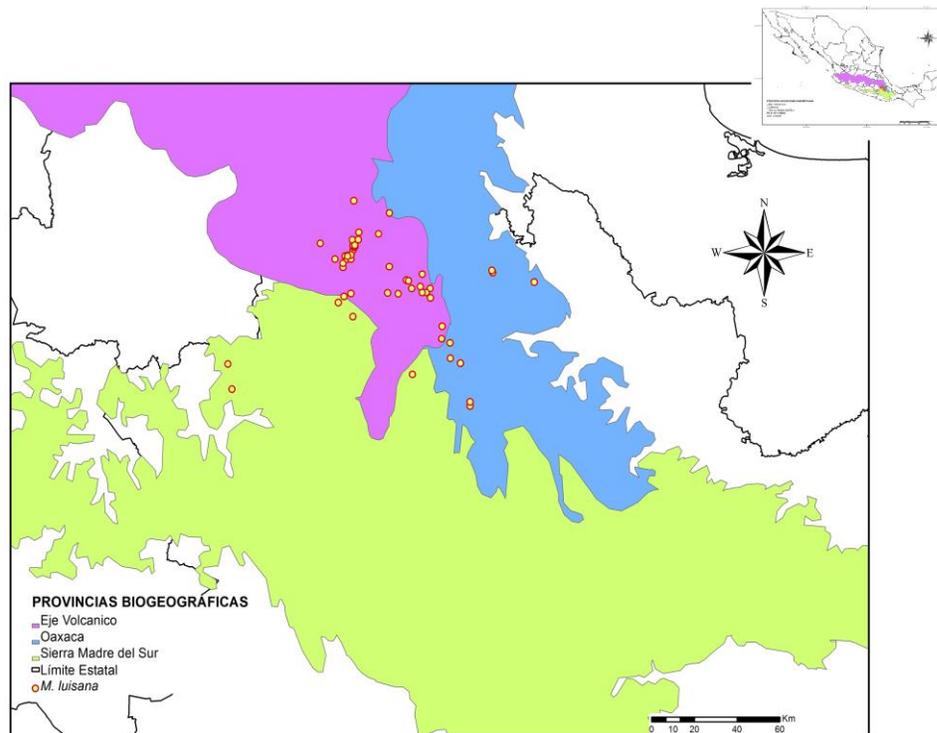


Figura 15. Provincias biogeográficas en las que se localizan los registros de *Mimosa luisana*.

Además, las localidades 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 (44- Figura 16).

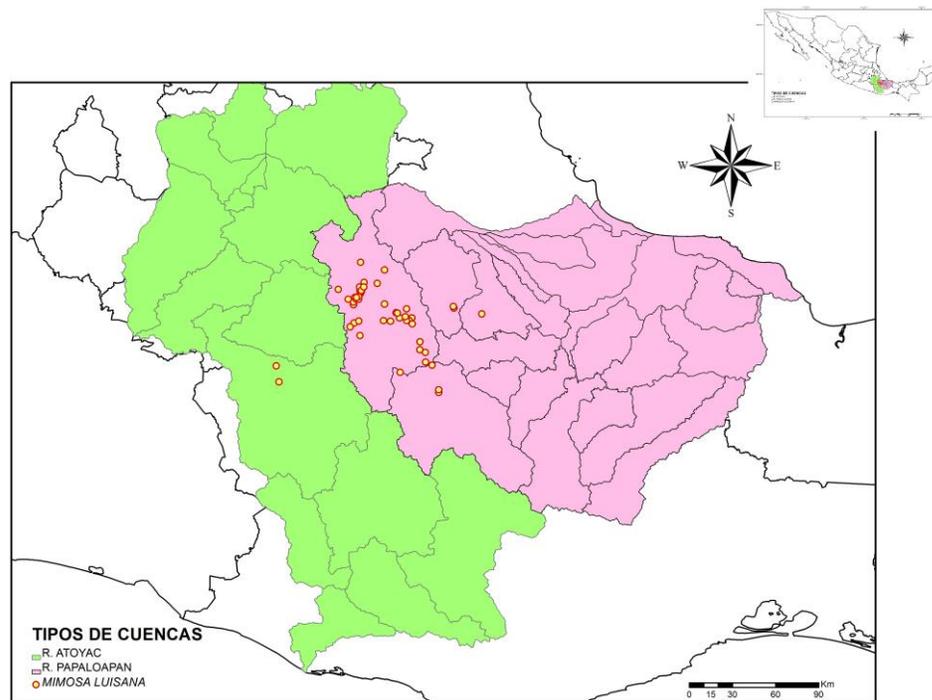


Figura 16. México, cuencas hidrológicas en las que se localizan los registros de *Mimosa luisana*.

4. Distribución potencial de los taxa

4.1. *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*

El perfil bioclimático generado muestra que este taxon puede habitar lugares donde la temperatura promedio anual sea de 17.9 °C, con una precipitación promedio anual de 959 mm (Anexo 3).

El Jackknife, generado con las 19 variables climáticas en MAXENT, mostró que las variables EDT (Estacionalidad de la temperatura, 18.5%) y TCC (Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido, 54.4%) son las que aportan mayor información al modelo. Igualmente, el Jackknife mostró que el modelo se sesgaría si no se

consideraban las variables EDT y PCF (Precipitación promedio del cuatrimestre más frío). Por lo anterior, el modelo final se generó utilizando las variables EDT y PCF, y se complementó con el análisis de correlación de Pearson, ya que este último indicó que éstas son las únicas variables independientes (Anexo 4). De modo que, aunque el Jackknife indicó que la variable TCC contribuía con un alto porcentaje al modelo, ésta presentó correlación con otras 12 variables, por lo que fue descartada.

El modelo de distribución potencial mostró un valor de AUC (área bajo la curva) de 0.91, por lo que se considera un modelo excelente, ya que representa una predicción con alta exactitud.

Asimismo, el modelo de distribución potencial de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* sugiere que existen sitios (P. ej. 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 este taxon podría extender su distribución hacia el noroeste del Eje Volcánico y hacia la parte sur de la Sierra Madre del Sur (Figura 17).

De manera adicional, el modelo muestra que la distribución de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se extiende hacia áreas geográficas que no han sido muestreadas, principalmente, la parte norte del Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino), la parte oeste del Eje Volcánico y el suroeste del Altiplano Norte (Chihuahuense).

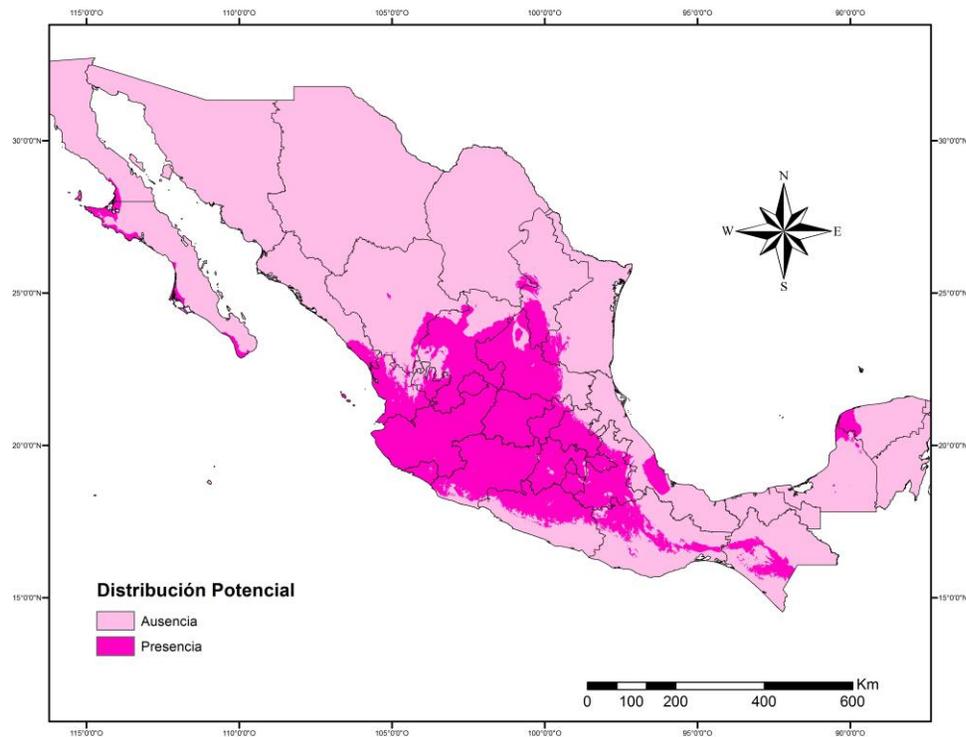


Figura 17. Distribución potencial de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* en México.

Es relevante señalar que el modelo predice la distribución del taxon considerando sitios con las condiciones de precipitación y temperatura necesarias para que éste se establezca, sin considerar los límites geográficos del taxon.

Por lo que, al generar la región de movilidad del taxon (M), se observa que no es posible localizar el taxon ni en la Península de Baja California, ni en la de Yucatán, ni en el estado de Chiapas (Figura 18).

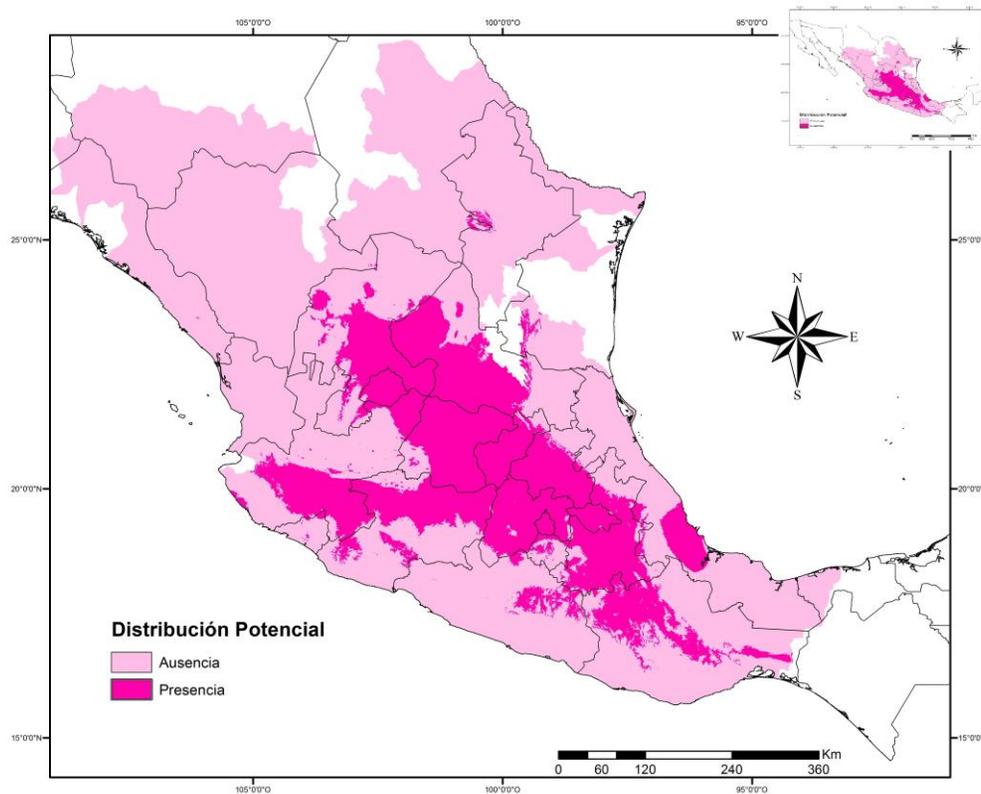


Figura 18. Modelo de la movilidad de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* en México.

4.2. *Mimosa luisana*

El perfil bioclimático muestra que este taxon puede establecerse en lugares con una temperatura promedio anual de 21.1 °C, y con una precipitación promedio anual de 563.2 mm (Anexo 5).

El análisis Jackknife, generado con las 19 variables climáticas, mostró que las variables EDT (Estacionalidad de la temperatura, 31.5%) y PCF (Precipitación promedio del cuatrimestre más frío, 45.7%) son las variables que aportan mayor información al modelo. Además de mostrar que la variable EDT debería ser considerada para que el modelo no se sesgara. Por lo anterior, y considerando el

análisis Jackknife y la correlación de Pearson, el modelo final se generó utilizando las variables EDT y PCF (Anexo 6).

El modelo de distribución potencial mostró un valor de AUC (área bajo la curva) de 0.97, por lo que se considera un modelo excelente, que representa una predicción con una exactitud alta.

Asimismo, el modelo de distribución potencial de *M. luisana* sugiere que existen las condiciones para que este taxon puede ampliar 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 (Figura 19). El modelo de predicción indica que este taxon puede encontrarse en áreas que aún no han sido muestreadas, principalmente, en la región oeste del Golfo de México.

Pese a lo anterior, cuando se genera el modelo reconociendo la movilidad del taxon, se detecta que éste no llega ni al centro del estado de Oaxaca y, mucho menos, al estado de Chiapas. Además, existen otros puntos donde, aunque están presentes las condiciones climáticas para el establecimiento del taxon, existen límites geográficos que impiden su ocurrencia en esos sitios (Figura 20).

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

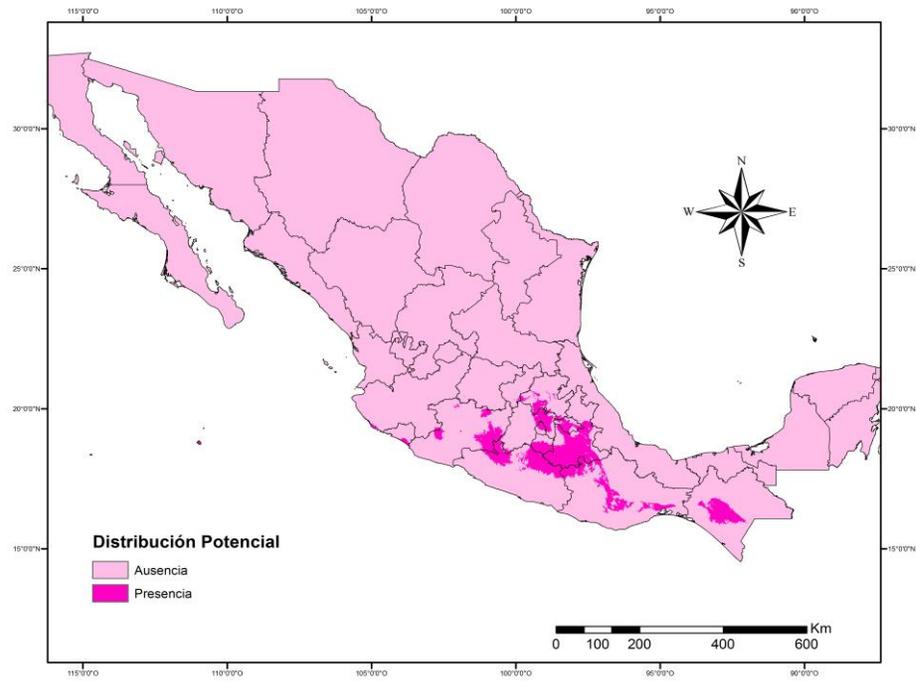


Figura 19. Distribución potencial de *M. luisana* en México.

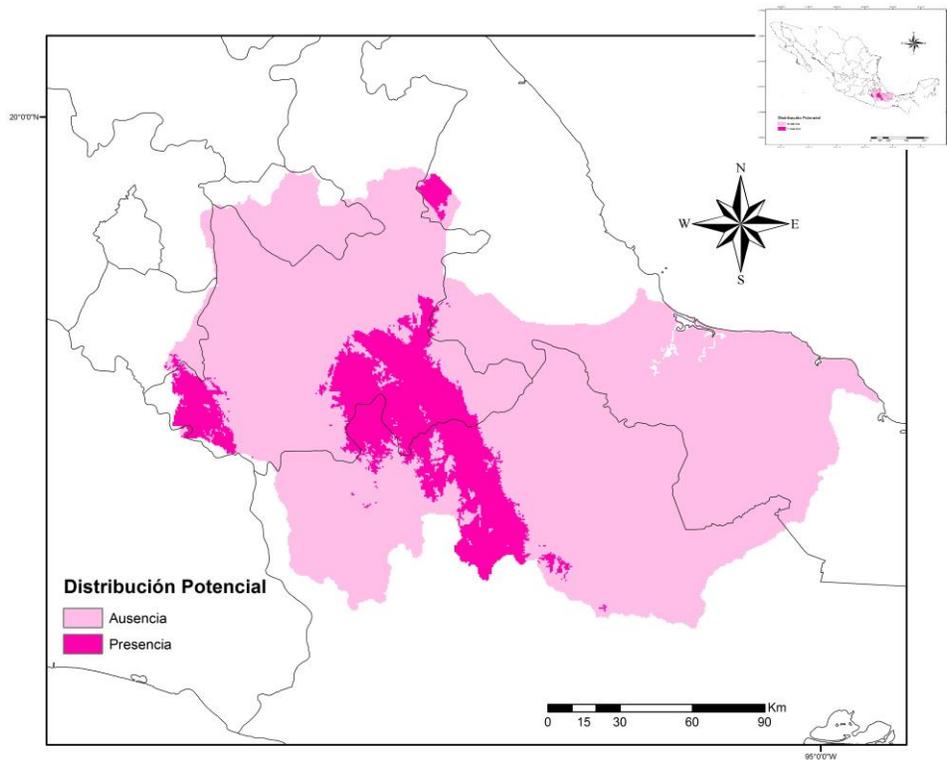


Figura 20. Modelado de la movilidad de *M. luisana* en México.

DISCUSIÓN

Distribución conocida

Los resultados muestran una variación en cuanto al número de registros obtenidos por taxon. Además indican que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* está presente en 16 estados de la República, lo que concuerda con lo reportado por Camargo-Ricalde *et al.* (2001) y Grether *et al.* (2007).

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). De manera adicional, los mapas de distribución conocida, en ambos taxa, muestran las localidades más estudiadas y aquéllas donde falta realizar colectas.

Asimismo, los mapas de la distribución conocida indican, con precisión, los sitios más estudiados para cada taxon (*M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, Michoacán y *M. luisana*, Puebla), lo que puede interpretarse como un sesgo en la metodología 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 *et al.* (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, principalmente, en altitudes entre 1,500-2,000

msnm; este rango altitudinal entra en el propuesto por Grether *et al.* (2015) para la distribución del género *Mimosa*.

Respecto a los climas, ambas taxa se encuentran en sitios con climas áridos y semiáridos, lo que coincide con los antecedentes de las taxa reportados por Martínez-Bernal y Grether (2006) y Grether *et al.* (2007).

Distribución potencial

Algunos autores como Lindenmayer *et al.* (1996) y Peterson *et al.* (2000), consideran que para generar los modelos de distribución potencial es necesario contar con, al menos, 50 registros para poder predecir la distribución de las taxa; sin embargo, existen estudios que han estimado la distribución con un número inferior a 50 registros y los modelos han sido considerados con un alto nivel de predicción (Palacios, 2010; Villaseñor y Téllez, 2004). Cabe mencionar que, en este estudio, sólo *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* contó con más de 50 registros; aunque, es importante mencionar que los modelos obtenidos para ambas taxa, tuvieron una excelente predicción (Burgueño, 1995; Mezaour, 2005).

Además, los modelos de distribución potencial de ambas taxa, coinciden con su distribución conocida, lo que muestra un bajo error de omisión (Contreras-Medina *et al.*, 2010). Igualmente, dichos modelos presentan un valor AUC alto, por lo que se pueden considerar robustos (Marmion *et al.*, 2009; Marini *et al.*, 2010). Sin embargo,

los resultados señalan, asimismo, que el modelo de distribución potencial de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* fue inferior (0.91) al de *M. luisana* (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, aspecto ya comentado por Guevara-Escobar *et al.* (2008), Hernandez *et al.* (2006) y Naoki *et al.* (2006).

Además, algunos autores como Engler *et al.* (2004), y Chefaoui y Lobo (2008) Zaniewski *et al.* (2002), consideran que los modelos basados en datos sólo de presencias, pueden sobreestimar la distribución de los taxa. En este sentido, aunque el modelo de distribución potencial de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* es considerado un modelo excelente, podría indicar una sobreestimación de su distribución (Península de Yucatán y algunas partes de la Península de Baja California). 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 (Aalto y Luoto, 2014; Naoki *et al.*, 2006); así como 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, es probablemente una forma más para robustecer los modelos. De acuerdo con Brown (1995), la distribución de un taxa está determinada por la interacción de su ecología con 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 y 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 y Peñas de Giles, 2007), se requiere de la validación del modelo por métodos de muestreo en campo (Contreras-Medina, 2010), ya que los algoritmos no consideran las interacciones bióticas que pueden afectar la distribución de los taxa (Naoki *et al.*, 2006; Palacios, 2010; Soberón y Peterson, 2005). Aunque, en este caso particular (P. ej. 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.

Por otra parte, desde una perspectiva de cambio climático, los modelos de distribución potencial, en ambos taxa, sugieren una reducción y una ampliación de su área de distribución, respectivamente, ya que de acuerdo con Gómez-Díaz *et al.* (2007), los ecosistemas templados podrían reducirse y los secos ampliarse (Palacios, 2010). Bajo esta premisa, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* podría reducir su distribución; mientras que *M. luisana* la podría ampliar. No obstante, en este trabajo no se contemplaron los posibles cambios en los ecosistemas (Parmesan y Yohe, 2003), por lo que se sugiere ampliar este estudio bajo escenarios de cambio climático y de uso de suelo.

CONCLUSIONES

Considerando que México es el segundo centro de distribución del género *Mimosa*, los mapas de distribución conocida y potencial de sus taxa, deben considerarse como una aproximación al conocimiento de las mimosas mexicanas.

Asimismo, aunque 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), posteriormente, podrían ser corroborados en campo; 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.

Finalmente, 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 edáficos y el cambio de uso del suelo, para una mayor precisión de los modelos de predicción.

LITERATURA CITADA

Aalto, J., y Luoto M. 2014. Integrating climate and local factors for geomorphological distribution models. *Earth Surface Processes and Landforms* **39**: 1729-1740.

- Almazán, N.R.C. 2007. Modelaje ecológico de la distribución geográfica de la avifauna del estado de Querétaro. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. 103 p.
- Alsos, I.G., Alm T., Normand S. y 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.
- Anderson, R.P., Lew D. y Peterson A.T. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* **162**: 211-232.
- Arundel, C.J. 2004. Using spatial models to establish climatic limits of plant species distributions. *Ecological Modeling* **30**: 1-23.
- Ávila-Bello, C.H. y López-Mata L. 2001. Distribución y análisis estructural de *Abies hickelii* (Flous & Gaussen) en México. *Interciencia* **26**: 244-251.
- Benito de Pando, B. y 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.
- Bessegá, C., Vilardi J.C. y Saidman B.O. 2006. Genetic relationships among American species of the genus *Prosopis* (Mimosoideae, Leguminosae) inferred from ITS sequences: evidence for long-distance dispersal. *Journal of Biogeography* **33**: 1905-1915.
- Bravo, E.A.V. 2011. Análisis biogeográfico de las especies arbóreas de Chile. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile. 52 p.

- Brown, J.H. 1995. Macroecology. University of Chicago Press, Illinois. 269 p.
- Burgueño, M. J., García-Bastos L. y Gonzáles-Buitrago J.M. 1995. Las curvas ROC en la evaluación de pruebas diagnósticas. *Medicina Clínica* **104**: 661-670.
- 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. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **68**: 33-44.
- Cawsey, E.M., Austin M.P. y Baker B.L. 2002. Regional vegetation mapping in Australia: a case study in the practical use of statistical modelling. *Biodiversity & Conservation* **11**: 2239-2274.
- Chefaoui, R.M. y Lobo J.M. 2008. Assessing the effects of pseudo-absences on predictive distribution model performance. *Ecological modelling* **210**: 478-486.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2011. México. <http://www.conabio.gob.mx>.
- Contreras-Medina, R., Luna-Vega I., y 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. y Skidmore A. 2000. Modelling Species Distribution with GIS *In*: Boitani, L. y Fuller, K. (eds.) Research techniques in animal ecology: controversies and consequences. New York, Columbia University Press. 389-425 p.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor J.L., López-Mata L. y Ortiz E. 2012. Potential distribution of humid mountain forest in Mexico. *Botanical Sciences* **90**: 331-340.

- Cushman, S.A. 2006. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus. *Biological Conservation* **128**: 231-240.
- De la Estrella, M., Mateo R.G., Wieringa J.J., Mackinder B. y Muñoz J. 2012. Legume diversity patterns in West Central Africa: influence of species biology on distribution models. *PloS one* **7**: 41526.
- Dhillon, S.S., Aguilar-Støen M. y Camargo-Ricalde S.L. 2004. Integrative ecological restoration and local involvement in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Environmental Conservation* **13**: 1-3.
- Duno-de Stefano, R., Can-Itza L.L., Rivera-Ruiz A. y Calvo-Irabién L.M. 2012. Regionalización y relaciones biogeográficas de la Península de Yucatán con base en los patrones de distribución de la familia Leguminosae. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **83**: 1053-1072.
- Elith, J., Kearney M., y Phillips S. 2010. The art of modelling range-shifting species. *Methods in ecology and evolution* **1**: 330-342.
- Elith, J.C.H, Anderson R.P., Dudik M., Ferrier S. y 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. y Zimmermann N. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* **29**: 129-151.
- Engler, R., Guisan A. y 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.

- 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.
- Fischer, J., Lindenmayer D.B., Nix H.A., Stein J.L. y Stein J.A. 2001. Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography* **28**: 293-304.
- Franklin, J. 2009. Mapping Species Distributions: Spatial inference and prediction. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press. 318 p.
- Gelviz, G.S.M. 2013. Especies arbustivas tolerantes al cambio climático, para ser propuestas en proyectos de restauración del matorral xerófilo en el estado de Hidalgo. Tesis de Doctorado en Biodiversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México. 97 p.
- Gómez-Díaz, J.D., Monterroso-Rivas A.I. y Tinoco-Rueda J.A. 2007. Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Zonas Áridas* **11**: 61-69.
- Gómez-Mendoza, L., Galicia L. y Aguilar-Santelises R. 2008. Sensibilidad de grupos funcionales al cambio climático en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Investigaciones geográficas* **67**: 76-100.
- González-Espinosa, M., Rey-Benayas J.M., Ramírez-Marcial N., Huston M.A. y Golicher D. 2004. Tree diversity in the northern Neotropics: regional patterns in highly diverse Chiapas, México. *Ecography* **27**: 741-756.

- Graham, C.H., Elith J., Hijmans R.J., Guisan A., Townsend-Peterson A. y Loiselle B. A. 2008. The influence of spatial errors in species occurrence data used in distribution models. *Journal of Applied Ecology* **45**: 239-247.
- Graham, C.H., Ferrier S., Huettman F., Moritz C. y Peterson A.T. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution* **19**: 497-503.
- Grand, J., Cummings M.P., Rebelo T.G., Ricketts T.H. y Neel M.C. 2007. Biased data reduce efficiency and effectiveness of conservation reserve networks. *Ecology Letters* **10**: 364-374.
- Grether, R., Camargo-Ricalde S.L. y Martínez-Bernal A. 1996. Especies del género *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**: 149-152.
- Grether, R. Camargo-Ricalde S.L., Martínez-Bernal A., Montaña-Arias S. y Fraile Ma.E. 2015. Diversity and geographical distribution patterns of the genus *Mimosa* (Mimosoideae) in the United States, Mexico, and Central America. *En: V Conferencia Internacional de Leguminosas (VILC)*. R. Fortunato (ed.). Fundación CICCUS. 224 p.
- Grether, R., Martínez-Bernal A., Camargo-Ricalde S.L. 2007. *Mimosa*. *En: Rzedowski J. y G. Calderón de Rzedowski (eds.). Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Instituto. Ecología, Centro Regional del Bajío, México. Fascículo **150**: 1-229.
- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk* **34**: 427–434.

- 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. y Olvera-Valerio D. 2008. Distribución potencial de algunas leguminosas arbustivas en el Altiplano Central de México. *Agrociencia* **42**: 703-716.
- Harbert, R.S., Brown A.H. y Doyle J.J. 2014. Climate niche modeling in the perennial *Glycine* (Leguminosae) allopolyploid complex. *American Journal of Botany* **101**: 710-721.
- Hernandez, P.A., Graham C.H., Master L.L. y Albert D.L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* **29**: 773-785.
- Hernández-Pérez, E., González-Espinosa M., Trejo I. y Bonfil C. 2011. Distribución del género *Bursera* en el estado de Morelos, México y su relación con el clima. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 964-976.
- Herrera, C.A. 2012. Aplicación de tecnologías de información para modelar la distribución de plagas. Tesis de Maestría. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica. 61 p.
- Hijmans, R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G. y Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* **25**: 1965-1978.
- Hole, D.G., Willis S.G., Pain D.J., Fishpool L.D., Butchart S.H.M., Collingham Y.C., Rahbek C. y Huntley B. 2009. Projected impacts of climate change on a continent wide protected area network. *Ecology Letters* **12**: 420-431.

- Hurtado, A.C. 2007. Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie *Aniba perutilis* Hemsley (comino crespo) en el Departamento del Valle del Cauca. Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias Naturales. Fundación Universitaria de Popayán. 72 p.
- Hutchinson, G. E. 1957. A Treatise on Limnology. Volume I Geography, Physics, and Chemistry. Chapman and Hall. New York. 1015 p.
- 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.
- INEGI. 2005. Instituto Nacional de Geografía e Historia. Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades.
<http://geoweb.inegi.org.mx/mgn2k/catalogo.jsp>
- Jarvis, A., Yeaman S., Guarino L. y Tohme J. 2005. The role of geographic analysis in locating, understanding and using plant genetic diversity. *Methods in enzymology* **395**: 279-298.
- Jeschke, J.M. y 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.
- Kumar, S. y 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.

- Leathwick, J.R. 2001. New Zealand's potential forest pattern as predicted from current species-environment relationships. *New Zealand Journal of Botany* **39**: 447-464.
- Lindenmayer, D.B., Mackey B.G. y Nix H.A. 1996. The bioclimatic domains of four species of commercially important eucalypts from south-eastern Australia. *Australian forestry* **59**: 74-89.
- Lindenmayer, D.B., Nix H.A., McMahon J.P., Hutchinson M.F. y Tanton M.T. 1991. The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography* **18**: 371-383.
- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde A. y Real R. 2007. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* **17**: 145–151.
- Loiselle, B.A., Howell C.A., Graham C.H., Goerck J.M., Brooks T., Smith K.G. y Williams P.H. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology* **17**: 1591-1600.
- Lomolino, M.V., B.R. Riddle y J. H. Brown. 2005. *Biogeography*, 3a. edición. Sinauer. Sunderland, Massachusetts. 868 p.
- Manel, S., Williams H.C. y Ormerod S.J. 2001. Evaluating presence-absence models in ecology: The need to account prevalence. *Journal of Applied Ecology* **38**: 921-931.

- Marini, M.Â., Barbet-Massin M., Martinez J., Prestes N.P. y Jiguet F. 2010. Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (*Amazona pretrei*). *Biological Conservation* **143**: 102-112.
- Marmion, M., Parviainen M., Luoto M., Heikkinen R.K. y Thuiller W. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions* **15**: 56-69.
- Martínez-Bernal, A. y Grether R. 2006. *Mimosa*. En: Novelo A. y Medina-Lemus R. (eds.). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 44. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 1-108 p.
- Martínez-Pérez, G., Orozco-Segovia A. y 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, Universidad Complutense de Madrid, España. 187 p.
- Mateo, R.G., Croat T.B., Felicísimo A.M. y Muñoz J. 2010. Profile or group discriminative techniques? Generating reliable species distribution models using pseudo-absences and target-group absences from natural history collections. *Diversity and Distributions* **16**: 84-94.
- Mateo, R.G., Felicísimo M.A. y Muñoz J. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* **84**: 217-240.

- Maxted, N. y Kell S.P. 2009. Establishment of a Global Network for the In Situ Conservation of Crop Wild Relatives: Status and Needs. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, Rome, Italy. 266 p.
- McPherson, J. M., Jetz W. y Rogers D.J. 2004. The effects of species' range sizes on the accuracy of distribution models: ecological phenomenon or statistical artifact? *Journal of Applied Ecology* **41**: 811-823.
- 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), Université Paris Sud, France. 269-278 p.
- Morales, S.N. 2012. Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en conservación. *Revista Conservación Ambiental* **2**: 1-5.
- Naoki, K., Gómez M.I., López R.P., Meneses R.I. y 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. y Bogaert J. 2012. Modelling the spatial distribution of endemic Caesalpinioideae in Central Africa, a contribution to the evaluation of actual protected areas in the region. *International Journal of Biodiversity and Conservation* **4**: 118-129.
- Nix, H.A. 1986. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In Atlas of elapid snakes of Australia. R. Longmore (ed.) *Australia Government Publishing Service* 4-16 p.

- Núñez-Colín, C.A. 2010. Distribución y caracterización eco-climática del membrillo cimarrón (*Amelanchier denticulata* (Kunth) Koch) en México. *Revista Chapingo, Serie horticultura* **16**: 195-206.
- Pacheco, S., Malizia L.R. y 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. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 105 p.
- Papeş, M. y Gaubert P. 2007. Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions* **13**: 890-902.
- Parmesan, C. y Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**: 37-42.
- Pavón, N.P., Ballato-Santos J. y Pérez-Pérez C. 2011. Germinación y establecimiento de *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Fabaceae-Mimosoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 653-661.
- Pearce, J. y Ferrier S. 2001. The practical value of modelling relative abundance of species for regional conservation planning: a case study. *Biological Conservation* **98**: 33-43.
- Pearson, R.G., Raxworthy C.J., Nakamura M. y Townsend-Peterson A. 2006. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a

- test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* **34**: 102-117.
- Peterson, A. T., Navarro-Sigüenza A.G. y Benítez-Díaz H. 1998. The need for continued scientific collecting; a geographic analysis of Mexican bird specimens. *Ibis* **140**: 288-294.
- Peterson, A.T. y Cohoon K.P. 1999. Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. *Ecological modelling* **117**: 159-164.
- Peterson, A.T., Egbert S.L., Sánchez-Cordero V. y Price K.P. 2000. Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* **93**: 85-94.
- 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. Princenton University Press. New Jersey. 314 p.
- Peterson, A.T., Stockwell D.R.B. y Kluza D.A. 2002. Distributional prediction based on ecological niche modeling of primary occurrence data. In J.M. Scott, P.J. Heglund y M.L. Morrison (eds.), Predicting species occurrences: Issues of scale and accuracy. Island Press, Washington, D.C. 617-623 p.
- Phillips, S.J. y Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* **31**: 161-175.
- Phillips, S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**: 231-259.

- Phillips, S.J., Dudík M. y Schapire R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *In* Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning. 83 p.
- Phillips, S.J., Dudík M., Elith J., Graham C.H., Lehmann A., Leathwick J. y Ferrier S. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications* **19**: 181-197.
- Ramírez-Villegas, J., Khoury C., Jarvis A., Debouck D.G. y Guarino L. 2010. A gap analysis methodology for collecting crop gene pools: a case study with *Phaseolus beans*. *PLoS one* **5**: e13497.
- Reguerín, L.J.M.I. 2012. Distribución potencial de especies de la familia Araliaceae de la región Madidi. Tesis de Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia 131 p.
- Riquelme, J.D. 2013. Técnicas para el análisis de patrones de uso del espacio en felinos americanos (Mammalia: Carnivora). *Gestión Ambiental* **25**: 53-84.
- Rodríguez-Ochoa, R., Alberdi J.R.O., Chocarro C., Martínez V. y Bilbao I. 2014. Autoecología y distribución potencial de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) en la zona norte de Monegros. *Revista Ecosistemas* **23**: 108-115.
- Rushton S.P., Ormerod S.J. y Kerby G. 2004. New paradigms for modelling species distributions? *Journal of Applied Ecology* **41**: 193-200.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* **14**: 3-21.

- Schoener, T.W. 1989. Ecological Concepts: The Contribution of Ecology to an Understanding of the Natural World, ed Cherrett JM (Blackwell Scientific, Oxford). 79-113 p.
- Soberón, J. y Peterson A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* **2**: 110.
- Sokal, R. y Rohlf F. 1995. Biometry. Freeman and Company, San Francisco, C.A. 887 p.
- Sosa, V. y Dávila P. 1994. Una evaluación del conocimiento florístico de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **81**: 749-757.
- Sotuyo, S., Delgado-Salinas A., Lewis G.P., Chase M.W., Ferrari L. y Oyama K. 2010. Filogeografía del complejo *Caesalpinia hintonii* (Leguminosae: Caesalpinioideae: Poincianella). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **81**: 883-894.
- SPSS, 2012. IBM SPSS Statistics. Disponible en www.ibm.com.analytics/spss.
- Stein, B.R. y Wieczorek J.R. 2004. Mammals of the world: MaNIS as an example of data integration in a distributed network environment. *Biodiversity Informatics* **1**: 14-22.
- Stockwell, D. y Peters D. 1999. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* **13**: 143-158.
- Stockwell, D.R.B. y Peterson A.T. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling* **148**: 1-13.

- Sunil, N., Sivaraj N., Anitha K., Abraham B., Kumar V., Sudhir E. y Varaprasad K.S. 2009. Analysis of diversity and distribution of *Jatropha curcas* L. germplasm using Geographic Information System (DIVA-GIS). *Genetic resources and crop evolution* **56**: 115-119.
- Téllez-Valdés, O. y Dávila-Aranda P. 2003 Protected areas and climate change: a case study of the cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Conservation Biology* **17**: 846-853.
- Thomas, C.D., Cameron A., Green R.E., Bakkenes M., Beaumont L.J., Collingham Y.C., Erasmus B.F.N., de Siqueira M.F., Grainger A., Hannah L., Hughes L., Huntley B., van Jaarsveld A.S., Midgley G.F., Miles L., Ortega-Huerta M.A., Peterson A.T., Phillips O.L. y Williams S.E. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* **427**: 145–148.
- Thuiller, W., Albert C., Araujo M.B., Berry P.M., Cabeza M., Guisan A., Hickler T., Midgley G.F., Paterson J., Schurr F.M., Sykes M.T. y Zimmermann N.E. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **9**: 137-152.
- Trejo, I., Martínez-Meyer E., Calixto-Pérez E., Colón-Sánchez S., Vázquez de la Torre R. y Villers-Ruiz L. 2011. Analysis of the effects of climate change on plant communities and mammals in Mexico. *Atmósfera* **24**: 1-14.
- Trotta-Moreu, M.N., Lobo J.M. y Cabrero-Sañudo F.J. 2008. Distribución conocida y potencial de las especies de *Geotrupinae* (Coleoptera: Scarabaeoidea) en México. *Acta Zoológica Mexicana* **24**: 39-65.

- Tsoar, A., Allouche O., Steinitz O., Rotem D. y Kadmon R. 2007. A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species distribution. *Diversity and Distributions* **13**: 397-405.
- Villaseñor, J.L. y 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.
- Wisz, M.S., Hijmans R.J., Li J., Peterson A.T., Graham C.H. y Guisan A. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* **14**: 763-773.
- WorldClim. Data for current conditions (~1950-2000). Disponible en <http://www.worldclim.org/current>.
- Yberri, F.G. 2009. Distribución geográfica de *Nopalxochia phyllanthoides* (DC) Britton et Rose (Cactaceae): Modelos predictivos y conservación. Tesis de Licenciatura., Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF. 64 p.
- Zaniewski, A.E., Lehmann A. y Overton J.M. 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological modelling* **157**: 261-280.

ANEXOS

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Anexo 1. Tipos de climas en los que se distribuye *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* en el territorio mexicano (continúa).

Clima	Características	Precipitación	Abreviatura	No. de registros
Mésico	Semicálido-subhúmedo, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	En el mes más seco es menor a 40 mm; lluvias de verano, porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2 % del total anual.	(A)C(wo)x'	1
	Semiárido, semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BS1h(x')	2
Semiárido	Semiárido, semifrío, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22 °C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BS1k"w	3
	Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre 3 y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BS1k(x')	24
	Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% a 10.2% del total anual.	BS1kw	2
Árido	Árido, semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de invierno, el porcentaje de lluvia invernal es mayor del 36% del total anual.	BShs	1
	Árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3° y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de invierno, el porcentaje de lluvia invernal es mayor del 36% del total anual.	BSks	4
	Árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Lluvias repartidas todo el año, y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BSo(h')(x')	2
	Árido, semicálido, temperatura entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.	BSo(x')	5
	Árido, semicálido, temperatura entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	BSohw	2
	Árido, semifrío, temperatura media anual entre 5°C y 12° C y temperatura del mes más frío entre -13°C y 18°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	BSok"w	2
	Árido, templado, temperatura entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C,	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de	BSok(x')	6

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género Mimosa (Leguminosae) ante el cambio climático

temperatura del mes más caliente menor de 22°C.

lluvia invernal mayor al 18% del total anual.

Anexo 1. Continuación...

Clima	Características	Precipitación	Abreviatura	No. de registros
Árido	Árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C.	Lluvias de verano, porcentaje de lluvia invernal entre 5% y 10.2% del total anual.	BSokw	8
	Muy árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BW(h')(x')	5
	Muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18° y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BWh(x')	6
	Muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de invierno y precipitación invernal mayor al 36% del total anual.	BWhs	3
	Muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	BWhw	2
	Muy árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y precipitación invernal mayor al 18% del total anual.	BWk(x')	2
	Muy árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de invierno y porcentaje de lluvia invernal mayor al 36% del total anual.	BWks	3
Muy árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	BWkw	1	
Templado	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.	C(w1)x'	2
	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.	C(wo)x'	5
	Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.	Cb'(w1)x'	1

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Anexo 1. Continuación...

Clima	Características	Precipitación	Abreviatura	No. de registros
	Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.	Cb'(w2)x'	2
Templado	Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Lluvias de invierno, con porcentaje de lluvia invernal mayor del 36% del total anual.	Cb's	4
	Templado, lluvias en invierno y temperatura media anual entre 12°C y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente debajo de 22°C.	Porcentaje de lluvia invernal mayor al 36% del total anual.	Cs	1

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Anexo 2. Tipos de climas en los que se distribuye *Mimosa luisana* en el territorio mexicano (continúa).

Clima	Características	Precipitación	Abreviatura	No. de registros
Semiárido	Semiárido, semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BS1h(x')	2
	Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre 3 y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BS1k(x')	3
	Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% a 10.2% del total anual.	BS1kw	6
	Árido, semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de invierno, el porcentaje de lluvia invernal es mayor del 36% del total anual.	BShs	2
	Árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de invierno, el porcentaje de lluvia invernal es mayor del 36% del total anual.	BSks	4
Árido	Árido, semicálido, temperatura entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.	BSoh(x')	3
	Árido, semifrío, temperatura media anual entre 5°C y 12°C y temperatura del mes más frío entre -13°C y 18°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	BSok"w	2
	Árido, templado, temperatura entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BSok(x')	5
	Árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C.	Lluvias de verano, porcentaje de lluvia invernal entre 5% y 10.2% del total anual.	BSokw	7
	Muy árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BW(h')(x')	2
	Muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.	BWh(x')	4
	Muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de invierno y precipitación invernal mayor al 36% del total anual.	BWhs	2

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Anexo 2. Continuación...

Clima	Características	Precipitación	Abreviatura	No. de registros
Árido	Muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	BWhw	2
	Muy árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias repartidas todo el año y precipitación invernal mayor al 18% del total anual.	BWk(x)	2
	Muy árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de invierno y porcentaje de lluvia invernal mayor al 36% del total anual.	BWks	2
	Muy árido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	BWkw	2

**Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa*
(*Leguminosae*) ante el cambio climático**

Anexo 3. Perfil bioclimático de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

Abreviatura	Variables ambientales	Número de localidades únicas	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
EDT	Estacionalidad de la temperatura	94	0.7	0.4	1.3	0.3
EP	Estacionalidad de la precipitación	94	89.3	73.0	107	10.0
ISO	Isotermalidad	94	0.7	0.6	0.7	0.1
OAT	Oscilación anual de la temperatura	94	22.5	17.7	29.3	3.0
ODT	Oscilación diaria de la temperatura	94	14.7	10.2	17.8	1.9
PA	Precipitación anual	94	959.0	479.0	3204	705.5
PCC	Precipitación del cuatrimestre más cálido	94	289.5	166.0	873	168.4
PCF	Precipitación del cuatrimestre más frío	94	54.8	19.0	251	62.4
PCLL	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso	94	525.0	276.0	1739	392.6
PCS	Precipitación del cuatrimestre más seco	94	38.2	0.0	194	49.6
PPLL	Precipitación del período más lluvioso	94	50.9	26.0	172	37.7
PPS	Precipitación del período más seco	94	0.7	0.0	13	3.0
TCC	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	94	20.2	16.1	27.2	2.8
TMPPC	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	94	28.9	24.9	34.6	2.4
TPA	Temperatura promedio anual	94	17.9	14.0	24.6	2.6
TPCF	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	94	15.0	11.6	21.3	2.7
TPCLL	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	94	19.2	14.9	26.2	2.7
TPCS	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	94	16.2	11.7	23.6	3.1
TPPF	Temperatura mínima promedio del período más frío	94	6.4	1.7	15.4	3.8

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Anexo 4. Correlación de Pearson entre las 19 variables climáticas en las que se desarrolla *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (continúa).

		EDT	EP	ISO	OAT	ODT	PA	PCC	PCF	PCLL	PCS	PPLL	PPS	TCC	TMPPC	TPA	TPCF	TPCLL	TPCS	TPPF	
EDT	Pearson	1																			
	P																				
EP	Pearson	-.156	1																		
	P	.134																			
ISO	Pearson	-.682**	.199	1																	
	P	.000	.054																		
OAT	Pearson	.771**	.128	-.178	1																
	P	.000	.219	.087																	
ODT	Pearson	.410**	.205*	.301**	.881**	1															
	P	.000	.047	.003	.000																
PA	Pearson	-.354**	.177	-.007	-.490**	-.464**	1														
	P	.000	.087	.945	.000	.000															
PCC	Pearson	-.255*	.126	.063	-.334**	-.280**	.934**	1													
	P	.013	.228	.546	.001	.006	.000														
PCF	Pearson	.018	-.176	-.368**	-.342**	-.488**	.845**	.787**	1												
	P	.862	.089	.000	.001	.000	.000	.000													
PCLL	Pearson	-.354**	.358**	.016	-.426**	-.393**	.978**	.903**	.768**	1											
	P	.000	.000	.879	.000	.000	.000	.000	.000												
	N	94	94	94	94	94	94	94	94	94											
PCS	Pearson	-.008	-.365**	-.354**	-.397**	-.538**	.732**	.692**	.901**	.633**	1										
	P	.936	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000											
PPLL	Pearson	-.329**	.328**	-.011	-.419**	-.397**	.981**	.914**	.793**	.990**	.645**	1									
	P	.001	.001	.917	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000										

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género Mimosa (Leguminosae) ante el cambio climático

Anexo 4. Continuación...

		EDT	EP	ISO	OAT	ODT	PA	PCC	PCF	PCLL	PCS	PPLL	PPS	TCC	TMPPC	TPA	TPCF	TPCLL	TPCS	TPPF	
PPS	Pearson	.014	-.112	-.213 [*]	-.192	-.273 ^{**}	.657 ^{**}	.669 ^{**}	.737 ^{**}	.579 ^{**}	.663 ^{**}	.621 ^{**}	1								
	P	.890	.281	.039	.064	.008	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000								
TCC	Pearson	.558 ^{**}	-.107	-.471 ^{**}	.330 ^{**}	.080	.107	.045	.333 ^{**}	.066	.207 [*]	.109	.346 ^{**}	1							
	P	.000	.307	.000	.001	.445	.305	.669	.001	.530	.045	.294	.001								
TMPPC	Pearson	.638 ^{**}	.004	-.396 ^{**}	.569 ^{**}	.351 ^{**}	-.028	-.050	.169	-.036	.032	.001	.251 [*]	.953 ^{**}	1						
	P	.000	.970	.000	.000	.001	.788	.631	.104	.732	.758	.992	.015	.000							
TPA	Pearson	.351 ^{**}	-.093	-.328 ^{**}	.164	-.011	.230 [*]	.143	.382 ^{**}	.181	.253 [*]	.225 [*]	.392 ^{**}	.971 ^{**}	.897 ^{**}	1					
	P	.001	.373	.001	.114	.920	.026	.168	.000	.080	.014	.029	.000	.000	.000						
TPCF	Pearson	-.030	-.029	-.083	-.145	-.190	.384 ^{**}	.243 [*]	.397 ^{**}	.333 ^{**}	.266 ^{**}	.368 ^{**}	.411 ^{**}	.812 ^{**}	.698 ^{**}	.925 ^{**}	1				
	P	.777	.782	.424	.165	.067	.000	.018	.000	.001	.010	.000	.000	.000	.000	.000	.000				
TPCLL	Pearson	.566 ^{**}	-.114	-.425 ^{**}	.366 ^{**}	.138	.123	.090	.349 ^{**}	.080	.221 [*]	.126	.359 ^{**}	.992 ^{**}	.955 ^{**}	.966 ^{**}	.800 ^{**}	1			
	P	.000	.274	.000	.000	.186	.237	.387	.001	.441	.032	.225	.000	.000	.000	.000	.000				
TPCS	Pearson	.167	.291 ^{**}	-.212 [*]	.059	-.055	.429 ^{**}	.299 ^{**}	.457 ^{**}	.452 ^{**}	.221 [*]	.472 ^{**}	.392 ^{**}	.801 ^{**}	.741 ^{**}	.855 ^{**}	.848 ^{**}	.797 ^{**}	1		
	P	.109	.004	.040	.573	.598	.000	.003	.000	.000	.033	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000			
TPPF	Pearson	-.169	-.133	-.224 [*]	-.492 ^{**}	-.593 ^{**}	.507 ^{**}	.313 ^{**}	.551 ^{**}	.429 ^{**}	.466 ^{**}	.459 ^{**}	.476 ^{**}	.648 ^{**}	.436 ^{**}	.770 ^{**}	.898 ^{**}	.611 ^{**}	.721 ^{**}	1	
	P	.104	.200	.030	.000	.000	.000	.002	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		

**Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa*
(Leguminosae) ante el cambio climático**

Anexo 5. Perfil bioclimático de *Mimosa luisana*.

Abreviatura	Variables ambientales	Número de localidades únicas	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
EDT	Estacionalidad de la temperatura	45	0.7	0.6	0.9	0.1
EP	Estacionalidad de la precipitación	45	98.0	87.0	106.0	4.2
ISO	Isotermalidad	45	0.6	0.6	0.7	0.0
OAT	Oscilación anual de la temperatura	45	22.8	20.2	25.5	1.4
ODT	Oscilación diurna de la temperatura	45	14.8	13.0	16.8	0.9
PA	Precipitación anual	45	563.2	338.0	1647.0	199.4
PCC	Precipitación del cuatrimestre más cálido	45	183.7	111.0	409.0	46.9
PCF	Precipitación del cuatrimestre más frío	45	18.5	6.0	103.0	14.9
PCLL	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso	45	301.8	190.0	917.0	115.0
PCS	Precipitación del cuatrimestre más seco	45	3.5	0.0	84.0	14.5
PPLL	Precipitación del período más lluvioso	45	31.8	21.0	84.0	9.7
PPS	Precipitación del período más seco	45	0.0	0.0	0.0	0.0
TCC	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	45	23.6	17.5	28.4	3.1
TMPPC	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	45	32.4	25.8	37.1	3.4
TPA	Temperatura promedio anual	45	21.1	15.3	25.3	2.8
TPCF	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	45	18.3	13.2	22.0	2.5
TPCLL	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	45	22.3	15.7	26.5	2.8
TPCS	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	45	18.7	13.9	22.7	2.7
TPPF	Temperatura mínima promedio del período más frío	45	9.6	5.6	13.7	2.3

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Anexo 6. Correlación de Pearson entre las 19 variables climáticas en las que se desarrolla *M. luisana* (continúa).

		EDT	EP	ISO	OAT	ODT	PA	PCC	PCF	PCLL	PCS	PPLL	PPS	TCC	TMPPC	TPA	TPCF	TPCLL	TPCS	TPPF	
EDT	Pearson	1																			
	P																				
EP	Pearson	.082	1																		
	P	.591																			
ISO	Pearson	-.846**	.266	1																	
	P	.000	.077																		
OAT	Pearson	.704**	.659**	-.293	1																
	P	.000	.000	.051																	
ODT	Pearson	.291	.796**	.204	.872**	1															
	P	.052	.000	.180	.000																
PA	Pearson	.075	-.603**	-.243	-.399**	-.499**	1														
	P	.623	.000	.108	.007	.000															
PCC	Pearson	-.113	-.598**	-.066	-.526**	-.547**	.924**	1													
	P	.458	.000	.667	.000	.000	.000														
PCF	Pearson	.160	-.677**	-.339*	-.374*	-.521**	.958**	.834**	1												
	P	.293	.000	.023	.011	.000	.000	.000													
PCLL	Pearson	.192	-.543**	-.322*	-.275	-.411**	.989**	.883**	.952**	1											
	P	.206	.000	.031	.067	.005	.000	.000	.000												
PCS	Pearson	.118	-.570**	-.205	-.319*	-.400**	.886**	.796**	.921**	.870**	1										
	P	.439	.000	.177	.033	.006	.000	.000	.000	.000											
PPLL	Pearson	-.054	-.512**	-.100	-.443**	-.472**	.980**	.945**	.906**	.958**	.853**	1									
	P	.722	.000	.513	.002	.001	.000	.000	.000	.000	.000										

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género Mimosa (Leguminosae) ante el cambio climático

Anexo 6. Continuación...

		EDT	EP	ISO	OAT	ODT	PA	PCC	PCF	PCLL	PCS	PPLL	PPS	TCC	TMPPC	TPA	TPCF	TPCLL	TPCS	TPPF	
PPS	Pearson																				
	P																				
TCC	Pearson	.947**	.321*	-.715**	.804**	.463**	.060	-.133	.100	.190	.080	-.029	. ^b	1							
	P	.000	.032	.000	.000	.001	.695	.382	.514	.210	.603	.852									
TMPPC	Pearson	.923**	.398**	-.645**	.867**	.563**	-.014	-.205	.024	.120	.018	-.096	. ^b	.993**	1						
	P	.000	.007	.000	.000	.000	.927	.178	.876	.433	.908	.532		.000							
TPA	Pearson	.939**	.339*	-.696**	.807**	.476**	.061	-.129	.097	.191	.084	-.023	. ^b	.999**	.993**	1					
	P	.000	.023	.000	.000	.001	.690	.399	.526	.209	.583	.882		.000	.000						
TPCF	Pearson	.922**	.368*	-.673**	.813**	.494**	.059	-.131	.088	.190	.074	-.019	. ^b	.997**	.993**	.999**	1				
	P	.000	.013	.000	.000	.001	.698	.392	.565	.210	.629	.902		.000	.000	.000					
TPCLL	Pearson	.944**	.328*	-.696**	.805**	.469**	.057	-.114	.095	.182	.090	-.026	. ^b	.995**	.987**	.995**	.992**	1			
	P	.000	.028	.000	.000	.001	.712	.455	.536	.230	.558	.863		.000	.000	.000	.000				
TPCS	Pearson	.927**	.320*	-.693**	.793**	.467**	.104	-.108	.146	.235	.120	.018	. ^b	.994**	.988**	.995**	.995**	.987**	1		
	P	.000	.032	.000	.000	.001	.496	.479	.338	.121	.434	.906		.000	.000	.000	.000	.000			
TPPF	Pearson	.941**	.182	-.783**	.674**	.298*	.222	.017	.265	.345*	.220	.127	. ^b	.980**	.952**	.978**	.975**	.972**	.980**	1	
	P	.000	.232	.000	.000	.047	.142	.911	.078	.020	.146	.407		.000	.000	.000	.000	.000	.000		

CAPÍTULO II

Morfología de la semilla y anatomía de la testa de dos taxa del género *Mimosa*

(Leguminosae-Mimosoideae)

Seed morphology and anatomy of the seed coat of two taxa of Mimosa (Leguminosae-Mimosoideae)

INTRODUCCIÓN

La familia Leguminosae se caracteriza por presentar semillas duras (Morrison *et al.*, 1998; Villiers, 1972) y una cubierta seminal que las hace impermeables al agua, provocándoles una latencia de tipo física (Baskin y Baskin, 1998; Venier *et al.*, 2012); si bien, a nivel general, se reconoce que existen cinco tipos de latencia: la fisiológica, la morfológica, la morfo-fisiológica, la física, y la combinatoria entre la fisiológica y la física (Baskin y Baskin, 2004).

A nivel morfológico, estas semillas se caracterizan por presentar: *i*) Hilo, *ii*) Lente, *iii*) Línea fisural o pleurograma, irregular, con brazos de igual o diferente longitud, con extensiones que van del 50 al 100% (Arambarri, 2002; Gunn, 1984; Melo *et al.*, 2004), *iv*) Pleurograma, y *v*) Micrópilo (Corner, 1951; Gunn, 1984, 1991; Kopooshian, 1963). Con relación al embrión, la información anatómica es escasa; aunque, de acuerdo con Gunn (1984) se sabe que presenta: *i*) Eje del embrión, recto o curvo, *ii*) Radícula, expuesta u oculta, *iii*) Cotiledones, enteros, divididos o

auriculados, y *iv*) Plúmula, muy o moderadamente desarrollada o rudimentaria (no desarrollada).

Desde el punto de vista anatómico, la testa de la semilla, presenta cuatro capas: *i*) Cutícula, *ii*) Macroesclereidas, *iii*) Osteoesclereidas y *iv*) Parénquima (Corner, 1951; Kopooshian, 1963).

Asimismo, es relevante mencionar que en las leguminosas, la presencia o ausencia, la posición y los tamaños de los caracteres morfológicos y anatómicos de la semilla son de relevancia taxonómica a nivel supra e infra-específico (Corner, 1976; Gunn, 1984, 1991). Igualmente, estos caracteres son importantes para realizar interpretaciones ecológicas (Castillo y Guenni, 2001; Irving, 1984; Jayasuriya *et al.*, 2013; Venier *et al.*, 2012;). Por ejemplo, Qutob *et al.* (2008) y Venier *et al.* (2012) sugieren que la latencia física de las semillas está asociada con la estructura anatómica de la testa; mientras que otros como, Castillo y Guenni (2001), Serrato-Valenti *et al.* (1994) y Turner *et al.* (2005), relacionan este tipo de latencia con las propiedades histoquímicas de la semilla.

Del mismo modo, el rompimiento de la latencia de la semilla se ha investigado en varios taxa de leguminosas como *Albizia lebeck* (L.) Benth. (Navarro *et al.*, 2010), *Cassia leptophylla* Vogel (De Paula *et al.*, 2012), *Leucaena leucocephala* Lam. (Serrato-Valenti *et al.*, 1995), *Parkia multijuga* Benth., *P. panurensis* Benth. ex H. C. Hopkins y *P. velutina* Benoist (Melo, 2011), *Senna macranthera* (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby (De Paula *et al.*, 2012), *Stylosanthes hamata* (L.) Taub. (Castillo y

Guenni, 2001) y *Sophora tomentosa* L. (Delgado, 2015), entre otras, y ha permitido reconocer cuáles son las estructuras morfológicas y anatómicas de la semilla que le confieren la permeabilidad al agua. Por ejemplo, Baskin *et al.* (2000), Baskin (2003), Burns (1959), Delgado (2015), Hanna (1984), Hu *et al.* (2009), Karaki *et al.* (2012), Morrison *et al.* (1992), y Serrato-Valenti *et al.* (1995), señalan a la lente como el sitio primario por el cual entra el agua a la semilla; mientras que otros como Hu *et al.* (2008) y Taylor (2005), consideran que la entrada del agua también es posible a través del hilo o por el micrópilo como lo demostraron Baskin y Baskin (1998).

Asimismo, las estructuras de las semillas permeables al agua varían entre los géneros de leguminosas (Baskin y Baskin, 1998; Burns, 1959; Hu *et al.*, 2008, Morrison *et al.*, 1992; Serrato-Valenti *et al.*, 1994). Más aún y de acuerdo con Delgado *et al.* (2015), De Paula *et al.* (2012), Hu *et al.* (2009) y Souza *et al.* (2012), cuando se utiliza un método de escarificación determinado o se realizan ensayos bloqueando algunas estructuras de la semilla como pueden ser el micrópilo y el hilo, el micrópilo, el hilo y la lente, o solamente la lente, es posible que se modifique el sitio de entrada del agua.

En el caso de las semillas de esta familia, la escarificación es un método común debido a que producen semillas con una capa resistente al agua que las hace físicamente inactivas (Auld, 1996; van Klinken y Flack, 2005), lo que restringe su germinación en condiciones naturales (D'Aubeterre *et al.*, 2002). Por consiguiente, se han realizado diversos estudios que exploran su germinación someténdolas a diferentes métodos de escarificación como el ácido (González-Castañeda *et al.*,

2004), el mecánico (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Martínez-Pérez *et al.*, 2006) y el térmico (Torres y Barbosa-Dos Santos, 1994), entre otras, con el fin de romper la latencia física. Aunque, se admite que todavía se desconoce que causa la impermeabilidad en la mayoría de las semillas y que, por lo mismo, la selección del método de escarificación utilizado es indistinto, autores como Navarro (2003) y Sanabria *et al.* (2004), señalan, por ejemplo, que el uso de ácido puede dañar al embrión y alterar el proceso de germinación, lo que, a su vez, repercute en el desarrollo de la plántula. Así, Navarro (2003) sugiere que para romper la latencia física de la semilla a través de la selección de un método de escarificación adecuado, es preciso conocer su estructura para determinar las causas de su impermeabilidad y discernir sobre sus implicaciones ecológicas.

ANTECEDENTES

Las semillas de las leguminosas provienen de óvulos anátropos o campilótropos. Según Corner (1951, 1976) y Van Staden *et al.* (1989), las semillas de las subfamilias Mimosoideae y Caesalpinioideae provienen de óvulos anátropos; mientras que en Papilionoideae, provienen de óvulos campilótropos (Bravato, 1974; De-Paula y Oliveira 2007 -Figura 1-).

De acuerdo con Schmidt y Jøker (2001), en un óvulo anátropo, el funículo se curva 180°, quedando el micrópilo situado en la parte inferior y la calaza en la superior; mientras que en un óvulo campilótropo, el micrópilo está orientado en ángulo hacia la placenta, de manera que, el micrópilo y la calaza quedan casi a la

misma altura (Schmidt y Jøker, 2001 - Figura 1). Es importante señalar que el funículo se considera una estructura fundamental en la formación de la semilla, ya que de ella surgen otras estructuras como el hilo. El funículo es la estructura que une al óvulo con el ovario y, cuando éste degenera, deja una cicatriz conocida como hilo (Boelcke, 1946; Bravato, 1974).

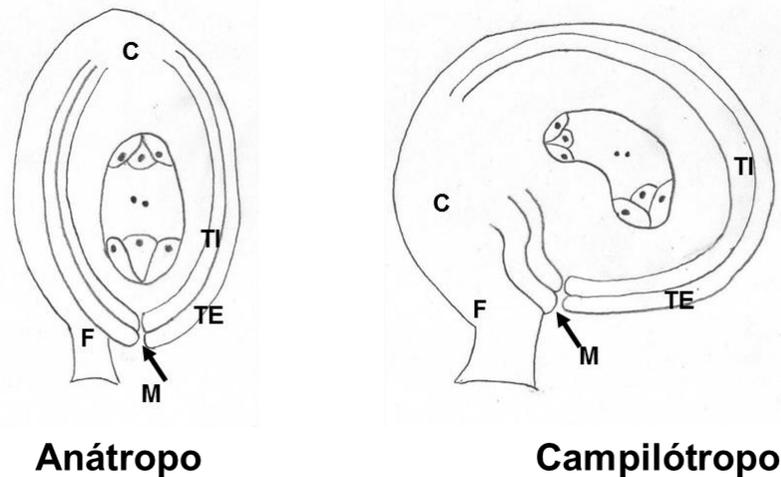


Figura 1. Esquema de los tipos de óvulos presentes en la familia Leguminosae. C=Calaza, F=Funículo, M=Micrópilo, TE=Tegumento Externo; TI=Tegumento Interno (Modificado de Diego-Pérez, 2013).

Otra estructura importante en la morfología de la semilla es el micrópilo, el cual es el espacio ubicado entre los tegumentos y se localiza en la parte apical de los óvulos (Boelcke, 1946; Schmidt y Jøker, 2001). Particularmente, las semillas de las leguminosas provienen de óvulos bi-tégmicos; es decir, son semillas que constan de un tegumento externo y uno interno (Eames y MacDaniels, 1953). Además, Dnysagar (1958) señaló que durante el proceso de maduración de la semilla, el tegumento

interno puede reducirse e, incluso, reabsorberse, como lo determinaron Boesewinkel y Bouman (1984) y Eames y MacDaniels (1953).

Asimismo, la zona de los tegumentos, ubicada entre el hilo y el micrópilo, se eleva en forma de cúpula y recibe el nombre de lente (Gunn, 1984); sin embargo, a la lente también se le puede referir como estrofiolo (Egley, 1979; Robles, 2011; Smýkal *et al.*, 2014) o rafe (Boelcke, 1946).

Por otra parte, Boelcke (1946) define otra característica morfológica de la semilla, la línea fisural, la cual es una fractura que atraviesa toda la testa; no obstante, Gunn (1984) nombra a esta fractura como pleurograma. En las leguminosas, la línea fisural es una estructura en forma de herradura (Schmidt y Jøker, 2001); particularmente en la subfamilia Mimosoideae, la línea fisural se ubica en ambas caras de la semilla (Gunn, 1984; Forero y Romero, 2005).

No obstante, sigue sin haber consenso en cuanto a los sitios permeables al agua, ya que Schmidt (2000) señala al hilo y a la línea fisural como los sitios frágiles de las semillas y, por tanto, los sitios permeables al agua; aunque, como ya se comprobó, además de esas dos estructuras, la lente y el micrópilo también son permeables (P. ej. Baskin y Baskin, 1998; Geisler, 2013; Hu *et al.*, 2009; Morrison *et al.*, 1992; Serrato-Valenti *et al.*, 1995; Taylor, 2005).

Anatómicamente, la testa de las semillas de las leguminosas se caracteriza por presentar una cutícula (Alsina, 1988) y una capa de macroesclereidas (Corner, 1951) o células en empalizada que conforman a la epidermis (Vaughan, 1968). A su

vez, la capa de macroesclereidas presenta una línea lúcida que atraviesa a toda la capa, la cual también es una característica distintiva de esta familia (Alsina, 1988). La capa subyacente a las macroesclereidas son las osteoesclereidas o también llamada capa subepidérmica (Vaughan, 1968; Smýkal *et al.*, 2014) y, por último, se sitúa una capa de parénquima (Gunn, 1981).

Diversos autores (P. ej. Barretto y Ferreira, 2011; Egley, 1979; Endo, 2012; Hamly, 1932; Molizane, 2012; Meireles y Tozzi, 2008; Pammel, 1886; Pitot, 1935; De Souza, 1982; Ubierno y Lapp, 2007; Vaughan, 1968; Varela y Albornoz, 2013) han llevado a cabo estudios relacionados con el reconocimiento de la estructura morfo-anatómica de las semillas. Asimismo, otros investigadores (P. ej. Delgado *et al.*, 2015; De Paula *et al.*, 2012; Mariño *et al.*, 2007; Molizane, 2012; Schmidt, 2000; Souza *et al.*, 2012), además de analizar dicha estructura, también han tratado de descifrar las implicaciones fisiológicas que puede haber entre dicha estructura y la fisiología de la semilla. Inclusive, existen estudios que analizan la composición química de la testa (Castillo y Guenni, 2001; Delgado *et al.*, 2015; Venier *et al.*, 2012) o de la semilla completa (Geisler, 2013; Irving, 1984).

Dada la importancia económica y cultural de las leguminosas, son numerosos los trabajos que abordan el estudio morfo-anatómico de sus semillas; aunque, la información relacionada con la anatomía del embrión es escasa. Entre estos estudios, destacan los de las subfamilias Caesalpinoideae (*Cassia leptophylla*, *Senna macranthera* [De Paula *et al.*, 2012] y *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake [Souza *et al.*, 2012] y Papilionoideae (P. ej. *Sophora tomentosa*, *Erythrina*

speciosa Andr., *Canavalia maritima* (Aubl.) Thouars, *Canavalia plagiosperma* Piper), los cuales están enfocados en localizar y describir el punto de entrada de agua y el efecto que tiene la alternancia de temperaturas en el rompimiento de la latencia física; aunque, en el caso de esta última subfamilia, se han incorporado análisis histoquímicos de la testa (Castillo y Guenni, 2001; Delgado *et al.*, 2015; Koizumi y Kano, 2014).

En el caso de la subfamilia Mimosoideae, Boelcke (1946) estudió la morfología de la semilla en 11 géneros, de los cuales, Bravato (1974) retoma nueve y agrega nueve más; asimismo, Lima (1985) retoma ocho géneros ya estudiados por los dos autores antes mencionados, e incorpora nueve más. Los tres autores coinciden en la morfología de las semillas de los géneros compartidos (P. ej. *Acacia*, *Albizia*, *Calliandra*, *Inga*, *Leucaena* y *Mimosa*, entre otros) y, a su vez, sus descripciones concuerdan con lo reportado por autores como Braz *et al.* (2012), Gunn (1984), Leython (2010) y Leython y Jaúregui (2008).

Por consiguiente, el análisis de sus resultados permite caracterizar a esta subfamilia, ya que presentan: *i*) Hilo, posición apical o sub-apical, *ii*) Lente, conspicua, pequeña, larga y lateral, *iii*) Cubierta seminal, color variable, lisa y brillante, delgada y a veces gruesa (P. ej. *Adenantha*, *Albizia* y *Enterolobium*, entre otros), *iv*) Línea fisural, forma de herradura; los brazos pueden estar unidos o casi unidos, ser o no paralelos, éstos pueden ser cortos o prolongarse hasta el extremo hilar, *v*) Tegmen, puede o no estar presente y cuando está, puede estar reducido en los cantos, *vi*) Endospermo, cuando presente vítreo o córneo, en cantidad variable, o

ausente, *vii*) Eje embrionario, puede o no estar desarrollado y cuando está, es corto y grueso, y *viii*) Cotiledones, enteros, divididos o auriculados.

Respecto a los estudios anatómicos de la semilla de Mimosoideae, éstos son escasos. Se han descrito las semillas de algunos taxa pertenecientes a los géneros *Acacia* (Hanna, 1984; Pammel, 1989; Venier, 2012), *Adenantha* (Varela y Albornoz, 2013), *Calliandra* (Leython y Jaúregui, 2008), *Mimosa* (Geisler, 2013; Iwazaki, 2008) y *Prosopis* (Irving, 1984). En todos ellos se analiza la estructura de la semilla y sus implicaciones en el proceso de germinación; y, aunque son pocos los géneros examinados, el análisis conjunto de lo reportado permite dar una aproximación sobre la estructura interna de la semilla y establecer que la anatomía de la cubierta seminal es constante (Van Staden *et al.*, 1989). Anatómicamente, la semilla presenta: *i*) Cutícula, *ii*) Estrato de macroesclereidas, *iii*) Estrato de osteoesclereidas, *iv*) Línea lúcida, posición variable, puede estar presente en la parte apical (P. ej. *Calliandra riparia* Pittier) o media (P. ej. *Calliandra falcata* Benth.) de las macroesclereidas y *v*) De 5 a 8 estratos de parénquima de grosor variable.

Por lo que este capítulo está enfocado en describir la morfología de la semilla y la anatomía de la testa de dos taxa del género *Mimosa* presentes en México. A nivel mundial, este género consta de ca. 530 taxa (Särkinen *et al.*, 2011; Simon *et al.*, 2011). En México, *Mimosa* es el género más numeroso de mimosoideas, consta de ca. 110 taxa, de las cuales el 60% es endémico del país (Grether *et al.*, 1996), de ahí que México es considerado el segundo centro de diversificación del género, después de Brasil (Barneby, 1991; Grether, 1978; Simon *et al.*, 2011).

Dada la importancia biológica y ecológica de sus taxa (Camargo-Ricalde *et al.*, 2002; Camargo-Ricalde y Dhillion, 2003; Camargo-Ricalde *et al.*, 2010a, b), éstas han sido objeto de múltiples estudios taxonómicos y sistemáticos (Chehaibar, 1988; Grether, 2000), palinológicos (Caccavari, 1985, 1986, 1987; Flores-Cruz *et al.*, 2006), ecológicos (Camargo-Ricalde *et al.*, 2010a, b; Moreno-Calles y Casas, 2010; Pavón *et al.*, 2011) y, recientemente, ecoanatómicos (Montaño-Arias *et al.*, 2013). Además, dadas sus características biológicas, ecológicas y de uso, algunos de sus taxa son consideradas plantas multipropósito (Camargo-Ricalde, 2001); entre ellas destacan *M. aculeaticarpa* Ortega var. *aculeaticarpa*, la cual se distribuye en regiones templadas y mésicas, y es endémica de México, y *M. luisana* Brandegeee que es endémica del Valle semiárido de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y Oaxaca, México. Ambos taxa han sido sugeridos para ser utilizados en procesos de restauración ambiental en sus respectivos ambientes (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Montaño-Arias *et al.*, 2015; Pavón *et al.*, 2011).

Con relación al estudio de la anatomía de la semilla del género *Mimosa*, es relevante mencionar que se trata de un aspecto poco explorado y, en el caso de estos dos taxa en particular, no existe ningún estudio, por lo que éste es el primero.

Para Argentina, Boelcke (1946) estudió cuatro taxa de *Mimosa*, de las cuales, Bravato (1974) retomó dos y añadió 20 taxa distribuidas en Venezuela; sin embargo, ambos autores se enfocaron solamente en la morfología de la semilla y realizaron una descripción general, y no una descripción específica de cada uno de los taxa estudiados. Por su parte, Barneby (1991) y Grether (1997) describieron, también de

manera general, la morfología de la semilla de varios taxa de *Mimosa* (P. ej. *M. orthocarpa* Spruce ex Benth., *M. pigra* L.); ambos autores coinciden con Boelcke (1946), Bravato (1974) y Lima (1985), al reportar que todas las semillas examinadas presentan una línea fisural bien definida, que la textura es lisa o porosa, opaca o brillante y de color pardo-rojizo o negro, entre otras características.

Respecto a la anatomía de la semilla de *Mimosa*, Iwazaki (2008) describió la anatomía de la semilla de *M. daleoides* Benth., *M. dolens* Vell. var. *anisitsii* (Lindm.) Barneby y *M. orthacantha* Benth. Los tres taxa presentan una capa de macroesclereidas, línea lúcida en la parte media de las macroesclereidas, una capa de osteoesclereidas, una capa de parénquima y endospermo de aspecto vítreo. Asimismo, Geisler (2013) caracterizó la anatomía de la semilla de *M. bimucronata* (DC) O. Kuntze, la cual presenta una cutícula, una capa de macroesclereidas con una línea lúcida, una capa de osteoesclereidas y una capa de parénquima. Es importante mencionar que todos los taxa examinados fueron recolectados en Brasil.

Asimismo, existen otras investigaciones que abordan la latencia física de las semillas de *Mimosa* con el objetivo de entender los procesos involucrados en su germinación. Por ejemplo, Jayasuriya *et al.* (2013) experimentaron con *M. invisa* Colla, *M. pigra* y *M. pudica* L., taxa tropicales e introducidas a Sri Lanka, y van Klinken y Goulier (2013), quienes estudiaron a *M. pigra*, ya que en Australia, este taxon, también introducido, se comporta como una gran invasor que habita, principalmente, en sitios inundables. Sin embargo, en ningún caso, se analizó la anatomía de la semilla. Dado lo anterior, se requiere de estudios que permitan

integrar a la anatomía con la fisiología de la semilla, con el fin de contextualizar y comprender mejor sus implicaciones ecológicas.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cómo es la morfología de la semilla de dos taxa de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae) presentes en México?
- ¿Cómo es la anatomía de la testa de la semilla de dos taxa de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae) presentes en México?
- ¿Existe una correlación entre las características morfológicas de la semilla y anatómicas de la testa de dos taxa de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae), presentes en México, con el clima preponderante?

HIPÓTESIS

Aunque se reconoce un patrón morfológico y anatómico que caracteriza a las semillas de la subfamilia Mimosoideae, se plantea la siguiente hipótesis:

Si los taxa están adaptados a los ambientes en los que se desarrollan, entonces la morfología de la semilla y la anatomía de la testa (número de capas) será diferente al comparar entre los dos taxa de *Mimosa* en estudio: i) *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, habita en sitios mésicos, y ii) *M. luisana*, habita en sitios semiáridos.

OBJETIVO

Describir la morfología de la semilla y la anatomía de la testa de dos taxa de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae), presentes en México, que habitan en ambientes contrastantes (ambiente mésico vs. ambiente semiárido).

MÉTODOS

Recolección de frutos y semillas

De *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y de *M. luisana*, se recolectaron frutos maduros de ocho individuos de altura y cobertura similar (2.0 m y 2.5 m, respectivamente), que no presentaran daño aparente, se consideró que tuvieran el mayor número de frutos y que las semillas estuvieran maduras, por taxon. Los frutos, en su mayoría, estaban dehiscentes y sin daño evidente. La recolección de los frutos se realizó al azar, abarcando el área total de la copa. Se extrajeron las semillas separándolas en dos lotes, uno para el estudio morfológico y otro para la caracterización anatómica de la semilla.

Las semillas se extrajeron de los frutos inmediatamente después de la recolección. Se obtuvieron aproximadamente 10,000 semillas, por taxon, que fueron almacenadas en contenedores de plástico bajo condiciones ambientales de temperatura y humedad de la Ciudad de México.

Los ejemplares botánicos de referencia están depositados en el Herbario Metropolitano (UAMIZ), de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

Análisis morfológico

Para la caracterización morfológica, se eligieron 100 semillas por individuo, por taxon, con la finalidad de considerar todo el ámbito de variación morfológica del taxon. En semillas secas, se determinó el tamaño, midiendo el largo, ancho y grosor, con un calibrador Vernier Digital (Absolute Digimatic, CD-6" CS). El largo de la semilla fue medido desde el extremo hilar hasta el calazal; el ancho fue medido en la porción media y más ancha de la semilla, al igual que el grosor. Para definir la forma de las semillas, se siguió lo indicado por Murley (1951; tomado de Bravato, 1974; Gunn, 1984). El color fue estimado en semillas maduras mediante las tablas de Munsell Color Company (1990). Se adoptó el término de línea fisural, y ésta fue descrita siguiendo la terminología propuesta Gunn (1984). El hilo y la forma de la lente, se definieron según Boelcke (1946), Bravato (1974), Gunn (1984) y Escala (1999).

En forma adicional, 50 semillas sanas se hidrataron durante una semana para ablandar la cubierta y observar la morfología del embrión (cotiledones, radícula), así como el endospermo). Las descripciones se realizaron con base en Boelcke (1946) y Gunn (1984). Todas las observaciones se efectuaron en un microscopio estereoscópico marca Leica, modelo Zoom 2000.

Análisis anatómico

Debido a que las semillas son duras, se realizó un tratamiento de ablandamiento de la testa; en este caso, fue por hidratación, ya que, de acuerdo con Sandoval-Zapotitla (2005), existen varias técnicas de ablandamiento como la de hidratación, la solución glicerina, alcohol etílico y agua, la solución etilendiamina, y el hidróxido de sodio y ácido acético glacial; sin embargo, se considera que la técnica menos dañina es la de hidratación, ya que no altera los pigmentos y no es tóxica.

Por lo tanto, para el análisis anatómico, se eligieron 100 semillas por taxon, las cuales fueron hidratadas hirviéndolas en agua destilada para ablandar la testa y realizar cortes. Las semillas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se mantuvieron hirviendo durante tres horas; mientras que las de *M. luisana*, permanecieron hirviendo únicamente dos horas debido a que, en ese tiempo, empieza a desprenderse una capa fina que, probablemente, sea la cutícula.

Después de hervir las semillas, se procedió a separar, de forma manual, la testa y los cotiledones de 50 semillas por taxon. Una vez separadas, se fijaron en FAA (formaldehído, alcohol 96%, agua destilada y ácido acético glacial) al 50%, durante 24 hrs. Posteriormente, se realizó la infiltración e inclusión de la testa y de los cotiledones, por separado, en paraplast (marca Sigma); para ello, se siguió la metodología propuesta por Johansen (1940) y Sandoval-Zapotitla (2005).

Una vez realizados los bloques de parafina, se hicieron cortes de 8 μ m de grosor en un micrótopo rotatorio (American Optical, Spencer Microtome, modelo

820). Los cortes fueron montados en grenetina al 10%. Una vez montados los cortes, se les retiró el paraplast y éstos fueron teñidos con Azul de Toluidina al 1% y se montaron de forma permanente con resina sintética (Stern, 1992).

De forma adicional, algunos cortes fueron seleccionados para realizarles pruebas histoquímicas. Para la dar contraste a los cortes se tiñó con Azul de Toluidina y Safranina, para la identificación de lignina se utilizó Floroglucina Clorhídrica. Asimismo, para comprobar la presencia de cutícula, se tiñó con Rojo O de aceite y SUDÁN III que también detectan lípidos y suberinas. Para almidones, se utilizó Lugol (Johansen, 1940; Sandoval-Zapotitla, 2005). Todas las fotografías se generaron en un microscopio óptico, marca Zeiss, modelo Axiostar-Plus.

RESULTADOS

Morfología y anatomía de la semilla de Mimosa aculeaticarpa var. aculeaticarpa

Las semillas se caracterizan por presentar una longitud que va desde 3.0 a 4.4 mm, ancho de 2.0 a 3.0 mm y el grosor de 0.01 a 0.02 mm, lo que sugiere que son delgadas. Son aplanadas dorsiventralmente y ligeramente convexas. La forma de las semillas es ovoide. La testa es lisa, punteada, color marrón rojizo oscuro o rojo amarillento, glabra, opaca o brillante. La línea fisural está presente en ambas caras, forma una herradura alejada de los bordes, con brazos de igual longitud, abiertos y de 50% de extensión (Figura 2A-B).

La región hilar es puntiforme aguda; en ella, el micrópilo es circular, de color claro y está en posición apical (Figura 2B-C). El hilo es ovalado, de color claro, se ubica en posición sub-apical y está cubierto por remanentes del funículo (Figura 2D). La lente es ovalada, de color oscuro y rara vez claro, y se encuentra ubicada en la porción opuesta al micrópilo (Figura 2C-E).

Cabe mencionar que en semillas hidratadas, se observó la ruptura de la línea fisural, lo que indica que, probablemente, éste sea el sitio permeable.

Respecto al endospermo, las semillas se caracterizan por presentar un endospermo vítreo, el cual está adherido a la cubierta seminal y se encuentra reducido hacia los cantos, formando un disco arriba de los cotiledones (Figura 3B). El eje del embrión es recto (Figura 3C). Se observaron cotiledones planos, sagitados y auriculados (Figura 3A, C, D). La radícula es corta (3 mm), gruesa (0.5 mm), recta y expuesta. Se observa el epicótilo (Figura 3C-D) y no hay desarrollo de primordios foliares (plúmula).

Anatómicamente, los cotiledones presentan una epidermis que está formada por células alargadas paralelas a la superficie, de forma rectangular y tamaño variable (Figura 4A-B, D). Asimismo, la epidermis es monoestratificada compuesta por células isodiamétricas, ésta mostró estomas de tipo paracítico en la región del envés (Figura 4C).

Continuo a la epidermis, se observó una capa de parénquima en empalizada (Figura 4A-B); le sigue el parénquima, éste se presenta en varias capas de células

más o menos poliédricas (Figura 4C-E). Entre las capas de este tejido, se observan nítidamente haces vasculares que recorren el cotiledón (Figura 4A-B).

Cabe mencionar que las células que conforman el parénquima, muestran abundantes contenidos. La prueba histoquímica realizada indicó que no hay presencia de lípidos (figura no mostrada). Asimismo, la prueba de Lugol indicó la presencia de almidones en los cotiledones (Figura 4D y E).

En la cara externa de la testa se encuentra una estructura que recubre a las capas internas de las células (Figura 5A-C), la cual se tiñe en rojo con Rojo O de aceite, indicando la presencia de lípidos (Figura 5D), por lo que esta capa puede estar constituida cutina y suberina, y por ello conformar una estructura impermeable como es la cutícula. Asimismo, se observó una capa de macroesclereidas con paredes engrosadas y radialmente alargadas, los lúmenes son anchos en su base y presentan abundantes contenidos intracelulares. Además, en las macroesclereidas se distingue la línea lúcida, la cual se ubica en la parte superior de esta capa (Figura 5A-B).

La capa subyacente a las macroesclereidas es el parénquima, el cual está compuesto por 8-10 estratos de células poliédricas e isodiamétricas (Figura 5A-D).

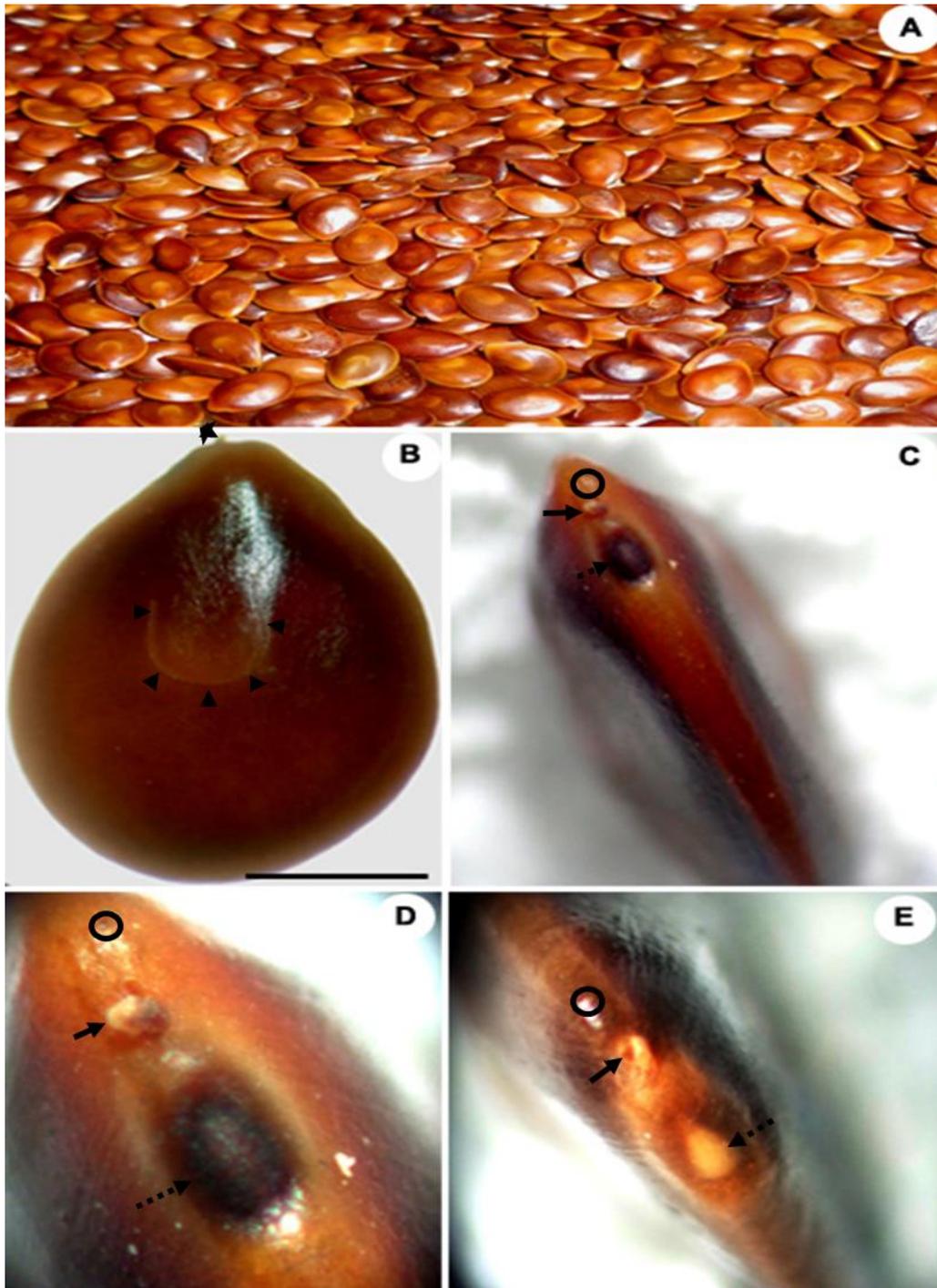


Figura 2. Morfología de la semilla de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*. A. Vista general de semillas; B. Forma ovoide de la semilla; C. Vista de canto de la semilla; D-E. Acercamientos de la lente, el hilo, restos del funículo y el micrópilo. Barra, equivalente a 1 mm. Simbología: →=hilo, ⋯▶=lente, ▶=línea fisural, ○=micrópilo, ◀=restos del funículo.

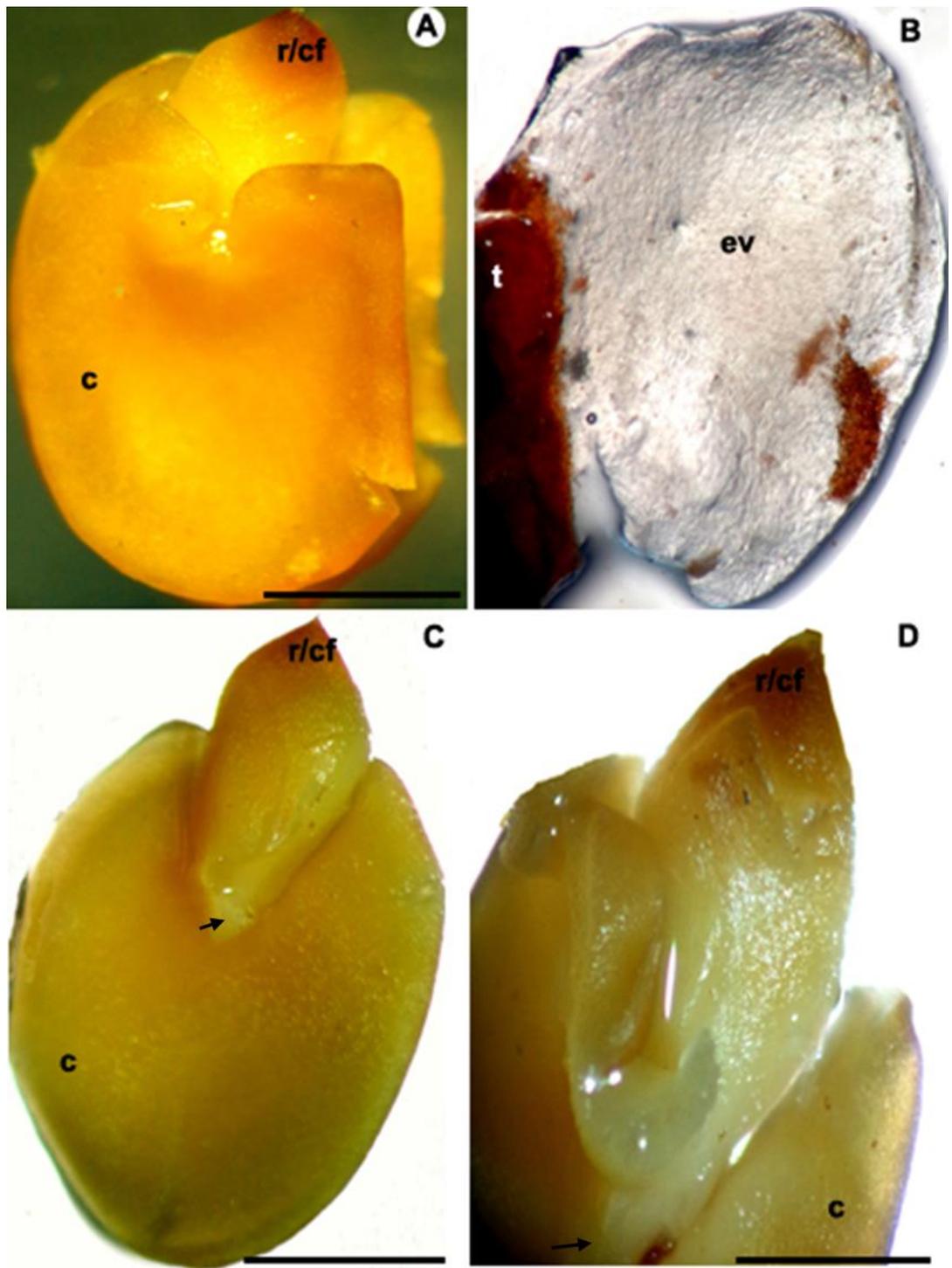


Figura 3. Morfología de los cotiledones de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*. A. Vista general; B. Endospermo; C. Cotiledón, epicótilo y radícula; D. Acercamientos del cotiledón. =cotiledones, cf= cofia, ev=endospermo vítreo, r=radícula, t=testa. Barras equivalentes a: A=1.6 mm, C=1 mm, D=0.7 mm. Simbología: →= epicótilo.

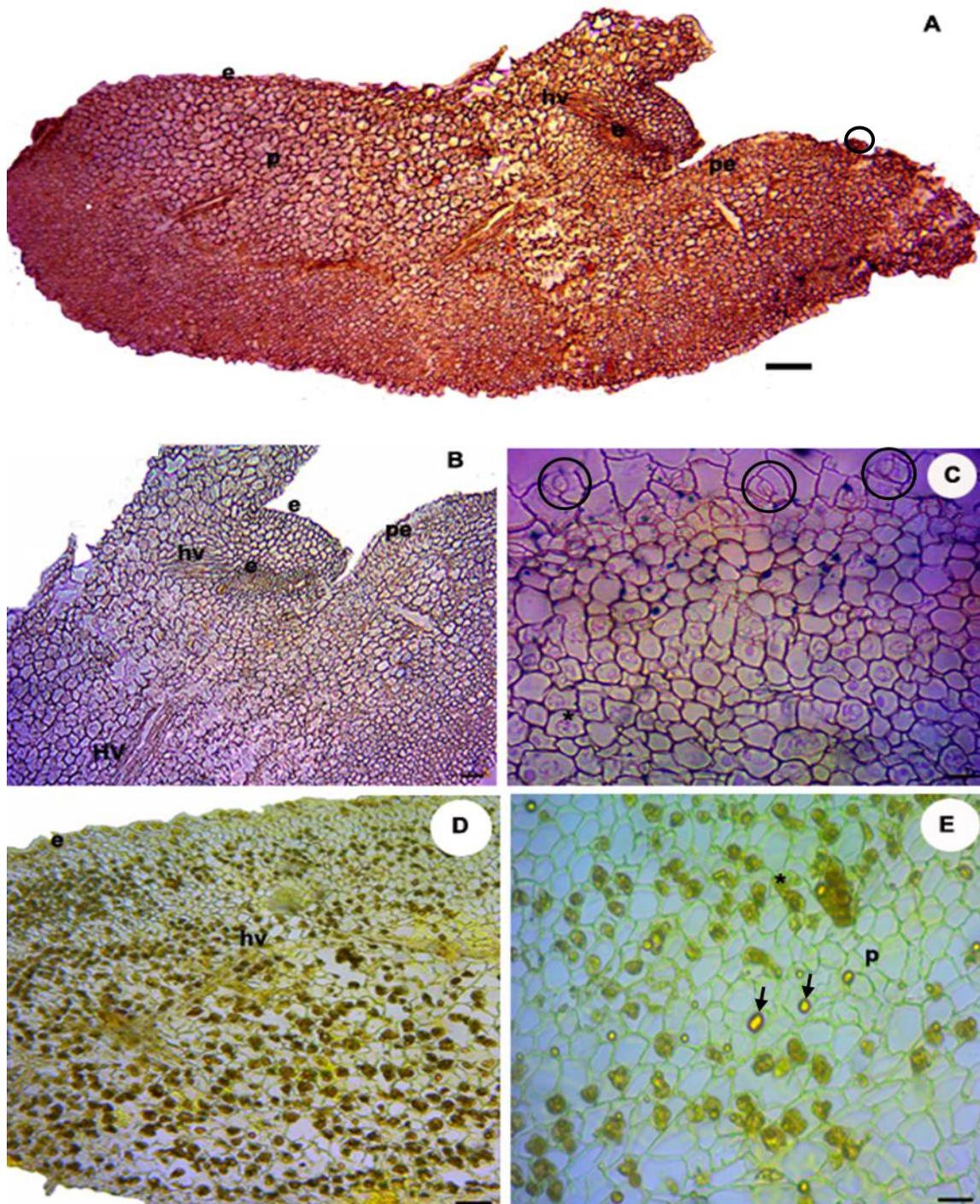


Figura 4. Corte longitudinal del cotiledón de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*. A. Vista general; B. Acercamiento del epicótilo; C. Acercamiento de la epidermis del cotiledón; D. Almidones, E. Acercamiento del parénquima con almidones. e=epidermis, hv=haz vascular, pe=parénquima en empalizada, p=parénquima. A, B y C, cortes teñidos con Azul de Toluidina; D y E, teñidos con Lugol. Barras equivalentes a: A=100 μ m, B y D=50 μ m, C y E=20 μ m. Simbología:*=amiloplastos, \rightarrow =grano de almidón, \bigcirc =estomas.

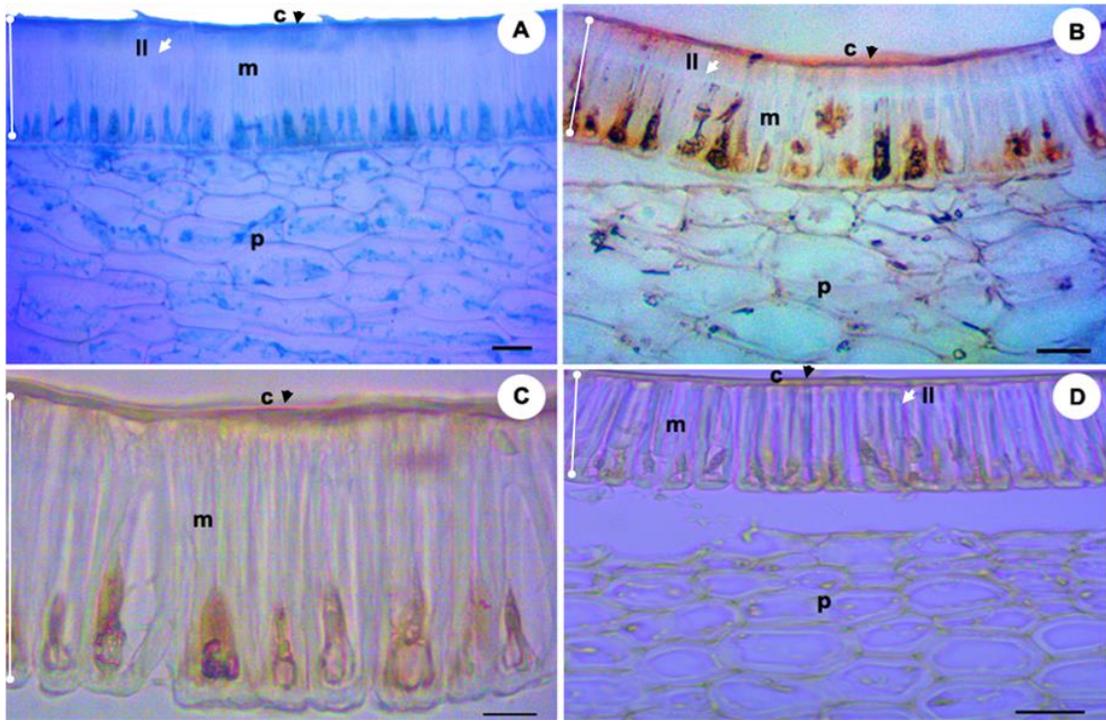


Figura 5. Anatomía de la testa de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*. A. Tinción con Azul de Toluidina; B. Tinción con Safranina, C. Tinción con Floroglucina Clorhídrica, D. Tinción con Rojo O de aceite. c=cutícula (flecha negra), ll=línea lúcida (flecha blanca), m=macroesclereidas (línea blanca), p=parénquima. Barras equivalentes a: A, B y D=20 μ m, C=10 μ m.

Morfología y anatomía de la semilla de Mimosa luisana

Las semillas se caracterizan por presentar una longitud que va desde 2.6 a 3.5 mm, ancho de 1.8 a 2.4 mm y el grosor de 2.0 a 2.7 mm, lo que sugiere que son ligeramente gruesas y umbonadas en el centro (Figura 6A-C). La forma de las semillas es de circular a elíptica (Figura 6B). La testa es glabra, lisa, punteada, color negro o marrón rojizo, brillante u opaca. La línea fisural está presente en ambas caras, forma una herradura alejada de los bordes, con brazos de igual longitud, abiertos y de 75% de extensión (Figura 6A-B).

La región hilar es de obtusa a aguda; en ella, el micrópilo es circular, de color claro y está en posición apical (Figura 6C-E). El hilo es ovalado, de color claro, se ubica en posición sub-apical. La lente es circular, de color oscuro y se encuentra ubicada en la porción opuesta al micrópilo (Figura 6C-E).

Cabe mencionar que en semillas hidratadas, se observó la ruptura de la línea fisural y del micrópilo, lo que indica que estas estructuras, probablemente, sean los sitios permeables.

Por otro lado, las semillas se caracterizan por presentar un endospermo vítreo, adherido a toda la cubierta seminal (Figura 7B). El eje del embrión es recto. Se observaron cotiledones planos, sagitados y auriculados (Figura 7A-C). La radícula es corta (2 mm), gruesa (0.5 mm), recta y expuesta. Se observa el epicótilo (Figura 7C-D) y no hay desarrollo de primordios foliares (plúmula).

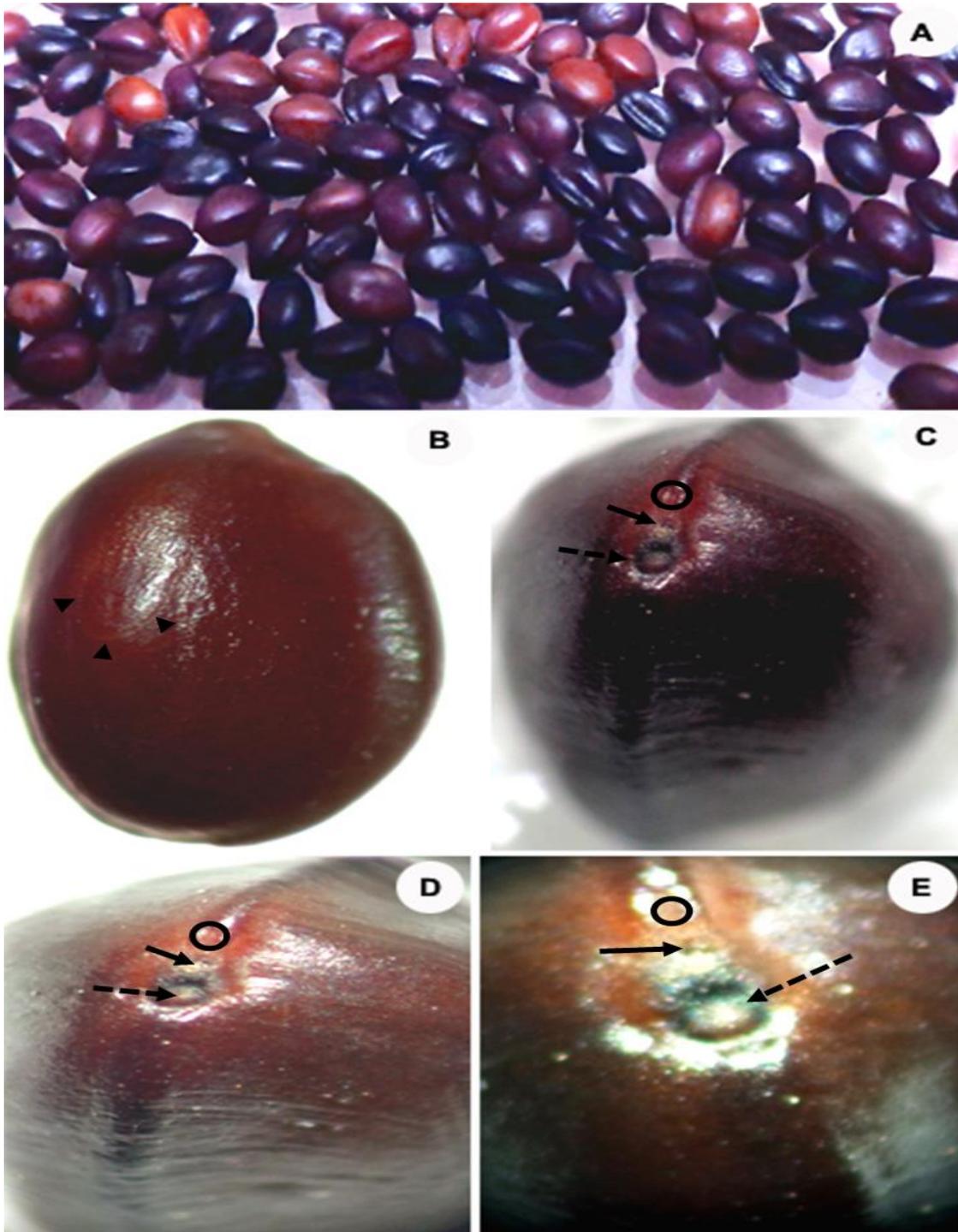


Figura 6. Morfología de la semilla de *Mimosa luisana*. A. Vista general de semillas; B. Forma circular a elíptica de la semilla; C. Vista de canto de la semilla; D-E. Acercamientos de la lente, el hilo y el micrópilo. Barra equivalente a 0.9 mm.

Simbología: →=Hilo, ←=lente, ▶ =línea fisural, ○=micrópilo.

Anatómicamente, los cotiledones presentan una epidermis que está formada por células alargadas paralelas a la superficie, de forma rectangular y tamaño variable (Figura 8A-B, D). Asimismo, la epidermis es monoestratificada compuesta por células isodiamétricas, ésta mostró estomas de tipo paracítico en la región del envés (Figura 8C).

Continuo a la epidermis, se observó una o dos capas de parénquima en empalizada (Figura 8A-B); le sigue el parénquima, éste se presenta en varias capas de células más o menos esféricas y poco compactadas (Figura 8C-E). Entre las capas de este tejido, se observan nítidamente haces vasculares que recorren el cotiledón (Figura 8A-B).

Cabe mencionar que las células que conforman el parénquima, muestran abundantes contenidos. La prueba histoquímica realizada indicó que no hay presencia de lípidos (figura no mostrada). Asimismo, la prueba de Lugol indicó la presencia de almidones en los cotiledones (Figura 8D y E).

Por otro lado, en la cara externa de la testa de esta semilla se encuentra una estructura que recubre a las capas internas de las células (Figura 9A-C), la cual se tiñe en rojo con Rojo O de aceite, indicando la presencia de lípidos (Figura 9D), por lo que esta capa puede estar constituida cutina y suberina, y por ello conformar una estructura impermeable como es la cutícula. Asimismo, se observó una capa de macroesclereidas con paredes engrosadas y radialmente alargadas, los lúmenes son anchos en su base y presentan abundantes contenidos intracelulares.

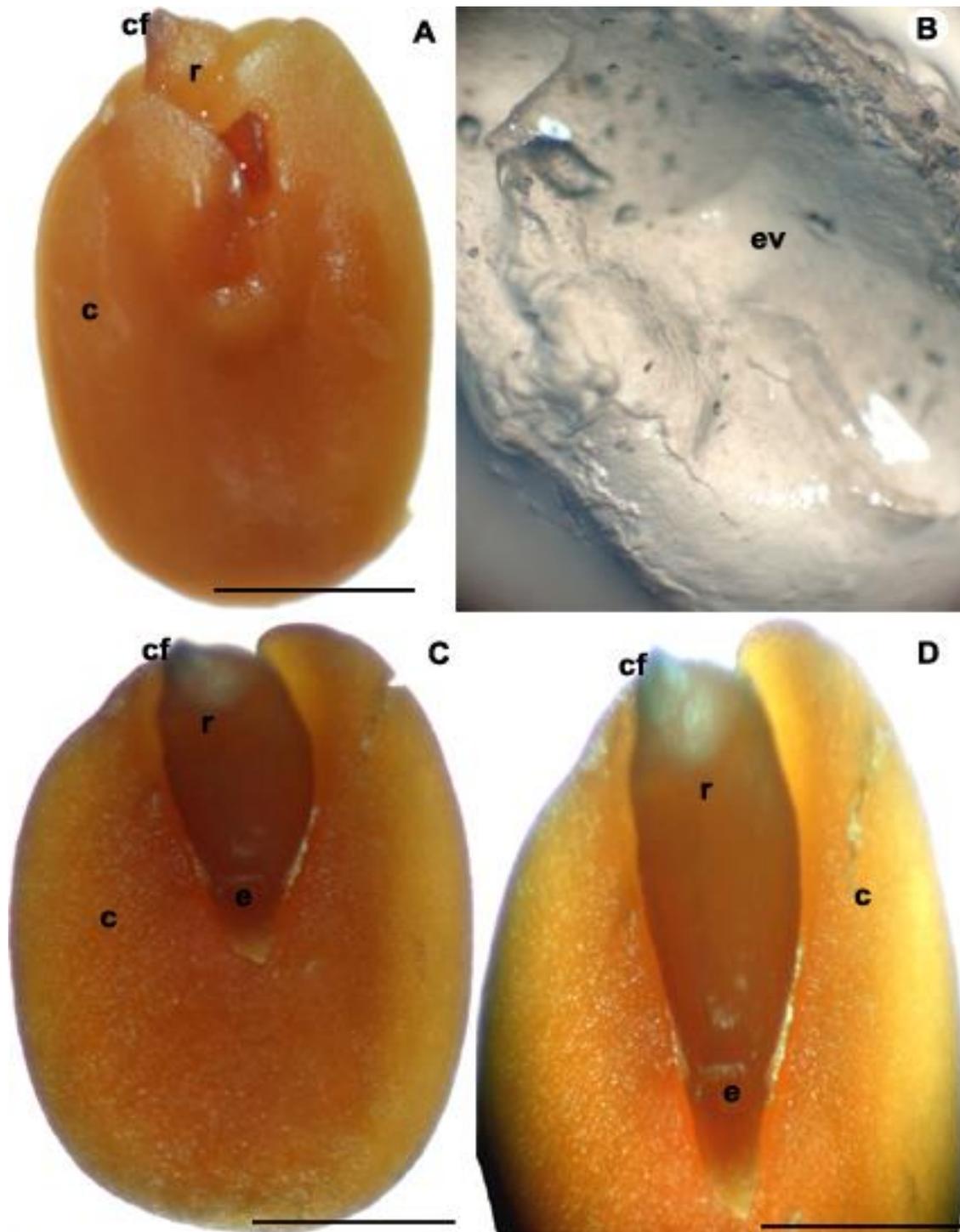


Figura 7. Morfología de los cotiledones de *Mimosa luisana*. A. Vista general; B. Endospermo; C. Cotiledón, epicótilo y radícula; D. Acercamientos del cotiledón, el epicótilo y la radícula. c=cotiledones, cf=cofia ev=endospermo vítreo, e=epicótilo, r=radícula. Barras equivalentes a: A=0.9 mm, C=0.64 mm, D=0.3 mm.

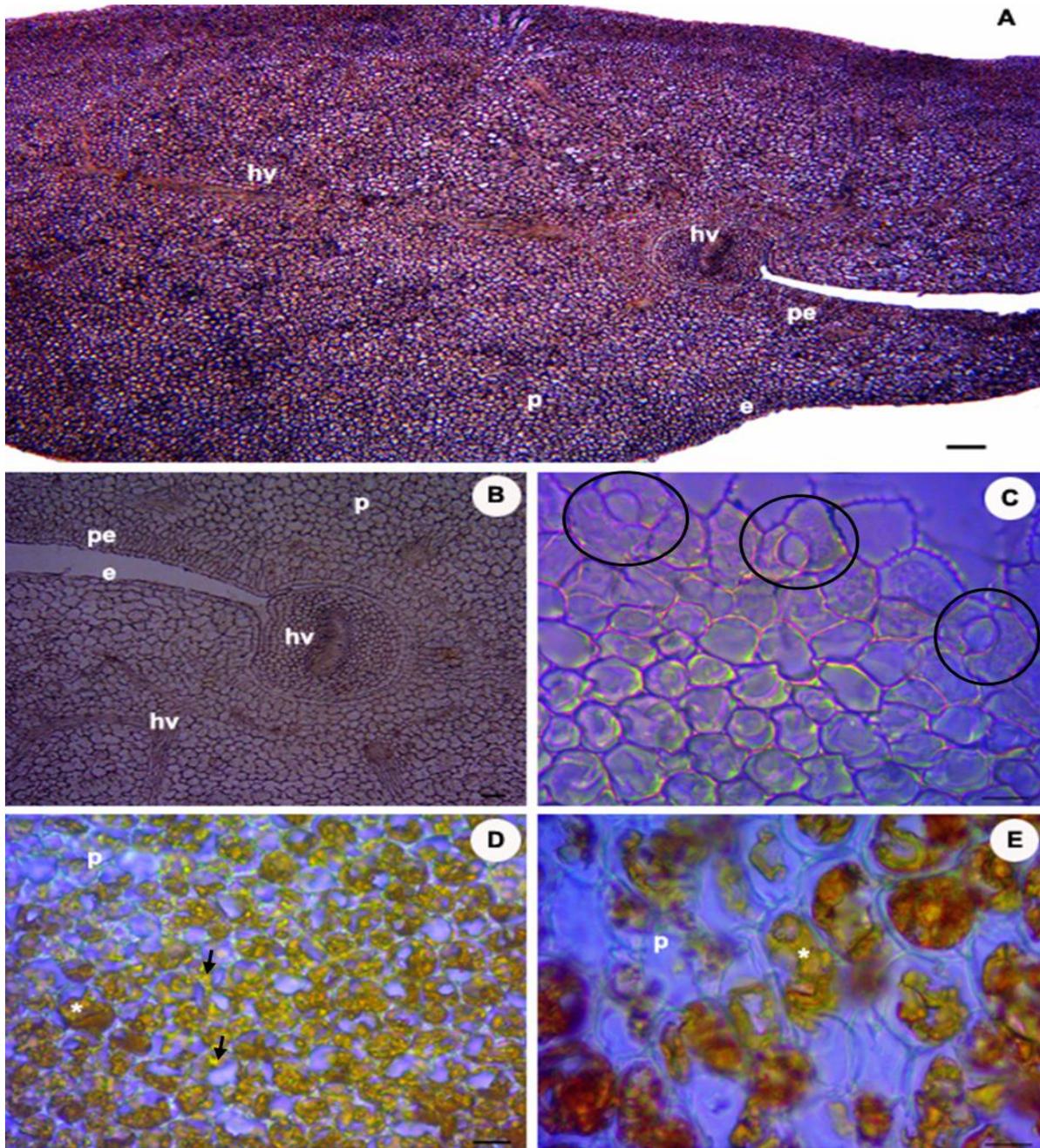


Figura 8. Cortes longitudinales del cotiledón de *Mimosa luisana*. A. Vista general; B. Acercamiento del eje del embrión; C. Acercamiento de la epidermis del cotiledón; D. Contenidos; E. Acercamiento del parénquima esponjoso con contenidos. e=epidermis, es=estomas, hv=haz vascular, pe=parénquima en empalizada, p=parénquima, *=contenidos. Barras equivalentes a: A= 100 μ m, B= 50 μ m, C y E= 10 μ m.

Simbología: *=amiloplastos, \rightarrow =grano de almidón, \bigcirc = estomas.

Además, en las macroesclereidas se distingue la línea lúcida, la cual se ubica en la parte media de esta capa (Figura 9A-B, D).

La capa subyacente a las macroesclereidas son las osteoesclereidas. Las células de esta capa tienen paredes engrosadas. Debajo de las osteoesclereidas, se encuentra el parénquima que consta de 8-9 estratos de células tangencialmente alargadas (Figura 9A-D).

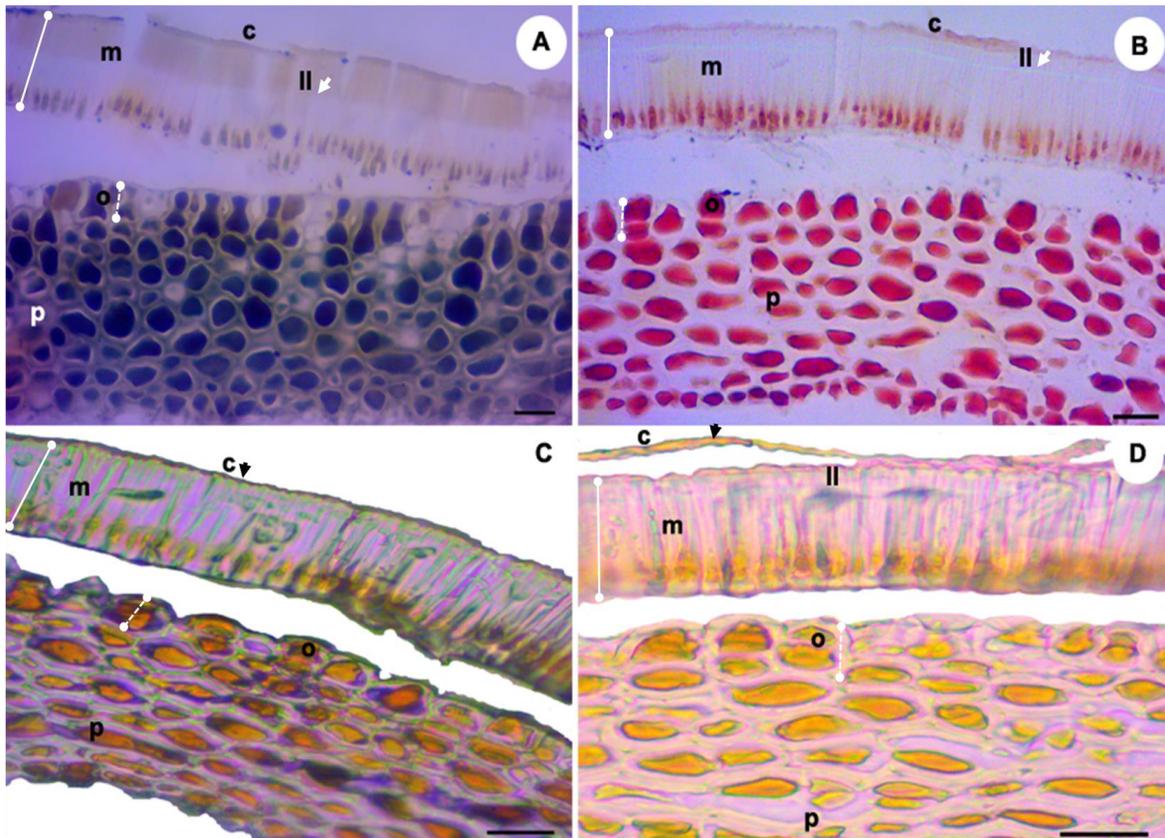


Figura 9. Anatomía de la testa de *Mimosa luisana*. A. Tinción con Azul de Toluidina; B. Tinción con Safranina, C. Tinción con Floroglucina Clorhídrica, D. Tinción con Rojo O de aceite. c=cutícula (flecha negra), ll=línea lúcida (flecha blanca), m=macroesclereidas (línea blanca), o=osteoesclereidas (línea blanca punteada), p=parénquima. Barras equivalentes a 20 μ m.

DISCUSIÓN

Morfología de la semilla

Las semillas de los taxa estudiados mostraron características morfológicas (hilo, micrópilo, lente y línea fisural) similares a las ya reportadas para la familia Leguminosae (P. ej. Boelcke, 1946; Corner, 1951; De Paula *et al.*, 2012; Gunn, 1984, 1991; Lima, 1985).

Los resultados obtenidos, en conjunto con lo reportado en otros trabajos (P. ej. Gunn, 1984; Iwazaki, 2008; Leython y Jaúregui, 2008; Lima, 1985; Pammel, 1989), sugieren un patrón morfológico y anatómico que caracteriza a las semillas de la subfamilia Mimosoideae, el cual podría no mostrar relación con los ambientes en los que se establecen y desarrollan estos taxa vegetales; ya que la forma, la superficie lisa, la posición del hilo, la lente, la línea fisural y el micrópilo, son similares en varios géneros de mimosoideas como *Albizia*, *Calliandra*, *Desmanthus*, *Entada*, *Mimosa*, *Neptunia*, *Parkia*, *Piptadenia* y *Prosopis*, entre otros, y que habitan en ambientes diferentes, desde templados hasta cálido húmedos y secos (Boelcke, 1946; Bravato, 1974; Lima, 1985; Melo, 2011).

A nivel mundial, sólo se conoce la morfología de la semilla de ca. 12% de los taxa de *Mimosa*; sin embargo, es posible señalar que las semillas de este género presentan endospermo y una línea fisural bien definida. No obstante, al incorporar otros caracteres, existe un patrón específico para cada taxon, lo que permite identificarlas entre sí; por ejemplo, los dos taxa estudiados poseen endospermo, pero la forma de las semillas es diferente, ya que en *M. aculeticarpa* var. *aculeaticarpa*, la

semilla es ovoide; mientras que las semillas de *M. luisana* son de circulares a elípticas.

Con relación a otros caracteres morfológicos como la extensión de los brazos que forma la línea fisural o la presencia de un endospermo vítreo, estos son compartidos con *M. bimucronata*, *M. bonplandii* (Gill.) Benth. y *M. braacatinga* Hoehne L. (Boelcke, 1946). Cabe señalar que estos caracteres y la forma de las semillas de los dos taxa estudiados, ya han sido reportados por Bravato (1974) y Lima (1985) en otros taxa de *Mimosa* (P. ej. *M. arenosa* (Willd.) Poir., *M. camporum* Benth. y *M. tenuiflora* (Willd.) Poir.); aunque, estos autores sólo realizaron una descripción general sobre la morfología de las semillas, sin dar detalles a nivel específico, lo que dificulta la comparación entre los taxa.

Asimismo, al analizar y comparar la morfología de las semillas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana*, con las descripciones de las semillas de los 61 taxa de *Mimosa* reportadas por Boelcke (1946), Bravato (1974), Lima (1985) y Melo (2011), es posible sugerir que la morfología de la semilla puede considerarse como un carácter constante; aunque, todavía falta por conocer la morfología de las semillas de ca. 88% de los taxa de este género.

Aunque este estudio no estuvo enfocado en reconocer los sitios permeables de las semillas, se observó que cuando se hidratan las semillas de ambos taxa, la línea fisural se fractura lo que podría indicar que se trata de un sitio frágil como lo reportó Schmidt (2000) y, por tanto, el probable sitio permeable. Sin embargo, no se

descarta la posibilidad de que esta ruptura sea posterior a la entrada de agua y, refleje una liberación de presión para no generar daño al embrión. Cabe señalar que en *M. luisana*, además de la línea fisural, el micrópilo también sufrió una fractura, el cual también ha sido considerado uno de los sitios permeables de la semilla (Baskin y Baskin, 1998). Sin embargo, para ambas taxa, deben realizarse otras investigaciones encaminadas al bloqueo de los diferentes sitios de la semilla que, efectivamente, corroboren que la línea fisural y el micrópilo son los sitios permeables.

Anatomía de las semillas

Mimosa aculeaticarpa var. *aculeaticarpa* presenta semillas conformadas por sólo una capa de macroesclereidas; mientras que *M. luisana* presenta, además de la capa de macroesclereidas, una de osteoesclereidas. Asimismo, ambas taxa presentan línea lúcida, la cual se ubica en la capa de macroesclereidas. Estos dos últimos caracteres pueden considerarse como conservados, tanto a nivel de género como de familia (Corner, 1951; Geisler, 2013; De Paula *et al.*, 2012), lo que concuerda con Van Staden *et al.* (1989), quienes señalan que las semillas de las leguminosas muestran un patrón estructural constante.

La presencia y organización de los caracteres anatómicos de la semilla de los taxa estudiados, coincide con lo reportado para otras leguminosas; por ejemplo, en *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (Geisler, 2013), *Stylosanthes hamata* (Castillo y Guenni, 2001) y *Schizolobium parahyba* (Souza *et al.*, 2012). En la subfamilia Mimosoideae, esta misma organización ha sido observada en los géneros *Acacia*

(Araújo-Neto *et al.*, 2002), *Adenantha* (Varela y Albornoz, 2013), *Calliandra* (Leython y Jaúregui, 2008), *Desmanthus* (Wood *et al.*, 2010), *Pithecellobium* (Parra *et al.*, 2011) y *Prosopis* (Irving, 1984), entre otros.

Asimismo, se considera que lo que le confiere rigidez a la testa y dureza a la semilla, es la capa de macroesclereidas lignificada (Martín-Gómez y Saco-Sierra, 2012). En los taxa estudiados, la capa de macroesclereidas presenta lignina, es continua y compacta, lo que, le proporciona rigidez y, de acuerdo con Parra (2011), funcionan como una barrera impermeable y, por tanto, le da protección al embrión (Smith *et al.*, 2002).

Como ya se señaló, la presencia de una capa de macroesclereidas en la testa de la semilla se considera un carácter constante en las leguminosas y, por lo mismo, no está relacionado con el clima, sino con el genoma de esta familia de plantas (Martín-Gómez, 2013); probablemente, sea el resultado de respuestas adaptativas, ya que ambos taxa, aunque se desarrollan en ambientes contrastantes (*M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, ambiente méxico, y *M. luisana*, ambiente semiárido), mostraron una capa de macroesclereidas lignificadas. Además, la presencia de macroesclereidas también ha sido reportada en otras leguminosas de amplia distribución y que, actualmente, presentan un uso ornamental en muchas partes del mundo como *Acacia kempeana* F. Muell. (Hanna, 1984), originaria de Australia, que habita en climas cálido secos; *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Vell.) Brenan (Varela y Albornoz, 2013), taxon de amplia distribución en Sudamérica y, por lo mismo, se desarrolla en diferentes ambientes como pueden ser las sabanas

y los bosques tropicales húmedos, con climas que van desde los cálidos secos hasta los húmedos; *Cassia leptophylla*, originaria del SE del Brasil, habita en climas cálidos húmedos hasta cálidos secos; y *Senna macranthera*, originaria del norte sudamericano, habita principalmente en climas cálidos húmedos (De Paula *et al.*, 2012). De acuerdo con Smith *et al.* (2002) y Radchuk y Borisjuk (2014), la función de las macroesclereidas es fungir como una barrera en la entrada de agua y gases, pero no es la única, porque la primera línea de impermeabilidad es la cutícula. En este estudio, las semillas de ambas taxas mostraron una cutícula (para su determinación se utilizó el reactivo Rojo O de aceite y SUDÁN III); sin embargo, en el tratamiento de hidratación de la semilla, ésta se desprende; la ruptura de la cutícula también se ha observado en las semillas de *Mimosa bimucronata* cuando son sometidas a tratamientos de escarificación térmica (Geisler, 2013).

En el caso de la capa de osteoesclereidas, ésta está ausente en las semillas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, lo que permitió diferenciarla de las semillas de *M. luisana*. La presencia de osteoesclereidas también ha sido observada en otras Mimosoideae como *Leucaena leucocephala* (Serrato-Valenti, 1994) y *Prosopis velutina* Woot. (Irving, 1984). Estas plantas, al igual que *M. luisana*, habitan zonas secas, lo que sugiere que sus semillas están más protegidas para sobrevivir a períodos desfavorables (Debeaujon *et al.*, 2010; Smith *et al.*, 2002). Asimismo, Radchuk y Borisjuk (2014) sugieren que la presencia de esclereidas en la testa de las semillas indica una protección contra la desecación; así como una mayor resistencia mecánica y es, además, una forma de controlar el desarrollo de las

semillas, ya que los nutrientes deben atravesar las capas de la testa para favorecer el desarrollo del embrión.

Las pruebas histoquímicas realizadas en este estudio mostraron que las macroesclereidas y las osteoesclereidas presentan lignina, lo que indica la resistencia (López *et al.*, 2011) e impermeabilidad de las semillas (Jayasuriya *et al.*, 2007). De acuerdo con Melo (2011), la presencia de macroesclereidas y de osteoesclereidas es la causa probable de la latencia de las semillas, ya que impiden la entrada de agua y de oxígeno, recursos requeridos en la germinación. Aunado a esto, las semillas de ambos taxa presentaron la línea lúcida en la parte superior o media de las macroesclereidas. Según Geisler (2013), la línea lúcida puede contener calosa, lo que implica una impermeabilización más eficaz contra la entrada de agua y gases. Sin embargo, en este estudio, no se abordó a detalle la parte histoquímica, por lo que se requiere de este tipo de estudios para poder asociar la impermeabilidad de las semillas con su anatomía y contenidos.

Desde una perspectiva integral, es importante señalar que la testa de la semilla presenta una función moduladora entre las estructuras internas de la semilla y el ambiente. En este sentido y en concordancia con lo señalado por Arambarri (2002) y De Souza y Marcos-Filho (2001), la morfología de la semilla y la anatomía de la testa de los dos taxa estudiados, estarían indicando no sólo la impermeabilidad de las semillas, sino también su longevidad y el tipo de dispersión de las mismas.

CONCLUSIONES

En el caso del estudio de las semillas de las leguminosas, la morfología es el aspecto más explorado, en comparación con la anatomía. Particularmente, en el género *Mimosa* se ha estudiado la morfología de las semillas de ca. 12% (61 taxa) de los taxa a nivel mundial; mientras que el conocimiento de su anatomía es muy limitado. Al respecto, solamente se tienen tres registros; sin embargo, estos no consideran la parte de la testa de la semilla.

Este estudio demuestra que las semillas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se caracterizan por presentar: i) Cutícula, ii) Macroesclereidas, y iii) Línea lúcida y, *M. luisana* por poseer: i) Cutícula, ii) Macroesclereidas, iii) Línea lúcida, y iv) Osteoesclereidas. Estos caracteres, además de prevenir la germinación inicial, elevan la longevidad de la semilla y son la causa probable de la impermeabilidad. Además, indican que las semillas de *M. luisana* tienen una testa con mayor número de capas, posiblemente, esto esté asociado con el ambiente en el que se desarrolla o a que deben estar protegidas, ya que son infestadas por brúquidos (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Montaña-Arias *et al.*, 2015) y consumidas por caprinos (Giordani, 2008).

Por otro lado, analizando de manera conjunta los resultados obtenidos con la literatura, se sugiere que la presencia de macroesclereidas es un carácter no relacionado con el clima, sino con el genoma de la familia que puede ser el resultado de procesos adaptativos; mientras que, en el caso de las osteoesclereidas, todavía no es posible definir si pudiesen estar relacionadas con el clima o con el genoma de

la familia; sin embargo, el hecho de que formen parte de la testa, sugiere que las semillas de *M. luisana* son más longevas que las semillas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

Por lo anterior, se confirma la hipótesis planteada; sin embargo, es importante señalar que el conocimiento sobre la morfología y la anatomía de las semillas y la explicación del funcionamiento de las estructuras presentes en éstas, son elementos a considerar para decidir, de manera objetiva, sobre cuál método de escarificación sería el adecuado para evitar cualquier tipo de daño al embrión y promover la germinación de las semillas; así como para elaborar hipótesis relacionadas con los procesos adaptativos de la familia Leguminosae.

Aunque el conocimiento anatómico de la semilla solamente se ha abordado en cinco taxa de *Mimosa*, sumando los aquí estudiados, es factible llevar a cabo inferencias relacionadas con la germinación de sus semillas. Desde una perspectiva ecológica, esto permite entender parte de la relación planta-ambiente, considerando, principalmente, las fluctuaciones de temperatura y precipitación. Por lo mismo, falta complementar estas investigaciones con otras relacionadas con la longevidad de las semillas, los sitios de entrada de agua y la dispersión de éstas, entre muchas otras.

LITERATURA CITADA

Alsina, M. 1988. Estudio morfológico y anatómico de las semillas del género *Ornithopus* L. (Fabaceae). *Acta Botánica Malacitana* **13**: 171-178.

- Arambarri, A.M. 2002. Morfología, Anatomía y formaciones cristalinas en especies del género *Senna*, sección Chamaefistula de la Argentina (Leguminosae-Caesalpinioideae-Cassieae-Cassinae). Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 205 p.
- Araújo-Neto, J.C., Aguiar I.B. Ferreira V.M. y Paula R.C. 2002. Caracterização morfológica de frutos e sementes e desenvolvimento pós-seminal de monjoleiro (*Acacia polyphylla* DC.). *Revista Brasileira de Sementes* **24**: 203-211.
- Auld, T.D. 1996. Ecology of the Fabaceae in the Sydney region: fire, ants and the soil seedbank. *Cunninghamia* **4**: 531-551.
- 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.
- Barretto, S.S.B. y Ferreira R.A. 2011. Aspectos morfológicos de frutos, sementes, plântulas e mudas de Leguminosae Mimosoideae: *Anadenanthera colubrina* (Vellozo) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vellozo) Morong. *Revista Brasileira de Sementes* **33**: 223-232.
- Baskin, C.C. 2003. Breaking physical dormancy in seeds focusing on the lens. *New Phytologist* **158**: 229-232.
- Baskin, C.C. y Baskin J.M. 1998. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego, California, USA, Academic Press. 666 p.
- Baskin, J.M. y Baskin C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* **14**: 1-16.

- Baskin, J.M., Baskin C.C. y Li X. 2000. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy. *Plant Species Biology* **15**: 139-152.
- Boelcke, O. 1946. Estudio morfológico de las semillas de Leguminosas, Mimosoideas y Caesalpinoideas de interés agronómico en la Argentina. *Darwiniana* **7**: 240-321.
- Bravato, M. 1974. Estudio morfológico de frutos y semillas de las Mimosoideae (Leguminosae) de Venezuela. *Acta Botanica Venezuelica* **9**: 317-361.
- Braz, M.D.S.S., Freitas S.D.L.S., Campos M.A.L., de Miranda D.D.O.A. y Cosme M.C. 2012. Caracterização morfológica do fruto, semente, plântula e planta jovem e germinação de *Inga ingoides* (Rich) Willd. *Cerne, Lavras* **18**: 353-360.
- Burns, R.E. 1959. Effect of acid scarification on lupine seed impermeability. *Plant Physiology* **34**: 107-108.
- Caccavari, M.A. 1985. Granos de polen de las Leguminosas de la Argentina IV. Género *Mimosa*. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **24**: 151-167.
- Caccavari, M.A. 1986. Estudio de los caracteres del polen de las *Mimosa*-Lepidotae. *Pollen et Spores* **28**: 29-42.
- Caccavari, M.A. 1987. Estudio de los caracteres del polen de *Mimosa*-Glanduliferae, VII, Simposio Argentino de paleobotánica y Palinología. *Actas* 141-144.
- 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 Grether R. 2002. Community structure of endemic *Mimosa* species and environmental heterogeneity in a semi-arid Mexican valley. *Journal of Vegetation Science* **13**: 697-704.
- 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. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **68**: 33-44.
- Camargo-Ricalde, S.L., Dhillion S.S. y García-García V. 2004. Phenology, and seed production and germination of seven endemic *Mimosa* species (Fabaceae-Mimosoideae) of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* **58**: 423-437.
- Camargo-Ricalde, S.L., Montaña N.M., Reyes-Jaramillo I., Jiménez-González C. y Dhillion S.S. 2010a. Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Trees-Structure and Function* **24**: 67-78.
- Camargo-Ricalde, S.L., Reyes-Jaramillo I. y Montaña N.M. 2010b. Forestry insularity effect of four *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) on soil nutrients of a Mexican semiarid ecosystem. *Agroforestry Systems* **80**: 385-397.
- Castillo, R. y Guenni O. 2001. Latencia en semillas de *Stylosanthes hamata* (Leguminosae) y su relación con la morfología de la cubierta seminal. *Revista de Biología Tropical* **49**: 287-299.
- Corner, E. 1951. The Leguminous seed. *Phytomorphology* **1**: 117-150.

Corner, E. 1976. The seeds of Dicotyledons. Vol. I. Cambridge University. Madingley Road, Cambridge, England. 309 p.

Chehaibar, M.T. 1988. Estudio Taxonómico de la Serie Xantiae y especies afines del Género *Mimosa* (Leguminosae), Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 107 p.

D'Aubeterre, R., Principal J. y García J. 2002. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de tres especies del género *Prosopis*. *Revista Científica* **12**: 575-577.

Debeaujon, I., Léon-Kloosterziel K.M. y Koornneef M. 2000. Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* **122**: 403-413.

De Paula, A.S., Delgado C.M.L., Paulilo M.T.S. y Santos M. 2012. Breaking physical dormancy of *Cassia leptophylla* and *Senna macranthera* (Fabaceae: Caesalpinioideae) seeds: water absorption and alternating temperatures. *Seed Science Research* **22**: 1-9.

De Souza, F.H.D y Marcos-Filho J. 2001. The seed coat as a modulator of seed-environment relationships in Fabaceae. *Revista Brasileira de Botânica* **24**: 365-375.

De Souza, L.A. 1982. Estrutura do tegumento das sementes de *Cassia cathartica* Mart. (Leguminosae). *Ciência e Cultura* **34**: 71-74.

- Delgado, C.M. L., De Paula A.S., Santos M. y Paulilo M.T.S. 2015. Dormancy-breaking requirements of *Sophora tomentosa* and *Erythrina speciosa* (Fabaceae) seeds. *International Journal of Tropical Biology and Conservation* **63**: 285-294.
- De-Paula, O.C. y Oliveira D.M.T. 2007. Variação da estrutura carpelar em seis espécies de Cassiinae (Leguminosae: Caesalpinioideae). *Acta Botanica Brasílica* **21**: 915-925.
- Diego-Pérez N. 2013. El gineceo. 68-72 p. En: Márquez-Guzmán J., Collazo-Ortega M., Orozco-Segovia A., Vázquez-Santana S. (eds.). *Biología de angiospermas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Egley, G.H. 1979. Seed coat impermeability and germination of showy crotonia (*Crotalaria spectabilis*) seeds. *Weed Science* **27**: 355-361.
- Endo, Y. 2012. Anatomical diversity of funicles in Leguminosae. *Journal of Plant Research* **125**: 41-53.
- Escala, M. 1999. Estudio morfoanatómico de frutos y semillas de Leguminosas de los Altos Llanos Centrales de Venezuela (Estación Biológica de los Llanos de La Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales). *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* **148**: 259-316.
- Forero, E. y Romero C. 2005. Estudios en leguminosas colombianas. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras (25: 11-18). Santa Fé de Bogotá, Colombia: Editora Guadalupe Ltda.

- Flores-Cruz, M.F., Lira H.D.S., Martínez-Bernal A. y Fraile M.E. 2006. Morfología del polen de *Mimosa* serie quadrivalves (Leguminosae, Mimosoideae). *Acta Botánica Mexicana* **77**: 1-13.
- Geisler, G.E. 2013. Quebra de dormência física e identificação do local de entrada de água em sementes de duas espécies de Fabaceae *Peltophorum dubium* (Caesalpinioideae) e *Mimosa bimucronata* (DC) O. Kuntze (Mimosoideae). Tesis de Maestría. Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, S.C., Brasil. 79 p.
- Giordani L. 2008. The role of goats in germination and dispersal of *Mimosa luisana* Brandegees (Leguminosae-Mimosoideae) seeds in the Tehuacán-Cuicatlán valley, Puebla State, Mexico. Master Thesis, Norwegian University of life Sciences, Norway, 32 p.
- González-Castañeda, J., Angoa-Pérez M.V., Frías-Hernández J.T., Olalde-Portugal V., Flores-Ancira E., Terrones-Rincón T.R., Van Cleemput O. y Dendooven L. 2004. Germination of seeds of huisache (*Acacia schaffneri*) and catclaw (*Mimosa monancistra*) as affected by sulphuric acid and mechanical scarification and subsequent growth and survival in a greenhouse and field experiment. *Seed Science and Technology* **32**: 727-738.
- Grether, R. 1978. A general review of the genus *Mimosa* L. (Leguminosae) in Mexico. *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. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**: 149-152.

- Grether, R. 2000. Nomenclatural changes in the genus *Mimosa* (Fabaceae, Mimosoideae) in Southern Mexico and Central America. *Novon* **10**: 29-37.
- Gunn, C.R. 1984. Fruits and seeds of genera in the subfamily Mimosoideae (Fabaceae). Technical Bulletin no. 1681. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture, Washington DC. 194 p.
- Gunn, C.R. 1981. Seeds of Leguminosae. In R.M. Polhill y P.H. Raven (eds.). Advances in legume systematics, *Crow Copyright, Kew*. **2**: 913-925.
- Gunn, C.R. 1991. Fruits and seeds of genera in the subfamily Caesalpinoideae (Fabaceae). Technical Bulletin no. 1755. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture, Washington DC. 408 p.
- Hamly, D.H. 1932. Softening of the seeds of *Melilotus alba*. *Botanical Gazette* **93**: 345-375.
- Hanna, P.J. 1984. Anatomical features of the seed coat of *Acacia kempeana* (Mueller) which relate to increased germination rate induced by heat treatment. *New Phytologist* **96**: 23-29.
- Hu, X.W., Wang Y.R., Wu Y.P. y Baskin C.C. 2008. Role of the lens in physical dormancy in seeds of *Sophora alopecuroides* L. (Fabaceae) from northwest China. *Australian Journal of Agricultural Research* **59**: 491-497.
- Hu, X.W., Wang Y.R., Wu Y.P., y Baskin C.C. 2009. Role of the lens in controlling water uptake in seeds of two Fabaceae (Papilionoideae) species treated with sulphuric acid and hot water. *Seed Science Research* **19**: 73-80.
- Irving, D.W. 1984. Seed structure and histochemistry of *Prosopis velutina* (Leguminosae). *Botanical Gazette* **145**: 340-345.

- Iwazaki, M.C. 2008. Frutos, sementes e plântulas de três espécies de *Mimosa* Linnaeus (Fabaceae: Mimosoideae): aspectos morfoanatómicos e considerações ecológico-filogenéticas. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, São Paulo, Brasil. 108 p.
- Jayasuriya, K.M.G., Wijetunga A.S., Baskin J.M. y Baskin C.C. 2013. Seed dormancy and storage behaviour in tropical Fabaceae: a study of 100 species from Sri Lanka. *Seed Science Research* **23**: 257-269.
- Jayasuriya, K.M.G.G., Baskin J.M., Geneve R.L. y Baskin C.C. 2007. Morphology and anatomy of physical dormancy in *Ipomoea lacunosa*: identification of the water gap in seeds of Convolvulaceae (Solanales). *Annals of Botany* **100**: 13-21.
- Johansen, D.A. 1940. Plant Microtechnique. McGraw-Hill, New York.
- Karaki, T., Watanabe Y., Kondo T. y Koike T. 2012. Strophiole of seeds of the black locust acts as a water gap. *Plant Species Biology* **27**: 226-232.
- Koizumi, M. y Kano H. 2014. Lens: Water channel for dry broad bean seeds at germination observed by micro-magnetic resonance imaging. *American Journal of Biology and Life Sciences* **2**: 37-40.
- Kopooshian, H. 1963. Seed character relationships in the Leguminosae. 166 p.
- Leython, L. y Jaúregui D. 2008. Morfología de la semilla y anatomía de la cubierta seminal de cinco especies de *Calliandra* (Leguminosae-Mimosoideae) de Venezuela. *Revista Biología Tropical* **56**: 1075-1086.
- Leython, S. 2010. Estudio morfológico de semillas del género *Calliandra* Benth. (Leguminosae-Mimosoideae) de Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica* **33**: 41-65.

- Lima, M.P.M. 1985. Morfología dos frutos e sementes dos gêneros da tribo Mimoseae (Leguminosae-Mimosoideae) aplicada à Sistemática. *Rodriguésia* **37**: 53-78.
- López, F., Zamudio M.A.M., de Alva H.E., Pérez A., García J.C., García-Morales M. y Martín-Alfonso J.E. 2011. Caracterización y aplicación de lignina de Paulownia obtenida mediante un proceso de autohidrólisis y deslignificación NaOH/antraquinona. *Afinidad* **68**: 189-194.
- Mariño, N., Escala M., de Miranda M.C. y Ramis C. 2007. Características morfológicas cualitativas y cuantitativas en semillas de algunas especies del género *Canavalia*. *Revista de la Facultad de Agronomía* **33**: 55-76.
- Martínez-Pérez, G., Orozco-Segovia A. y Martorell 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.
- Martín-Gómez, J.J. 2013. Análisis morfológico de las semillas mediante modelos basados en las curva cardioide. Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones Científicas. Universidad de Salamanca, España. 175 p.
- Martín-Gómez, S. y Saco-Sierra D. 2012. Estudio de los tejidos para la caracterización de las plantas. *REDUCA* **4**: 1-26.
- Meireles, J.E. y Tozzi A.M.G.A. 2008. Seed and embryo morphology of *Poecilanthe* (Fabaceae, Papilionoideae, Brongniartieae). *Botanical Journal of the Linnean Society* **158**: 249-256.

- Melo, M.G.G. 2011. Frutos, sementes e desenvolvimento plantular de três espécies de *Parkia* R. Br. (Fabaceae-Mimosoideae): uma abordagem Morfoanatómica, hitoquímica e tecnológica. Doctoral dissertation, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Brasil. 180 p.
- Melo, M.G.G., Menonça M.S. y Mendes A.M.S. 2004. Análise morfológica de sementes, germinação e plântulas de jatobá (*Hymenaea intermedia* Ducke var. *adenotricha* (Ducke) Lu & Lang.) (Leguminosae-Caesalpinioideae). *Acta Amazônica* **34**: 9-14.
- Molizane, D.M. 2012. Estabelecimento e superação de dormência em sementes de *Erythrina speciosa* Andrews. Doctoral dissertation, Instituto de Biociências. Botucatu, São Paulo, Brasil. 77 p.
- Montaño-Arias, S., Camargo-Ricalde S.L. y De la Paz-Pérez-Olvera C. 2013. Ecoanatomía de los elementos vasculares de la madera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* **91**: 1-10.
- Montaño-Arias, S.A., Camargo-Ricalde S.L., Grether R. y Díaz-Pontones D. 2015. Effect of scarification and temperature on seed germination of two Mexican species of *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* **93**: 649-659.
- Moreno-Calles, A.I. y Casas A. 2010. Agroforestry systems: restoration of semiarid zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecological Restoration* **28**: 361-368.

- Morrison, D.A., Auld T.D., Rish S., Porter C. y McClay K. 1992. Patterns of testa-imposed seed dormancy in native Australian legumes. *Annals of Botany* **70**: 157-163.
- Morrison, D.A., McClay K., Porter C. y Rish S. 1998. The role of the lens in controlling heat-induced breakdown of testa-imposed dormancy in native Australian legumes. *Annals of Botany* **82**: 5-40.
- Munsell Color Company. 1990. Munsell soil color charts. *Baltimore*, MD, USA. 17 p.
- Navarro, M. 2003. Desempeño fisiológico de las semillas de árboles leguminosos de uso múltiple en el trópico. *Pastos y Forrajes* **26**: 97-114.
- Navarro, M., Febles G., Torre V. y Noda A. 2010. Effect of moist and dry scarification on the germination capacity of seeds from *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. *Pastos y Forrajes* **33**: 1-7.
- Pammel, L.H. 1886. On the structure of the testa of several Leguminous seeds. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* **13**: 17-24.
- Parra, S., Sanabria M. y Maciel N. 2011. Aspectos descriptivos de la semilla, emergencia y crecimiento de plántulas de Yacure (*Pithecellobium dulce*) y Roble (*Platymiscium diadelphum*). *Revista de la Facultad de Agronomía* **28**: 576-585.
- Pavón, N.P., Ballato-Santos J. y Pérez-Pérez C. 2011. Germinación y establecimiento de *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Fabaceae-Mimosoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 653-661.
- Pitot, A. 1935. Le développement du tégument des graines de Légumineuses. *Bulletin de la Société Botanique de France* **82**: 311-314.

- Qutob, D., Ma F., Peterson C.A., Bernardis M.A. y Gijzen M. 2008. Structural and permeability properties of the soybean seed coat. *Botany* **86**: 219-227.
- Radchuck, V. y Borisjuk L. 2014. Physical, metabolic and developmental functions of the seed coat. *Frontiers in Plant Science* **5**: 1-17.
- Robles, D.E. 2011. Identificación del " hueco de agua" y su relación con la latencia física en semillas del género *Lupinus* spp. de Jalisco, México. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. San Luis Potosí, México. 75 p.
- Sanabria, D., Silva-Acuña R., Oliveros M. y Manrique U. 2004. Nota técnica germinación de semillas de las leguminosas arbustivas forrajeras *Cratylia argentea* y *Cassia moschata* sometidas a inmersión en ácido sulfúrico. *Bioagro* **16**: 225-230.
- Sandoval-Zapotitla, E. 2005. Técnicas Aplicadas al Estudio de la Anatomía Vegetal. Cuadernos del Instituto de Biología, No. 38. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. México, México. 278 p.
- Särkinen, T.E., Marcelo-Peña J.L., Yomona A.D., Simon M.F., Pennington R.T. y Hughes C.E. 2011. Underestimated endemic species diversity in the dry inter-Andean valley of the Río Marañón, northern Peru: An example from *Mimosa* (Leguminosae, Mimosoideae). *Taxon* **60**: 139-150.
- Schmidt, L. y Jøker D. 2001. Glossary of Seed Biology and Technology. DFSC Series of Technical Notes, TN59, Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark. 35 p.

- Schmith, L. 2000. Guide to handling of tropical and subtropical forest seeds. Danida forest seed center, Krogerupvej-21, Denmark. 511 p.
- Serrato-Valenti, G., Cornara L., Ghisellini P. y Ferrando M. 1994. Testa structure and histochemistry related to water uptake in *Leucaena leucocephala* Lam. (De Wit). *Annals of Botany* **73**: 531-537.
- Serrato-Valenti, G., Vries M.D. y Cornara L. 1995. The hilar region in *Leucaena leucocephala* Lam. (De Wit) seed: structure, histochemistry and the role of the lens in germination. *Annals of Botany* **75**: 569-574.
- 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. *American Journal of Botany* **98**: 1201-1221.
- Smith, M.T., Wang B.S.P. y Msanga H.P. 2002. Dormancy and germination. 149-176 p. In Vozzo, J.A. (ed.) Tropical tree seed manual. Agriculture Handbook 721. Washington DC, USDA Forest Service.
- Smýkal, P., Vernoud V., Blair M.W. Soukup A. y Thompson R.D. 2014. The role of the testa during development and in establishment of dormancy of the legume seed. *Frontiers in Plant Science* **5**: 1-19.
- Souza, T.V., Voltolini C.H., Santos M. y Paulilo M.T.S. 2012. Water absorption and dormancy-breaking requirements of physically dormant seeds of *Schizolobium parahyba* (Fabaceae–Caesalpinioideae). *Seed Science Research* **22**: 169-176.
- Stern, W.T. 1992. Botanical latin. History, grammar, syntax, terminology and vocabulary. Ed. Hafner Publishing Company, New York, 566 p.

- Taylor, G.B. 2005. Hardseededness in Mediterranean annual pasture legumes in Australia: a review. *Australian Journal of Agricultural Research* **56**: 645-661.
- Torres, S.B., y Barbosa-Santos D.S. 1994. Superação de dormência em sementes de *Acacia senegal* (L.) Willd. e *Parkinsonia aculeata* L. *Revista Brasileira de Sementes* **16**: 54-57.
- Turner, S.R., Merritt D.J., Baskin C.C., Dixon K.W. y Baskin J.M. 2005. Physical dormancy in seeds of six genera of Australian Rhamnaceae. *Seed Science Research* **15**: 51-58.
- Ubierno, P. y Lapp M. 2007. Caracterización morfológica de semillas de algunas especies de los géneros *Cassia* L. y *Senna* Mill. (Leguminosae Juss.). *Revista de la Facultad de Agronomía* **24**: 426-441.
- van Klinken, K.D. y Goulier J.B. 2013. Habitat-specific seed dormancy-release mechanisms in four legume species. *Seed Science Research* **23**: 181-188.
- van Klinken, R.D. y Flack L. 2005. Wet heat as a mechanism for dormancy release and germination of seeds with physical dormancy. *Weed Science* **53**: 663-669.
- Van Staden, J., Manning J.C. y Kelly K.M. 1989. Legumes seeds the structure: function equation. 417-450 p. In Stirton, C.H.; Zarucchi, J.L. (eds.). *Advances in legume biology, monographs on systematic botany*. St. Louis, Missouri Botanical Garden.
- Varela, R.O. y Albornoz P.L. 2013. Morpho-anatomy, imbibition, viability and germination of the seed of *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Fabaceae). *International Journal of Tropical Biology and Conservation* **61**:1109-1118.

- Vaughan, J.G. 1968. Seed anatomy and Taxonomy. *Proceedings of the Linnean Society of London* **179**: 251-255.
- Venier, P., Carrizo-García C., Cabido M. y Funes G. 2012. Survival and germination of three hard-seeded *Acacia* species after simulated cattle ingestion: The importance of the seed coat structure. *South African Journal of Botany* **79**: 19-24.
- Villers, T.A. 1972. Seed dormancy. 220-282 p. In Kozlowsky, T.T. (ed.) *Seed biology*. New York, Academic Press.
- Wood, D.F., Orts W.J. y Glenn G.M. 2010. Microstructure of *Desmanthus illinoensis*. In *Scanning Microscopy. International Society for Optics and Photonics* 7729-77291V-2.

CAPÍTULO III

Efecto de la escarificación y la temperatura en la germinación de dos especies de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae)

Effect of scarification and temperature on the germination of two species of Mimosa (Leguminosae-Mimosoideae)

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Parmesan y Yohe (2003), es importante determinar la respuesta de germinación de las semillas a la escarificación y a las fluctuaciones de temperatura, ya que los ecosistemas podrían expandirse o contraerse en respuesta a el grado de tolerancia de los taxa a un aumento o disminución de la temperatura, por lo tanto, se necesitan estudios que determinen la capacidad y resistencia de la semilla a la germinación en respuesta a diferentes factores ambientales.

En México, los taxa de *Mimosa* L. (Leguminosae-Mimosoideae) han atraído la atención debido a sus múltiples usos, su capacidad de sobrevivir en ambientes hostiles, el rebrote después de haber sido cortadas o quemadas, y a que el género tiene muchos valores ecológicos, económicos y culturales (Camargo-Ricalde *et al.*, 2001). *Mimosa* comprende ca. 530 taxa en el mundo, y es uno de los tres géneros más grandes de Mimosoideae, junto con *Acacia* e *Inga* (Simon *et al.*, 2011). Después de Brasil, México es el segundo centro de diversificación de *Mimosa*, siendo el género más diverso de la subfamilia con ca. 110 taxa, el 60 % son endémicas del

país, muchos de ellos son elementos dominantes o co-dominantes en los ecosistemas áridos, presentan amplia distribución en la vegetación tropical, y solo algunos taxa crecen en bosques templados (Camargo-Ricalde *et al.*, 2002; Grether *et al.*, 1996).

Dentro de los ambientes áridos y semiáridos, algunos taxa de *Mimosa* son formadoras de islas de recursos, enriqueciendo el suelo con materia orgánica y nutrientes (Camargo-Ricalde *et al.*, 2002, 2010a), y como reservorios de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares (Camargo-Ricalde y Dhillion, 2003), y de bacterias fijadoras de nitrógeno (Camargo-Ricalde *et al.*, 2010a, b). Además, el efecto de nodrizaje es muy claro entre *M. luisana* Brandegee y *Neobuxbaumia tetetzo* (Weber) Backeberg, una cactácea columnar endémica de México (Valiente-Banuet *et al.*, 1991; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). Por lo anterior, algunos taxa de *Mimosa* se consideran potencialmente útiles para proyectos de restauración ambiental (Dhillion *et al.*, 2004; Moreno-Calles y Casas, 2010; Pavón *et al.*, 2011).

Como una aproximación, se sabe que las semillas de algunos taxa de *Mimosa* son capaces de germinar en una amplia gama de temperaturas (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; De Souza y De Castro, 1983; Pavón *et al.*, 2011), y que la escarificación aumenta el porcentaje de germinación (Camargo-Ricalde y Grether, 1998; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Chahuan y Johnson, 2008; Ferreira *et al.*, 1992; González-Castañeda *et al.*, 2004; Jayasuriya *et al.*, 2013; Leal y Biondi, 2007; Pavón *et al.*, 2011; Silveira y Fernandes, 2006). Sin embargo, aún no es posible generalizar acerca de cómo responden las semillas tanto a la escarificación como a las

fluctuaciones de temperatura, debido a que sólo se ha estudiado el 5% de los taxa de *Mimosa* a nivel mundial. En México, únicamente se ha estudiado la germinación de semillas en 13 taxa que crecen en ecosistemas áridos (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004, Pavón *et al.*, 2011) y sólo un taxa que crece en bosques templados (Martínez-Pérez *et al.*, 2006).

ANTECEDENTES

Las leguminosas son plantas dominantes en regiones tropicales, áridas y semiáridas de América y África (De la Barrera y Andrade, 2005); sin embargo, se desconocen los factores que influyen en los procesos de germinación de sus semillas y en el establecimiento de sus plántulas.

La semilla es considerada el medio de reproducción de las angiospermas, de ella depende la supervivencia de la planta e incluso del taxon; su estructura consiste de un embrión, un endospermo y una cubierta protectora llamada testa; el tamaño del embrión y la cantidad de endospermo es variable entre taxa (Esau, 1985; Niembro, 1979). Según Cronquist (1987), cualquier semilla madura para iniciar el proceso de germinación requiere de ciertos factores ambientales como: humedad, oxígeno, temperatura e incluso en ocasiones luz; cuando estos factores son adecuados las semillas alcanzarán un mayor porcentaje de germinación. Se considera que dicho proceso ha concluido cuando emerge la radícula, aunque varios autores manejan que ésta debe alcanzar de 1 a 3 mm de longitud (Bewley y Black, 1978; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Kestring *et al.*, 2009; Leal y Biondi, 2007).

La temperatura óptima de germinación es variable entre taxa y está asociada con su hábitat y su distribución del taxa; por lo que en ocasiones las temperaturas fluctuantes producen porcentajes más altos de germinación comparados con temperaturas constantes (Fearn, 1981). La luz es otro factor que influye en la germinación, existen semillas que sin la existencia de luz no pueden germinar (sensibles a la luz), otras en que este factor no afecta el proceso de germinación (fotoblásticas indistintas) y, las que son resistentes a la luz, por lo que deben mantenerse en oscuridad durante el proceso (Fearn, 1981).

La influencia de la temperatura en la germinación ha sido estudiada en varios géneros de leguminosas; Soto-Gonzales *et al.* (2010) determinaron que la temperatura óptima de germinación de *Albizia hassleri* (Chodat) Burr. es a los 25°C. En el caso de *A. lebeck* (L.) Benth., *Gliricidia sepium* Jacq. y *Bauhinia purpurea* L. se ha registrado que la temperatura óptima de germinación se alcanza a una temperatura alterna de 25/30°C; sin embargo, el porcentaje difiere entre taxa; ya que en *A. lebeck* es de 26%, en *B. purpurea* es de 16% y en *G. sepium* es del 100% (Reino *et al.*, 2008).

En el caso particular de la subfamilia Mimosoideae, existen trabajos sobre la germinación de distintos taxa de *Mimosa*; no obstante, considerando el número de taxa a nivel mundial (ca. 520), se considera que los estudios son escasos. Dentro de estos trabajos destacan: Compton (1912), quien reporta que el tipo de germinación epígea es común en Mimosoideas y que la de tipo hipógea se presenta en raras ocasiones. Las mimosoideas pueden presentar una germinación fanerocotilar; es decir, que los cotiledones emergen de la semilla o criptocotilar en la que los

cotiledones no emergen de la semilla (Duke, 1969); por ejemplo, *Mimosa albida* Humb. et Bonpl. ex Willd., *M. arenosa* (Willd.) Poir., *M. camporum* Benth. y *M. tenuiflora* (Willd) Poir. presentan este tipo de germinación (Parra, 1984).

Camargo-Ricalde y Grether (1998), estudiaron la germinación en *M. tenuiflora* y concuerdan con Parra (1984), en el tipo de germinación fanerocotilar, y establecieron que 25°C es la temperatura óptima con un 95% de germinación. Asimismo, Camargo-Ricalde *et al.* (2004) estudiaron la germinación de *Mimosa adenantheroides* (M. Martens y Galeotti) Benth., *M. calcicola* B. L. Rob., *M. lacerata* Rose, *M. luisana* Brandegees, *M. polyantha* Benth., *M. purpusii* Brandegees y *M. texana* (A Gray) Small var. *filipes* (Britton y Rose) Barneby y observaron que las semillas de *M. adenantheroides*, *M. luisana* y *M. texana* var. *filipes* germinan entre los 23 y 24°C. Mientras que, en *M. calcicola* germina el 100% de las semillas entre los 25 y 30°C; asimismo, *M. polyantha* alcanzó el 100% de germinación a una temperatura de 35°C pero, la temperatura óptima de germinación está entre 27 y 24.5°C. *Mimosa lacerata* es la única que alcanza el 100% de germinación entre los 15 y 25°C.

Por otra parte, González-Castañeda *et al.* (2004), reportaron que la escarificación mecánica promueve la germinación de las semillas de *Mimosa monancistra* Benth. De igual manera sucede con las semillas de *M. foliolosa* Benth. subsp. *pachycarpa* (Benth.) Barneby var. *pachycarpa* (Silveira y Fernandes, 2006).

Pavón *et al.* (2011) determinaron las condiciones óptimas de germinación, evaluando el efecto de luz sobre la germinación de *M. aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Benth.) Barneby obteniendo que las semillas no son fotoblásticas, y que la

temperatura es un factor importante en la germinación, obteniéndose los valores más bajos a 15°C; mientras que a los 30°C se obtuvieron los valores más altos.

Otro factor determinante en la germinación es el tamaño de las semillas; al respecto Carvalho y Nakagawa (2000) mencionan que las semillas de mayor tamaño son las más vigorosas durante su desarrollo; además, el tamaño de la semilla es indicativo de sus cualidad fisiológica, siendo las semillas pequeñas las que presentan un menor porcentaje de germinación comparadas con las de mayor tamaño (Popinigis, 1985).

Los trabajos sobre germinación de semillas de leguminosas que abordan la importancia de la procedencia y del tamaño de las semillas, son escasos; entre ellos destaca el de Sturion (1984), quien estudió la influencia del tamaño de las semillas en *M. scabrella* Benth. en la sobrevivencia y en el crecimiento de las plántulas; compara tres sitios de procedencia de las semillas, observando diferencias significativas entre sitios y observó que el porcentaje de germinación no sólo varía según la procedencia de la semillas; sino que, es mayor en las semillas de menor tamaño (3.0 mm). En contraste, Alves *et al.* (2005) menciona que en *M. caesalpinifolia* Benth. no existe variación en el tamaño de la semilla respecto al lugar procedencia, pero sí en cuanto a la velocidad de germinación, siendo las semillas pequeñas las que germinan primero.

Los factores ambientales como temperatura y luz han sido evaluados de forma independiente y conjunta en la germinación de las semillas del género *Mimosa*; sin embargo, debido a la predominancia del género en diversos ecosistemas húmedos y secos (Orozco-Almanza *et al.*, 2003) es importante conocer las respuestas

ecofisiológicas de sus taxa ante una variación en la temperatura y en la precipitación, tanto a nivel de semilla como de plántula, ya que son las etapas más vulnerables para el establecimiento de la planta (Duke y Polhill, 1981).

Al respecto, sólo existen dos estudios ecofisiológicos de *Mimosa*, y corresponden a *M. pudica* y *M. pigra* taxa considerados como malezas de las regiones tropicales (Lonsdale y Abrecht, 1989).

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo afecta la escarificación y la temperatura la germinación de dos taxa de *Mimosa*?

¿Cuál es la temperatura óptima de germinación de las semillas de dos taxa de *Mimosa*?

HIPÓTESIS

Si los taxa están adaptados a sus ambientes; entonces, la germinación de sus semillas, responderá a las temperaturas promedio de su hábitat.

OBJETIVO

Determinar el efecto de la escarificación y la temperatura sobre la germinación de dos taxa del género *Mimosa* y definir la temperatura óptima de geminación.

MÉTODOS

Diseño experimental

Los frutos maduros de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* fueron colectados durante la temporada de máxima productividad de cada taxon (noviembre y octubre, respectivamente), de cada taxon se seleccionaron ocho individuos, con la misma altura y cobertura. La colecta de los frutos fue al azar, que abarcó toda la zona de la copa por individuo.

Mimosa aculeaticarpa var. *aculeaticarpa* se colectó en un bosque templado, ubicado en el estado de Michoacán, 19°58.218 'N, 101°31.664' W, a 1950 msnm, y *M. luisana* en un matorral semiárido en el Valle de Tehuacán, estado de Puebla, 18°15' 23.7" N, 97°09'03.3" W, a 2 232 msnm. Los ejemplares de respaldo fueron depositados en el Herbario Metropolitano (UAMIZ), Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

Caracterización de semillas y tratamientos previos a la siembra

Después de la colecta, se retiraron las semillas de los frutos. Aproximadamente, se obtuvieron 10,000 semillas, por taxon, y se almacenaron en recipientes de plástico, a temperatura ambiente (20°C) en la Ciudad de México. Durante dos semanas, se recogieron y se fijaron en FAA los brúquidos (Insecta, Coleoptera) que emergieron de las semillas para su posterior identificación.

Dado que el tamaño de la semilla y el peso pueden influir en la tasa de germinación (Mantilla, 2004; Skogen *et al.*, 2010); se caracterizaron 3,600 semillas maduras y sanas, por taxa. Las variables evaluadas fueron: longitud, anchura y espesor, así como el peso de la semilla. El tamaño de la semilla se midió con un calibrador digital vernier (Absoluto Digimatic, CD- 6 "CS) y el peso se determinó individualmente utilizando una balanza analítica con 4.10 g de resolución (Adventurer, Ohaus, Melrose, EE.UU.). Las semillas sanas, de ambos taxa, con tamaño y peso similar, se mezclaron para obtener una muestra compuesta. Es importante mencionar que para asegurar el desarrollo adecuado de todo el experimento, se escogió el rango de tamaño de la semilla y peso en términos de la cantidad mínima de semillas necesarias para ello.

Antes de los experimentos, todas las semillas se lavaron con detergente comercial (3 g/100 ml de agua; Camargo - Ricalde y Grether, 1998).

Los ensayos de germinación en condiciones de laboratorio

Se sabe que las semillas de las leguminosas tienen latencia física (Baskin, 2003; Jayasuriya *et al.*, 2013; Van Assche *et al.*, 2003; Venier *et al.*, 2012), y en particular los taxa de *Mimosa* (Jayasuriya *et al.*, 2013; Martínez-Pérez *et al.*, 2006). Las semillas *Mimosa* fueron escarificadas mecánicamente: la cubierta de la semilla se cortó en el lado opuesto al eje del embrión con el fin de evitar daños. Los ensayos de germinación se realizaron en una incubadora (Convion T 38/Lb/AP), utilizando bandejas (30 x 15 x 20cm), con agar (3%) como sustrato. Se fijó un gradiente de

temperatura con nueve intervalos de 5°C cada uno (de 5 a 45°C), y un fotoperíodo de 12 h luz y 12h oscuridad.

Para cada tratamiento térmico, se establecieron cinco repeticiones de 20 semillas escarificadas (100 semillas por taxon; 1,800 semillas en total), así como cinco repeticiones de 20 semillas no escarificadas como tratamiento control (100 semillas por taxon, 1,800 semillas en total). Se consideraron semillas germinadas cuando la radícula alcanzó 1 mm de longitud (Bewley y Black, 1994). Todos los ensayos tuvieron una duración de 30 días.

Los resultados de la germinación se analizaron mediante el cálculo del porcentaje total de la germinación (PG), la tasa media de germinación (G50), y la tasa de germinación (GR) (Enríquez-Peña *et al.*, 2004; Piedrahita 1997, 1998; Weng y Hsu, 2006). Para analizar el efecto de las fluctuaciones de temperatura en relación con el comportamiento de la germinación de semillas de plantas, diversos autores (P. ej. Enríquez-Peña *et al.*, 2004; Piedrahita 1997, 1998; Pavón *et al.*, 2011; Weng y Hsu, 2006) consideran los siguientes parámetros los cuáles también se utilizarán para los taxones *Mimosa* estudiados aquí: el porcentaje de germinación (PG) como el porcentaje de germinación total al final del ensayo; la tasa media de Germinación (G50) es el número de días, después de la siembra, que se necesitan para alcanzar el 50% de germinación, y se estimó mediante la interpolación de un día antes y el día después en que se obtuvo el 50% de la germinación total. La tasa de germinación (GR) se define como la correlación entre el número de semillas germinadas y el tiempo de germinación: $GR = \sum (Ni)/t$, donde Ni=número de semillas germinadas en un

día (i), t_i = el tiempo desde la siembra hasta que germina la última semilla y, la tasa de saturación (SR) se define como el tiempo de germinación en relación con el porcentaje de germinación: $SR = \sum(n_i t_i) / N$, donde n_i = número de semillas germinadas en un día (i); t_i = número de días después de la siembra, N = número total de semillas sembradas.

La temperatura óptima se calcula como el promedio de todas las temperaturas ponderadas con el porcentaje total de germinación en cada temperatura (Olf *et al.*, 1994).

Análisis estadísticos

El peso de la semilla se comparó entre los taxa por medio de la prueba *t-Student* ($P < 0.05$). La normalidad (Kolmogorov $P < 0.05$) y la homogeneidad de varianzas (Levene's $P < 0.05$) fueron examinadas para todas las temperaturas. Cuando los datos cumplieron con ambos supuestos, se realizó un ANOVA ($P < 0.05$) de una vía para analizar la variación intraespecífica en los porcentajes de germinación y entre el control y las semillas escarificadas, y un ANOVA de dos vías para examinar la variación interespecífica entre los porcentajes de germinación, donde el taxon y las temperaturas fueron las variables (ANOVA, $P < 0.05$). Una prueba de comparación de medias fue empleada (HSD de Tukey, $P < 0.05$) para formar grupos (Sokal y Rohlf, 1995). En *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, SR no cumplió con homogeneidad de varianza, por lo tanto, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis ($P < 0.05$), y las medias se compararon mediante la prueba de Mann-Whitney ($P < 0.05$),

Sokal y Rohlf, 1995). Todos los análisis se realizaron con el software NCSS (Hintze, 2001).

RESULTADOS

Tamaño de la semilla, el peso y la producción

Los dos taxa de *Mimosa* estudiados producen numerosas semillas de peso y tamaño variable y, aunque el peso no mostró diferencias significativas entre taxa ($t= 0.7442$, $P>0.05$), el tamaño de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* fue el más grande (Cuadro 1).

No todas las semillas colectadas estaban sanas; muchas de ellas estaban infestadas por brúquidos (Insecta, Coleoptera). El promedio del porcentaje de infestación fue de 11.9% para *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y 48.7% para *M. luisana* (Cuadro 1). En el caso de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, se identificaron dos taxa de brúquidos, *Acanthoscelides chiricahuae* (Fall) y *A. mexicanus* (Sharp). Las semillas de *Mimosa luisana* estaban infestadas por tres taxa, dos pertenecientes al género *Acanthoscelides* (*A. mexicanus* y *A. chiricahuae*) y uno al género *Stator* (*S. pruininus* (Horn)).

Efecto de la escarificación sobre el porcentaje total de germinación (PG)

Los dos taxa de *Mimosa* mostraron germinación epigea y fanerocotilar, que comenzó el primer día después de la siembra. En ambos taxa, la germinación fue estimulada por escarificación (Figuras 1-3, Cuadro 2). El porcentaje total de germinación (PG) de las semillas no escarificadas fue bajo y lento. Las semillas escarificadas registraron un PG significativamente mayor ($F=143.88$, $P<0.001$, Cuadro 2). Las semillas escarificadas de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* germinaron 57 veces más rápido que las de *M. luisana*. En el caso de *M. luisana*, las semillas no escarificadas germinaron cinco veces más rápido que las de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (Figuras 1-3). Aunque estos datos no fueron estadísticamente significativos, las semillas de *M. luisana* tienden a germinar en mayor número que las de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (Cuadro 2).

El análisis de ANOVA de dos vías mostró un efecto significativo de los dos factores, el taxon y la temperatura, sobre el porcentaje total de germinación de las semillas (PG) (Cuadros 3, 4). El porcentaje de germinación más bajo en ambos taxa se registró a 5°C (Figuras 1-3), que difieren significativamente de los otras temperaturas ($F=33.03$ y $F=18.63$; con $P<0.005$, respectivamente). El PG más alto (88%) se registró a 25°C en *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* ($F=33.03$; $P<0,005$), aunque también se alcanzó el 88% de germinación a los 15°C, pero las semillas requieren más días (SR=5) para llegar a este porcentaje (Cuadro 4). En *Mimosa luisana*, se alcanzó el mayor porcentaje de germinación (100%) a 30°C, mientras que, a temperaturas más altas o más bajas, el PG disminuyó (Figura 2, Cuadro 4).

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Cuadro 1. Tamaño de la semilla madura, peso, producción y porcentaje de semillas infestadas y no infestadas por brúquidos (Insecta, Coleoptera) de dos taxa de *Mimosa*.

Variables / Taxa		<i>Mimosa aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	<i>Mimosa luisana</i>
Tamaño (mm)	Longitud	3.0-4.4	2.6-3.5
	Ancho	2.0-3.0	1.8-2.4
	Grosor	0.01-0.02	2.0-2.7
Peso de la semilla madura (gr) (promedio ± EE)		0.008 ± 0.0004 ^a	0.00864 ± 0.0006 ^a
Producción (número)		9,891	12,276
Semillas parasitadas (%)		11.9	48.7
Producción de semillas no parasitadas (%)		88.1	51.3

Los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 2. Efecto de la escarificación sobre el porcentaje de germinación de las semillas de dos taxa de *Mimosa*.

Taxa	Sin escarificar % germinación ± EE	Escarificadas % germinación ± EE
<i>Mimosa aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	1.22 ± 0.22 ^a	70.0 ± 8.35 ^b
<i>Mimosa luisana</i>	6.33 ± 1.46 ^a	79.6 ± 8.31 ^b

Valores seguidos por letras iguales no difieren significativamente, con $P < 0.05$.

Efecto de la temperatura en el porcentaje total germinación (PG)

El efecto de la interacción entre los dos factores, el taxon y la temperatura, en el PG fue significativa ($P < 0.001$), lo que indica que la respuesta germinativa a la

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

temperatura depende del taxon. Hubo una disminución en el PG a temperaturas extremas, 5 y 45°C (Figuras 1-3).

Cuadro 3. Efecto de la temperatura sobre la germinación de las semillas de dos taxa del género *Mimosa*.

		Germinación (%)	G ₅₀	GR	SR
Taxa	DF	F	F	F	F
Taxa	1	20.65 ^{ns}	19.25 ^{***}	12.54 ^{***}	9.27 ^{**}
Temperatura (°C)	8	50.74 ^{ns}	49.95 ^{***}	17.71 ^{***}	68.04 ^{***}
T X T	8	3.38 ^{***}	3.62 ^{***}	9.92 ^{***}	4.38 ^{***}

G₅₀=Tasa media de germinación; GR=Tasa de germinación; SR=Tasa de saturación; ns=no significativo; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

Con relación a la tasa media de germinación de las semillas (G₅₀), el factor taxa presentó una interacción con el factor de temperatura ($P < 0.001$, Cuadro 3), lo que indica que la respuesta de la germinación de la semilla (G₅₀) a la temperatura dependía del taxa. Aunque a 20°C, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* alcanzó el 50% de germinación al segundo día después de la siembra y, a los 25 y 30°C, el 50% de germinación se supera en el segundo día después de la siembra. Sin embargo, se necesitan más días para alcanzar 50% de germinación a temperaturas inferiores a 20°C y superiores a 35°C. Por otra parte, se llegó a sólo el 35% de germinación a 45°C. En el caso de *M. luisana*, el 50% de germinación se alcanzó a 30°C, el primer día después de la siembra, y este porcentaje se supera a temperaturas de 25, 35 y 40°C; sin embargo, el porcentaje total de germinación disminuyó a menos de 27% a 45°C (Figuras 1-3).

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (*Leguminosae*) ante el cambio climático

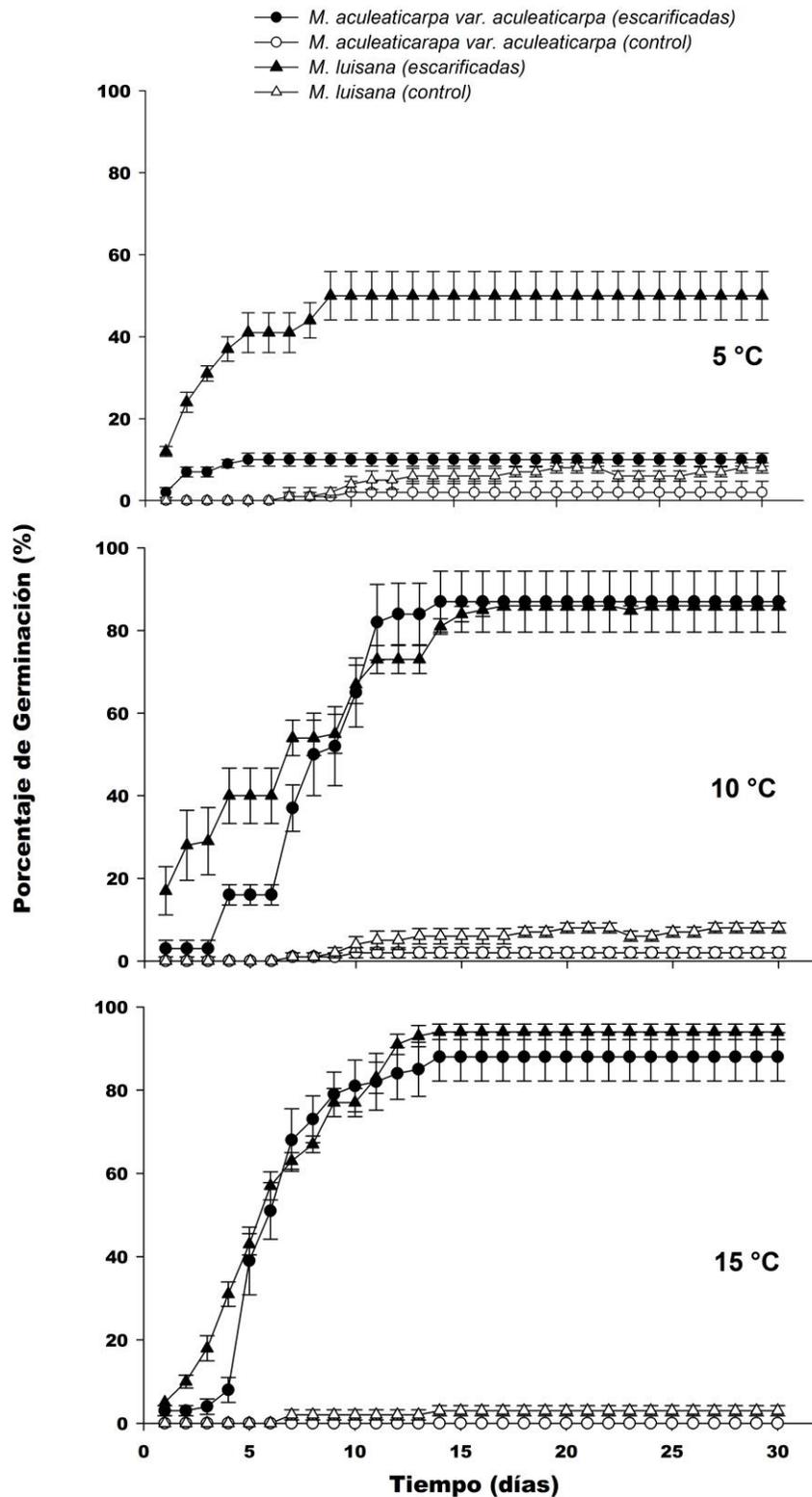


Figura 1. Porcentaje de germinación (PG±EE) de dos taxa de *Mimosa* lo largo de un gradiente de temperatura de 5 a 15 °C.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (*Leguminosae*) ante el cambio climático

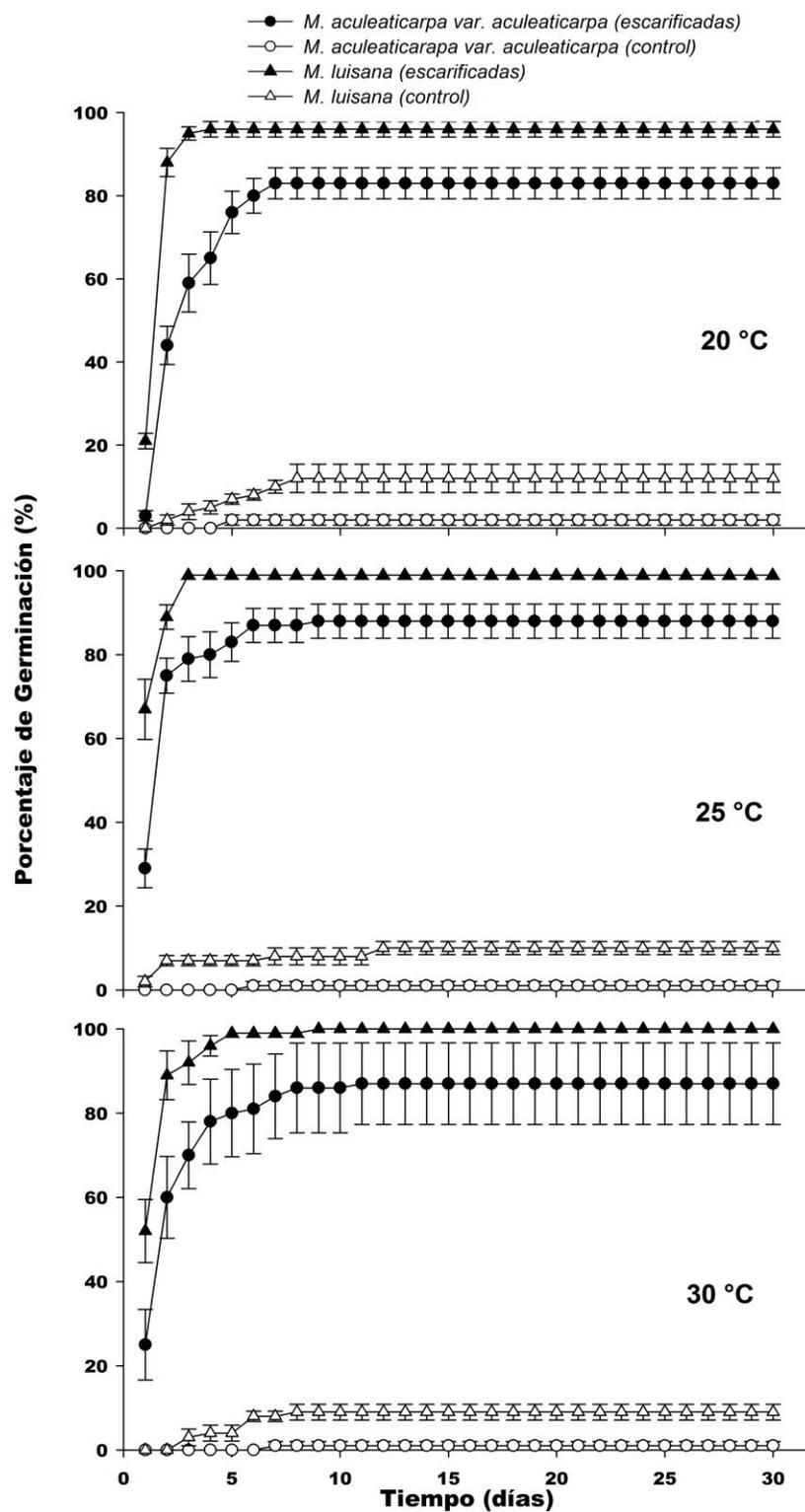


Figura 2. Porcentaje de germinación ($PG \pm EE$) de dos taxa de *Mimosa* lo largo de un gradiente de temperatura de 20 a 30 °C.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (*Leguminosae*) ante el cambio climático

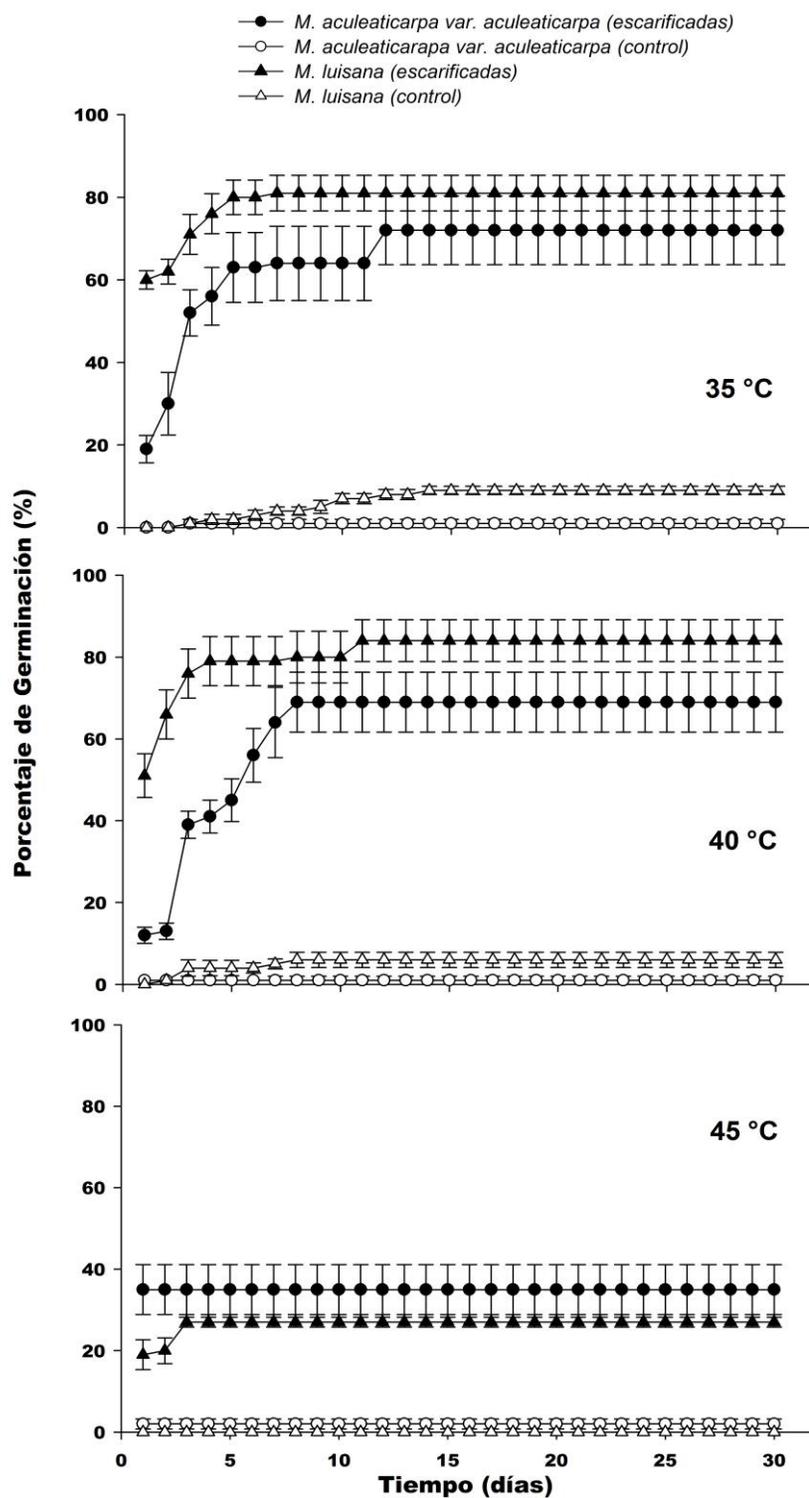


Figura 3. Porcentaje de germinación (PG±EE) de dos taxa de *Mimosa* lo largo de un gradiente de temperatura de 35 a 45 °C.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (*Leguminosae*) ante el cambio climático

Cuadro 4. Porcentaje total de germinación (PG), tasa de saturación (SR) de dos taxa del género *Mimosa* bajo diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Parámetros/Taxa	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i> (Promedio ± EE)	<i>M. luisana</i> (Promedio ± EE)
5	PG (%)	10 ± 1.58 ^{Ab}	50 ± 5.92 ^{Bb}
	SR	1	1
10	PG (%)	87 ± 7.34 ^{Aa}	86 ± 1 ^{Aa}
	SR	7	5
15	PG (%)	88 ± 5.83 ^{Aa}	94 ± 1.87 ^{Aa}
	SR	5	6
20	PG (%)	83 ± 3.74 ^{Aa}	96 ± 1.87 ^{Aa}
	SR	3	2
25	PG (%)	88 ± 4.06 ^{Aa}	99 ± 1 ^{Aa}
	SR	2	1
30	PG (%)	87 ± 9.69 ^{Aa}	100 ± 0 ^{Aa}
	SR	2	1
35	PG (%)	72 ± 8.30 ^{Aa}	81 ± 4.30 ^{Aa}
	SR	2	1
40	PG (%)	69 ± 7.31 ^{Aa}	84 ± 5.09 ^{Aa}
	SR	3	1
45	PG (%)	35 ± 6.12 ^{Ab}	27 ± 1.22 ^{Ab}
	SR	1	1
Temperatura Óptima (°C)		25	25

Los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente en las columnas (minúsculas), y un HSD de Tukey para analizar el efecto de la temperatura sobre el porcentaje de germinación de las semillas (mayúsculas), $P < 0.05$.

Además, los resultados mostraron que las semillas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* germinaron a lo largo del gradiente de temperatura (5 - 45°C). Sin embargo, la temperatura óptima para la germinación de semillas para ambos taxa se determinó a 25°C (Cuadro 4).

Efecto de la temperatura sobre la tasa de germinación (GR)

La tasa de germinación (GR) fue significativamente afectada por los taxa y los factores de temperatura ($F=9.9$; $P < 0.001$, Figura 4A y Cuadro 3). GR aumentó significativamente cuando la temperatura alcanzó 30 °C. En promedio, tres semillas

de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* germinaron/día a 25 °C; seis semillas de *M. luisana* germinaron/día a la misma temperatura. Sin embargo, la GR de semillas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y de *M. luisana* disminuyeron a temperaturas superiores a 30 y 35 °C, respectivamente. En el caso de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, la GR se incrementó a 45 °C, aunque sólo se registró el 35% de germinación de las semillas (Figura 4A).

En cuanto a la tasa de saturación (SR), también se observó una interacción significativa entre los dos factores, el taxon y la temperatura ($F=4,38$, $P<0.001$, Cuadro 3), lo que indica que la SR depende del taxon. *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* requiere más días para llegar a la PG; mientras que *M. luisana* requiere aún más días para llegar al PG a 15°C (Figura 4B).

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (*Leguminosae*) ante el cambio climático

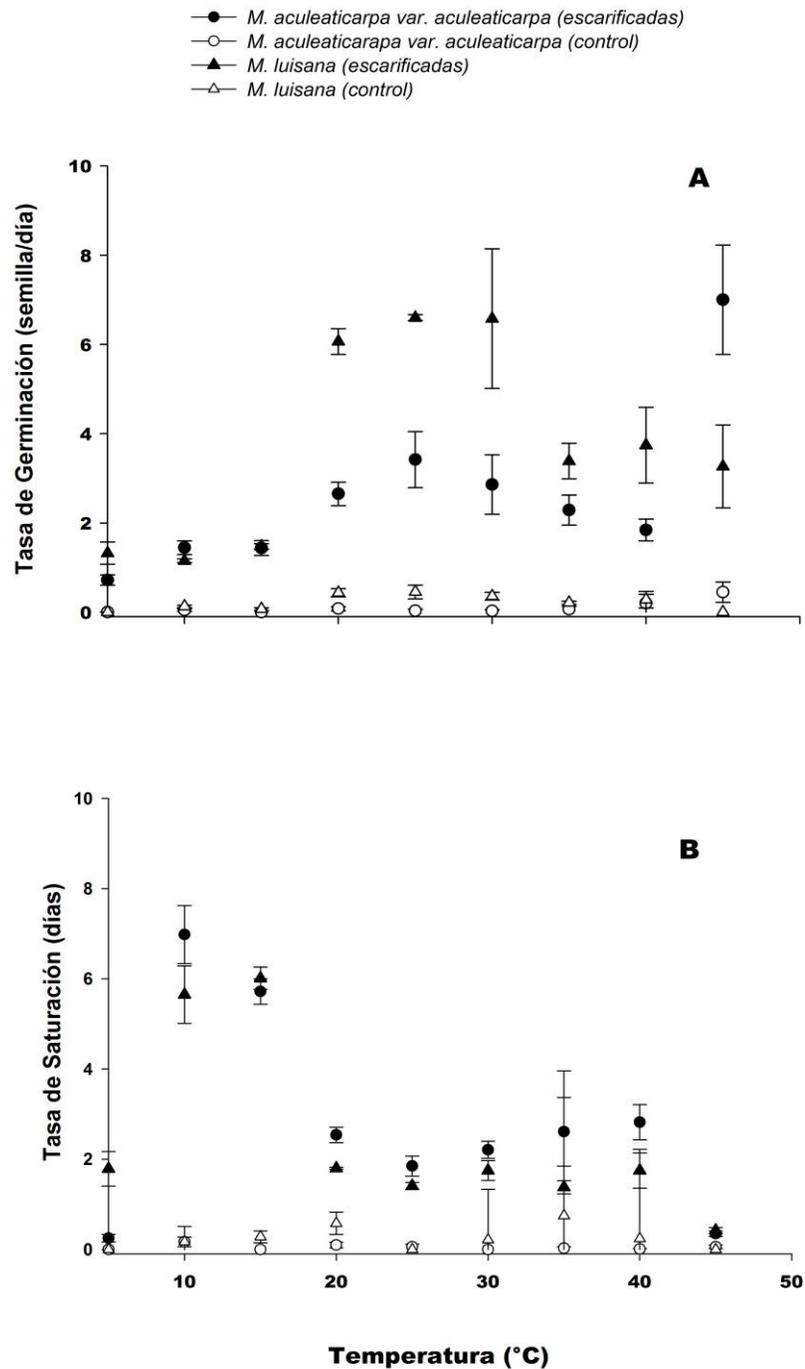


Figura 4. A. Tasa de germinación ($GR \pm EE$) de dos taxa de *Mimosa* lo largo de un gradiente de temperatura; B. Tasa de saturación ($SR \pm EE$) de dos taxa de *Mimosa* lo largo de un gradiente de temperatura.

DISCUSIÓN

Los resultados globales obtenidos en este estudio son relevantes en términos de la comprensión de la distribución real y potencial de los taxa *Mimosa* en el contexto de la expansión o contracción de los ecosistemas bajo diferentes escenarios térmicos. En este caso, este estudio intenta dilucidar el efecto tanto de la escarificación y la temperatura en la germinación de semillas de *Mimosa*.

Tamaño de la semilla, el peso y la producción

Las semillas *Mimosa* maduras mostraron un tamaño significativo y la variación de peso, incluso procedentes de la misma planta madre. Tanto el tamaño pequeño de las semillas y su alta producción son características intrínsecas que conducen a las plantas a ser potencialmente más competitivas, tales como *M. tenuiflora* (Willd.) Poir. (Camargo-Ricalde y Grether, 1998) y *M. pigra* L., consideradas como taxa pioneros o invasores (Creager, 1992; Lonsdale, 1999).

Por otro lado, la depredación de semillas *Mimosa* por gorgojos (Insecta, Coleoptera), independientemente del tamaño, podría reducir su potencial de germinación (P. ej. Fontúrbel, 2002; Romero-Nápoles *et al.*, 2005). Nuestros resultados son consistentes con los reportados por Orozco-Almanza *et al.* (2003) y Camargo-Ricalde *et al.* (2004), quienes encontraron que los taxa de *Mimosa* tenían un alto porcentaje de semillas infestadas por brúquidos (30-75%), la reducción del número de semillas viables y, en consecuencia, el número de plántulas para el posterior reclutamiento.

En este estudio, las semillas de *M. luisana* estaban infestadas por tres taxa de brúquidos diferentes; este taxon tenía el mayor porcentaje de semillas parasitadas (48%), así como la más alta GR; Mientras tanto, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* registró la presencia de dos taxa brúquidos y el 11% de las semillas estuvo infestado, y muestra un porcentaje de germinación (PG) más bajo de semillas, y lo que sugiere que la presencia de más de un taxon brúquidos por planta puede estar relacionado con una estrategia reproductiva (Westoby *et al.*, 1992) y un alto porcentaje de brúquidos-infestación conduce a una GR alta. Es posible que en la naturaleza, brúquidos actúen como escarificadores mecánicos "naturales" de semillas como ocurre en otros taxa de plantas con testa duro (Takakura, 2002).

Efecto de la escarificación de semillas en germinación

En general, las leguminosas producen semillas con una capa resistente al agua que la hacen inactiva físicamente (Auld, 1996; López *et al.*, 1999; Van Klinken y Flack, 2005). Este tipo de testa, restringe la germinación de semillas en condiciones naturales (D'Aubeterre *et al.*, 2002). Según Lonsdale (1993), Jayasuriya *et al.* (2013), y Van Klinken y Goulier (2013), las semillas de los taxa de *Mimosa* presentan latencia física y, debido a que la cubierta de la semilla tiene una o más capas impermeables de células en empalizada, también es posible una latencia fisiológica (Baskin *et al.*, 2000). Por lo tanto, la escarificación es necesaria para promover la germinación de las semillas (Camargo-Ricalde y Grether, 1998; Jayasuriya *et al.*, 2013). Diferentes métodos de escarificación de semillas han sido documentados para

los taxa de *Mimosa* (Camargo-Ricalde y Grether, 1998; De Souza y De Castro, 1983; Martínez-Pérez *et al.*, 2006; Silveira y Fernandes, 2006). Sin embargo, Camargo-Ricalde y Grether (1998), Chauhan y Johnson (2008), De Souza y De Castro (1983), González-Castañeda *et al.* (2004), Jayasuriya *et al.* (2013) y Martínez-Pérez *et al.* (2006) han demostrado que la escarificación mecánica es la técnica más adecuada para romper la latencia de las semillas de los taxa de *Mimosa*, ya que las semillas escarificadas mecánicamente son capaces de alcanzar las tasas de germinación (GR) más altas en comparación con otros métodos que dañan al embrión y el desarrollo de plántulas (P. ej. escarificación química, de choque térmico, etc). En este estudio, las semillas escarificadas mecánicamente alcanzaron altos porcentajes de germinación (más del 70%) en ambos taxa, mientras que las semillas no escarificadas sólo alcanzan 0-12%. Es importante mencionar que las semillas control (es decir, semillas sin escarificar) no deben ser manipuladas de ninguna manera porque la cubierta de la semilla se puede dañar y, por lo tanto, los resultados pueden sesgarse. Por ejemplo, Martínez-Pérez *et al.* (2006) remojaron las semillas control de cuatro taxa, incluyendo *M. aculeaticarpa*, en agua/24h, y mostraron casi el mismo comportamiento que nuestras semillas tratadas pero sus semillas control alcanzaron ca. 60% de germinación, probablemente debido a la manipulación recibida.

En la naturaleza, aunque la germinación de semillas de *Mimosa* es baja, el proceso de escarificación se produce por diversos mecanismos, tales como cambios en la temperatura diaria, la depredación incompleta por los insectos como los gorgojos (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004, Orozco-Almanza *et al.*, 2003), daños

causados por los microorganismos del suelo, la abrasión por partículas del suelo y el fuego (Baskin *et al.*, 1998; Taylor, 2005), y la ingestión de los animales (P. ej. cabras, Baraza y Valiente-Banuet, 2008; Giordani, 2008).

Diferentes ensayos (P. ej. Camargo-Ricalde y Grether, 1998; Leal y Biondi, 2007; Martínez-Pérez *et al.*, 2006) confirman que los taxa de *Mimosa* tienen germinación rápida y tiene lugar dentro del primer y cuarto día después de la siembra; sin embargo, la tasa de germinación (GR) está relacionada con la temperatura. Esta característica también es intrínseca de los taxa pioneros o invasores (Lonsdale, 1999), y una característica importante para las plantas con potencial de restauración ambiental como *M. luisana* (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004) y *M. aculeaticarpa* Ortega var. *biuncifera* (Benth.) Barneby (Pavón *et al.*, 2011).

Efectos de la temperatura sobre la germinación de semillas

Mimosa es un género neotropical (Barneby, 1991; Simon *et al.*, 2011), que crece en lugares donde la temperatura oscila entre 0 °C y 35 °C (Cavalcante y Pérez, 1995); temperaturas que son consistentes con este y muchos estudios a nivel mundial (P. ej. Alves *et al.*, 2002; Camargo-Ricalde, 2000; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Camargo-Ricalde y Grether, 1998; Creager, 1992; Cruz-Medina y Orozco-Almanza, 2010; Ferreira *et al.*, 1992; Moreno-Casasola, 1973; Orozco-Almanza *et al.*, 2003; Parra, 1984; Rivera-Aguilar *et al.*, 2005; Silveira y Fernandes, 2006) que han definido los rangos y temperaturas óptimas de germinación de 25 taxa de *Mimosa*. También hemos demostrado que las semillas de *Mimosa* son capaces de germinar entre 0 y

45 °C, aunque la temperatura óptima registrada para los dos taxa estudiados fue de 25 °C. En este contexto, es importante señalar que Cavalcante y Pérez (1995) sugirieron que los taxa tropicales pueden tolerar altas temperaturas, por lo general ≥ 35 °C. Por otro lado, cuando las semillas fueron expuestas a temperaturas frías (≤ 5 °C), aún hubo germinación en ambos taxa, lo que significa que a esa temperatura aún no se inhiben sus tasas metabólicas (Hendricks y Taylorson, 1976).

Por lo tanto, la temperatura no es un factor limitante para la germinación de las semillas de los taxa de *Mimosa*, lo que sugiere que los dos taxa estudiados podrían ampliar sus áreas de distribución, ya sea expandiendo o contrayendo los ecosistemas. Ambos taxa de *Mimosa* son tolerantes a una amplia gama de temperaturas y mostraron una GR rápida y un PG alto; así como un crecimiento rápido (Camargo-Ricalde y Grether, 1998).

Efecto de la temperatura sobre la tasa de germinación (GR) y la tasa de saturación (SR)

Ambos taxa han registrado una GR alta: 3.4 semillas/día para *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (25 °C), y 6.6 semillas/día para *M. luisana* (25-30 °C). Aunque, Carvalho y Nakagawa (2000) sugirieron que las temperaturas más altas hacen semillas germinen más rápido debido a un aumento en la velocidad de absorción de agua y de las reacciones metabólicas. En el caso de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, cuando la temperatura estaba por encima de 25 °C, el número de semillas germinadas por día disminuyó; sin embargo, la GR se incrementó a 45 °C.

Según Baskin *et al.* (2000), este comportamiento puede ser el resultado de un pulso de temperatura que rompe la latencia fisiológica.

Por otra parte, al estudiar *Mimosa hostilis* (C. Mart.) Benth. (= *M. tenuiflora*), De Souza y De Castro (1983) informaron que la GR de semillas escarificadas mostró una relación directa con el PG, y estos resultados son consistentes con los resultados presentados aquí.

Las semillas escarificadas de ambos taxa de *Mimosa* tenían una GR de 0-0.45 semillas/día. El valor más alto se alcanzó a 45 °C en *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, y a 20-25 °C en *M. luisana*.

En cuanto a la SR, en ambos taxa estudiados requieren uno o dos días para germinar a 25 °C, después de la siembra, alcanzando altos porcentajes de germinación, mientras que se requiere de una mayor número de días para aumentar el porcentaje de germinación a temperaturas menores de 25 °C, debido a una disminución en el metabolismo de la semilla (Amaral y Paulilo, 1992). El estudio realizado por Pavón *et al.* (2011) sobre la germinación de semillas escarificadas de *M. aculeaticarpa* var. *biuncifera*, confirmó la relación inversa entre el GR y SR: mientras GR aumentó, SR disminuye. Sin embargo, esta relación inversa no se encontró, al comparar las semillas escarificadas, no se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas ni entre los taxa.

Por último, si el éxito de un taxon se centra sólo en su resistencia y/o tolerancia al factor de temperatura, los resultados globales sugieren que ambos taxa

de *Mimosa* pueden ser capaces de tener éxito en diferentes escenarios térmicos. Sin embargo, se necesitan más estudios para comprender cómo otros factores climáticos, como son los diferentes niveles de las concentraciones de CO₂ y de la precipitación pueden afectar los ciclos de las plantas.

CONCLUSIONES

Las semillas de *Mimosa*, al igual que los de otras legumbres, tienen una capa dura e impermeable. Para germinar estas semillas requieren escarificación y la escarificación mecánica es el mejor método, ya que ni el eje del embrión ni la plántula son dañados.

Los resultados globales sugieren que ambas taxa de *Mimosa* pueden ser capaces de sobrevivir y ampliar su área geográfica de distribución debido a que sus semillas son capaces de germinar en una amplia gama de temperaturas. Una comparación entre las semillas sanas y las depredadas por brúquidos también es relevante, ya que estos insectos son considerados como “controles naturales” de las poblaciones de las taxa de *Mimosa*.

Nuestra hipótesis se confirmó: las semillas de ambas taxa germinaron de acuerdo a las temperaturas promedio de sus hábitats y mostraron tolerancia a un amplio escenario térmico. Además, en este estudio, ya que las semillas de ambas taxa son capaces de germinar en un amplio rango de temperaturas, sus poblaciones

podrían eventualmente ser capaces de expandirse o contraerse en el acompañamiento con los ecosistemas en los que se desarrollan.

Actualmente, ambas taxa de *Mimosa* se pueden utilizar en programas de restauración ecológica. Como ambas taxa son nativos de México y favorecen los procesos de sucesión que conduce a la restauración de sus ecosistemas originales, respectivamente. Proponemos que: *i*) En los bosques templados (ecosistemas mésicos mexicanos), *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* restauraría ambientes donde la temperatura nunca sea inferior a 5 °C o superior a 45 °C, y *ii*) En el matorral tropical árido (ecosistema seco), semillas de *M. luisana* podría germinar en una gama amplia de temperaturas, lo que sugiere que este taxon endémico es una buena opción para la restauración del ecosistema semiárido en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México.

LITERATURA CITADA

- Alves, U.E., Cesar P.R., Pereira O.A., Alcântara B.R. y Araújo D.E. 2002. Germinação de sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. em diferentes substratos e temperaturas. *Revista Brasileira de Sementes* **24**: 169-178.
- Amaral, L.I. y Paulilo M.T. 1992. Efeito da luz, temperatura, regulador de crescimento e nitrato de potássio na germinação de *Miconia cinnamomifolia* Naudim. *Insula* **21**: 59-86.
- Auld, T.D. 1996. Ecology of the Fabaceae in the Sydney region: fire, ants and the soil seedbank. *Cunninghamia* **4**: 531-551.

- Baraza, E. y Valiente-Banuet A. 2008. Seed dispersal by domestic goats in a semiarid thornshrub of Mexico. *Journal of Arid Environments* **72**: 1973-1976.
- 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.
- Baskin, C.C. 2003. Breaking physical dormancy in seeds - focusing on the lens. *New Phytologist* **158**: 229-232.
- Baskin, J.M., Baskin C.C. y Li X. 2000. Taxonomy, ecology, and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology* **15**: 139-152.
- Baskin, J.M., Nan X.Y. y Baskin C.C. 1998. A comparative study of seed dormancy and germination in an annual and a perennial species of *Senna* (Fabaceae). *Seed Science Research* **8**: 501-512.
- Bewley, J.D. y Black M. 1994. *Seeds: physiology of development and germination*. 2nd ed. New York.
- Camargo-Ricalde, S.L. y Grether R. 1998. Germinación, dispersión y establecimiento de plántulas de *Mimosa tenuiflora* (Leguminosae) en México. *Revista de Biología Tropical* **46**: 1-12.
- Camargo-Ricalde, S.L. 2000. Descripción, distribución, anatomía, composición química y usos de *Mimosa tenuiflora* (Fabaceae-Mimosoideae) en México. *Revista de Biología Tropical* **48**: 939-954.
- 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. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **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 semi-arid Mexican valley. *Journal of Vegetation Science* **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**: 29-136.
- Camargo-Ricalde, S.L., Dhillion S.S. y García-García V. 2004. Phenology, and seed production and germination of seven endemic *Mimosa* species (Fabaceae-Mimosoideae) of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* **58**: 423-437.
- Camargo-Ricalde, S.L., Reyes-Jaramillo I. y Montaña N.M. 2010a. Forestry insularity effect of four *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) on soil nutrients of a Mexican semiarid ecosystem. *Agroforestry Systems* **80**: 385-397.
- Camargo-Ricalde, S.L., Montaña N.M., Reyes-Jaramillo I., Jiménez-González C. y Dhillion S.S. 2010b. Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Trees-Structure and Function* **24**: 67-78.
- Carvalho, N.M. y Nakagawa J. 2000. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP.
- Cavalcante, A.M. y Perez S.C.S.G. 1995. Efeitos da temperatura sobre a germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (LAM) de WIT. *Revista Brasileira de Sementes* **17**: 1-8.

- Chauhan, B.S. y Johnson D.E. 2008. Seed germination and seedling emergence of giant sensitive plant (*Mimosa invisa*). *Weed Science* **56**: 244-248.
- Creager, R.A. 1992. Seed germination, physical and chemical control of catclaw mimosa (*Mimosa pigra* var. *pigra*). *Weed Technology* **6**: 884-891.
- Cruz-Medina, D. y Orozco-Almanza S. 2010. Germinación de ocho especies de la familia Fabaceae, bajo diferentes regímenes de temperatura. VII Simposio Internacional sobre la flora silvestre en zonas áridas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- D'Aubeterre, R., Principal J. y García J. 2002. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de tres especies del género *Prosopis*. *Revista Científica* **12**: 575-577.
- De Souza, A.M. y De Castro G.A. 1983. Métodos para superar a dormência tegumentar em sementes de Jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth.). *Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo* **6/7**: 26-32.
- Dhillion, S.S., Aguilar-Støen M. y Camargo-Ricalde S.L. 2004. Integrative ecological restoration and local involvement in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Environmental Conservation* **13**: 1-3.
- Enríquez-Peña, E., Suzán-Azpiri H. y Malda-Barrera G. 2004. Viabilidad y germinación de semillas de *Taxodium mucronatum* (Ten.) en el estado de Querétaro, México. México. *Agrociencia* **38**: 357-381.
- Ferreira, A.G., Lipp Joao K.H. y Heuser E.D. 1992. Efeitos de escarificação sobre a germinação e do pH no crescimento de *Acacia bonariensis* Gill e *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* **4**: 63-65.

- Fontúrbel, R.F. 2002. Rol de la coevolución planta–insecto en la evolución de las flores cíclicas en las angiospermas. *Ciencia Abierta Internacional* **17**: 1-11.
- Giordani, L. 2008. The role of goats in germination and dispersal of *Mimosa luisana* Brandegees (Leguminosae-Mimosoideae) seeds in the Tehuacán-Cuicatlán valley, Puebla State, Mexico. Master Thesis, Norwegian University of life Sciences, Norway, 32 p.
- González-Castañeda, J., Angoa-Pérez M.V., Frías-Hernández J.T., Olalde-Portugal V., Flores-Ancira E., Terrones-Rincón T.R., Van Cleemput O. y Dendooven L. 2004. Germination of seeds of huisache (*Acacia schaffneri*) and catclaw (*Mimosa monancistra*) as affected by sulphuric acid and mechanical scarification and subsequent growth and survival in a greenhouse and field experiment. *Seed Science and Technology* **32**: 727-738.
- Grether, R., Camargo-Ricalde S.L. y Martínez-Bernal A. 1996. Especies del género *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**: 149-152.
- Hendricks, S.B. y Taylorson B. 1976. Variation in germination and amino acid leakage of seeds with temperature related to membrane phase change. *Plant Physiology* **58**: 7-11.
- Hintze, J. 2001. NCSS. *Number Cruncher Statistical System*, Kaysville.
- Jayasuriya, G.K. Wijetunga A.S., Baskin J.M. y Baskin C.C. 2013. Seed dormancy and storage behavior in tropical Fabaceae: a study of 100 species from Sri Lanka. *Seed Science Research* **23**: 257-269.

- Leal, L. y Biondi D. 2007. Comportamiento germinativo de semillas de *Mimosa dolens* Vell. *Publ UEPG Exact Earth Sci Agr Sci Eng Ponta Grossa* **13**: 37-43.
- Lonsdale, W.M. 1993. Losses from the seed bank of *Mimosa pigra*: soil microorganisms vs. temperature fluctuations. *Journal of Applied Ecology* **30**: 654-660.
- Lonsdale, W.M. 1999. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology* **80**: 1522-1536.
- Lopez, J., Devesa J.A., Ruiz T. y Ortega-Olivencia A. 1999. Seed germination in Genistaceae (Fabaceae) from south-west Spain. *Phyton* **39**: 107–129.
- Martínez-Pérez, G., Orozco-Segovia A. y 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.
- Matilla, A. 2004. Ecofisiología de la germinación de semillas. *En*: Reigosa M.J., Pedrol N. y Sánchez A. La ecofisiología Vegetal: Una ciencia de síntesis. Thomson, España.
- Moreno-Calles, A. y Casas A. 2010. Agroforestry systems: restoration of semiarid zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecological Restoration* **28**: 361-368.
- Moreno-Casasola, P. 1973. Estudio sobre viabilidad y latencia de semillas tropicales. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México, 78 p.
- Olf, H., Pegtel D.M., Van Groenendael J.M. y Bakker J.P. 1994. Germination strategies during grassland succession. *Journal of Ecology* **82**: 69-77.

- Orozco-Almanza, S., Ponce De León-García L., Grether R. y García-Moya E. 2003. Germination of four species of the genus *Mimosa* (Leguminosae) in a semi-arid zone of Central Mexico. *Journal of Arid Environments* **55**: 75-92.
- Parmesan, C. y Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**: 37-42.
- Parra, G.P. 1984. Estudio de la morfología externa de plántulas de *Calliandra gracilis*, *Mimosa albida*, *Mimosa arenosa*, *Mimosa camporum* y *Mimosa tenuiflora*. *Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay)* **13**: 311-350.
- Pavón, N.P., Ballato-Santos J. y Pérez-Pérez C. 2011. Germinación y establecimiento de *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Fabaceae-Mimosoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 653-661.
- Piedrahita, C.E. 1997. Germinación de semillas de *Jacaranda copaia* bajo condiciones contrastantes de luz. Colombia. *Crónica forestal y del medio ambiente* **12**: 1-4.
- Piedrahita, C.E. 1998. Aumento del vigor en semillas de *Pinus patula* (Schlecht. & Cham.) por el efecto de osmocondicionamiento. *Crónica forestal y del medio ambiente* **13**: 1-21.
- Rivera-Aguilar, V., Godínez-Álvarez H., Manuell-Cacheux I. y Rodríguez-Zaragoza S. 2005. Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions. *Journal of Arid Environments* **63**: 344-352.
- Romero-Nápoles, J., Grether R., Camargo-Ricalde S.L. y Jonson C.D. 2005. Método para la evaluación de daño de semillas por brúquidos (Insecta, Coleoptera), en

el campo con nuevos registros de hospederos y distribución para el grupo.

Entomología Mexicana **4**: 107-111.

Silveira, F.A. y Fernandes G.W. 2006. Effect of light, temperature and scarification on the germination of *Mimosa foliolosa* (Leguminosae) seeds. *Seed Science and Technology* **34**: 585-592.

Simon, M.F., Grether R., de Queiroz L.P., Sarkinen T.E., Dutra V.F. y Hughes C.E. 2011. The evolutionary history of *Mimosa* (Leguminosae): towards a phylogeny of the sensitive plants. *American Journal of Botany* **78**: 1201-1221.

Skogen, K.A., Senack L. y Holsinger K.E. 2010. Dormancy, small seed size and low germination rates contribute to low recruitment in *Desmodium cuspidatum* (Fabaceae). *Journal of the Torrey Botanical Society* **137**: 355-365.

Sokal, R.R. y Rohlf F.J. 1995. *Biometry*. Freeman and Company, San Francisco, C.A. 887 pp.

Takakura, K. 2002. The specialist seed predator *Bruchidius dorsalis* (Coleóptera: Bruchidae) plays a crucial role in the seed germination of its host plant, *Gleditsia japonica* (Leguminosae). *Functional Ecology* **16**: 252-257.

Taylor, G.B. 2005. Hard seededness in Mediterranean annual pasture legumes in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* **56**: 645-661.

Valiente-Banuet, A. y Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Ecology* **79**: 961-971.

- Valiente-Banuet, A., Vite F. y Zavala-Hurtado J.A. 1991. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Vegetation Science* **2**: 11-14.
- Van Assche, J.A., Debucquoy K.L. y Rommens W.A. 2003. Seasonal cycles in the germination capacity of buried seeds of some Leguminosae (Fabaceae). *New Phytologist* **158**: 315-323.
- Van Klinken, R.D. y Flack L. 2005. Wet heat as a mechanism for dormancy release and germination of seeds with physical dormancy. *Weed Science* **53**: 663-669.
- Van Klinken, R.D. y Goulier J-B. 2013. Habitat-specific seed dormancy-release mechanisms in four legume species. *Seed Science Research* **23**: 181-188.
- Venier, P., Funes, G. y Carrizo-García C. 2012. Physical dormancy and histological features of seeds of five *Acacia* species (Fabaceae) from xerophytic forests in central Argentina. *Flora* **207**: 39-46.
- Weng, J-H. y Hsu F-H. 2006. Variation of germination response to temperature in Formosan lily (*Lilium formosanum* Wall.) collected from different latitudes and elevations in Taiwan. *Plant Production Science* **9**: 281-286.
- Westoby, M., Jurado E. y Leishman M. 1992. Comparative evolutionary ecology of seed size. *Trends in Ecology and Evolution* **7**: 368-372.

PUBLICACIÓN

EFFECT OF SCARIFICATION AND TEMPERATURE ON SEED GERMINATION OF TWO MEXICAN SPECIES OF *MIMOSA* (LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE)

SUSANA ADRIANA MONTAÑO-ARIAS^{1,2,4}, SARA LUCÍA CAMARGO-RICALDE^{2,4}, ROSAURA GREYER²
Y DAVID DÍAZ-PONTONES³

¹Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud

²Departamento de Biología

³Departamento de Ciencias de la Salud, División de Ciencias Biológicas y de la Salud,
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D.F. México

⁴Corresponding authors: slcr@xanum.uam.mx; arias_susan@hotmail.com

Abstract: It has been considered that *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* and *M. luisana* have the potential to restore temperate and semi-arid environments, respectively. Mature seeds were collected from eight mother plants per taxon to determine the effects of scarification and temperature on seed germination of both taxa, and to define the optimum temperature for germination. To obtain a representative sample of each taxon, seeds with the same weight and size were mixed. Five replicates of 20 seeds each (100 seeds per taxon/temperature, plus the control) were established. The seeds were mechanically scarified and incubated under controlled conditions: 5 to 45 °C with 5 °C intervals, and a 12h light/12h darkness photoperiod. Results showed that scarification and temperature were significant factors in seed germination. In both taxa, germination was epigeal and phanerocotylar. The highest seed germination percentages were obtained when seeds were scarified. 88 % of seeds of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* germinated at 25 °C. Hundred percent of seeds of *M. luisana* germinated at 30 °C. The optimum temperature for germination of seeds of both taxa was established at 25 °C. *Mimosa* taxa differ in the germination rate: *M. luisana* germinated at 6.6 seeds/day and *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* at 3.4 seeds/day. Overall results suggest that, for both taxa, an increase or decrease in temperature will not inhibit seed germination, supporting the recommendation to use these plants for reforestation, as part of environmental restoration projects in temperate and semi-arid Mexican regions.

Key words: arid tropical scrub, conservation, restoration, temperate forest.

Resumen: *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* son taxa con potencial para la restauración ambiental. Se evaluaron los efectos de la escarificación y la temperatura en la germinación de semillas de ambos taxa y se definió la temperatura óptima de germinación, se colectaron semillas maduras de ocho individuos por especie. Las semillas (igual peso y tamaño) se mezclaron para obtener una muestra compuesta por taxon. Se establecieron cinco repeticiones de 20 semillas por taxon (100 semillas por taxon, por temperatura, más el control). Las semillas fueron escarificadas mecánicamente, realizando un corte en el extremo opuesto al eje del embrión e incubadas en un gradiente de 5 a 45 °C, con intervalos de 5 °C y un fotoperíodo de 12h luz/12h oscuridad. Los resultados indican que la escarificación y la temperatura son factores significativos para la germinación de las semillas. En ambos taxa, la germinación fue epígea y fanerocotilar. Los mayores porcentajes de germinación se obtuvieron cuando las semillas fueron escarificadas. *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* logró el 88 % de germinación a 25 °C; mientras que *M. luisana* alcanzó 100 % a 30 °C; sin embargo, para ambos taxa la temperatura óptima de germinación fue de 25 °C. La tasa de germinación difiere, en *M. luisana* se registraron 6.6 semillas/día; mientras que en *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* sólo 3.4 semillas/día. Los resultados sugieren que ante un incremento o decremento en la temperatura, la germinación de las dos especies estudiadas no será inhibida; por lo tanto, se apoya la recomendación del uso de ambas especies en reforestación como parte de proyectos de restauración ambiental en regiones templadas y semiáridas de México.

Palabras clave: bosque templado, conservación, matorral xerófilo; restauración.

In Mexico, species of *Mimosa* L. (Leguminosae-Mimosoideae) have attracted attention due to their multiple uses, their ability to survive in harsh environments, to resprout after having been cut or burnt, because the genus has many

ecological, economic, and cultural values (Camargo-Ricalde *et al.*, 2001). *Mimosa* comprises ca. 530 species in the world, and it is one of the three largest genera of Mimosoideae, along with *Acacia* and *Inga* (Simon *et al.*, 2011).

After Brazil, Mexico is the second diversification center of *Mimosa*, being the most diverse genus of the subfamily with ca. 110 species, 60 % endemic to the country, many of them occurring as dominant or co-dominant elements in arid ecosystems, widely distributed in tropical vegetation, and few species growing in temperate forests (Grether *et al.*, 1996; Camargo-Ricalde *et al.*, 2002). Within arid and semi-arid environments, some *Mimosa* species are resource-island formers, enriching the soil with organic matter and nutrients (Camargo-Ricalde *et al.*, 2002, 2010a), and as reservoirs of arbuscular mycorrhizal fungal spores (Camargo-Ricalde and Dhillion, 2003), and nitrogen-fixing bacteria (Camargo-Ricalde *et al.*, 2010a, b). In addition, the nurse effect is very clear between *Mimosa luisana* Brandege and *Neobuxbaumia tetetzo* (F.A. C. Weber ex K. Schum) Backeberg, a columnar cactus endemic to Mexico (Valiente-Banuet *et al.*, 1991; Valiente-Banuet and Ezcurra, 1991). Hence, some *Mimosa* species are considered potentially useful for ecological restoration projects (Dhillion *et al.*, 2004; Moreno-Calles and Casas, 2010; Pavón *et al.*, 2011).

As a first step, it is known that seeds of some *Mimosa* species are able to germinate in a wide range of temperatures (De Souza-Araújo and De Castro-Andrade, 1983; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Pavón *et al.*, 2011), and that scarification increases the percentage of germination (Ferreira *et al.*, 1992; Camargo-Ricalde and Grether, 1998; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; González-Castañeda *et al.*, 2004; Silveira and Fernandes, 2006; Leal and Biondi, 2007; Chahuan and Johnson, 2008; Pavón *et al.*, 2011; Gehan-Jayasuriya *et al.*, 2013). However, it is not yet possible to generalize about how seeds will respond to both seed scarification and temperature fluctuation because only 5 % of the species of *Mimosa* have been studied around the world. For the Mexican *Mimosa*, seed germination has merely been studied in 13 species occurring in arid ecosystems (*i.e.* Camargo-Ricalde *et al.*, 2004, Pavón *et al.*, 2011) and only one from temperate forests (Martínez-Pérez *et al.*, 2006).

Hence, and under the assumption that species are adapted to the environments where they have evolved, arid and semi-arid ecosystem species will be able to germinate at higher and more extreme temperatures than temperate ecosystem species. Therefore, the aims of this study were: (i) To determine the effects of scarification and temperature on seed germination percentage, germination rate and saturation rate; and (ii) To define the optimum temperature for seed germination, of two *Mimosa* taxa occurring in two contrasting ecosystems: *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* Ortega (temperate forest, endemic to Mexico) and *M. luisana* (arid tropical scrub, narrow endemic to Mexico).

Materials and Methods

Experimental design. Mature fruits of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* and *M. luisana* were collected during the

maximum productivity season of each taxon (November and October, respectively), from eight different mother plants with similar height and foliage cover. Fruit harvesting was random, spanning the entire area of the canopy per plant.

Mimosa aculeaticarpa var. *aculeaticarpa* was collected from a temperate forest, in the Municipality of Tiripetío, State of Michoacán, 19° 58.218' N, 101° 31.664' W, at 1,950 m a.s.l., and *M. luisana* from an arid tropical scrub, in the Valley of Tehuacán, State of Puebla, 18° 15' 23.7" N, 97° 09' 03.3" W, at 2,232 m a.s.l. Voucher specimens were deposited at the Herbario Metropolitano (UAMIZ), Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

Seed characterization and treatments prior to sowing. After collection, seeds were removed from the fruits. Approximately, 10,000 seeds, per species, were obtained and stored in plastic containers, at room temperature (20 °C), in Mexico City. For two weeks, bruchids (Insecta, Coleoptera) emerging from the seeds were collected and fixed in FAA for identification.

Since seed size and weight can influence the rate of germination (Matilla, 2004; Skogen *et al.*, 2010), 3,600 healthy mature seeds per taxon, were characterized. The evaluated variables were: length, width and thickness, as well as seed weight. Seed size was measured with a digital vernier caliper (Absolute Digimatic, CD-6"CS), and seed weight was determined individually using an analytical balance with 10⁻⁴ g resolution (Adventurer, Ohaus, Melrose, USA). Healthy seeds, of both taxa, with a similar range of size and weight, were mixed to obtain a combined sample. It is important to mention that for assuring the adequate development of the whole assay, the range of seed size and weight was chosen in terms of the minimum number of seeds needed for it.

Germination assays under laboratory conditions. Legume seeds are known to have physical dormancy (Baskin, 2003; Van Assche *et al.*, 2003; Venier *et al.*, 2012; Gehan-Jayasuriya *et al.*, 2013), as *Mimosa* species (Martínez-Pérez *et al.*, 2006; Gehan-Jayasuriya *et al.*, 2013). Prior to any assay, all *Mimosa* seeds were washed with commercial detergent (3 g/100 ml water/3 min) (Camargo-Ricalde and Grether, 1998). Seeds were mechanically scarified: the seed coat was cut at the side opposite to the embryo's axis in order to avoid damage. Germination assays took place in an incubator (Conviron T 38/Lb/AP), using trays (30 × 15 × 20 cm), with agar (3 %) as substrate. A temperature gradient with nine intervals of 5 °C each (from 5 to 45 °C), and a photoperiod of 12h light/12h darkness was set.

For every thermal treatment, five replicates of 20 scarified seeds each (100 seeds per taxon, 1,800 seeds in total), as well as five replicates of 20 unscarified seeds each as control (100 seeds per taxon, 1,800 seeds in total) were established. Seeds were considered as germinated when the radicle reached 1 mm in length (Bewley and Black, 1994). All the assays continued for 30 days.

To analyze the effect of temperature fluctuations in relation to the seed germination behavior of plants, diverse authors (*i.e.* Piedrahita-Cardona 1997, 1998; Enríquez-Peña *et al.*, 2004; Weng and Hsu, 2006; Pavón *et al.*, 2011) consider the parameters listed below, which will be used, as well, for the *Mimosa* taxa studied here:

Total Percentage of Germination (PG).- it is defined as the percentage of the total germination at the end of the assay.

Half Germination Rate (G_{50}).- it is the number of days, after sowing, needed to reach 50 % of germination, and it was estimated by interpolating the day before and the day after in which 50 % of the total seed germination was obtained.

Germination Rate (GR).- it is defined as the correlation between the number of germinated seeds and the germination time: $GR = \Sigma(n_i)/t$, where n_i = number of germinated seeds in one day (i), t = time from sowing until the last seed germinates.

Saturation Rate (SR).- it is defined as the time for germination in relation to the germination percentage: $SR = \Sigma(n_i t_i)/N$, where n_i = number of germinated seeds in one day (i); t_i = number of days after sowing, N = total number of seeds sown.

Optimum Temperature (OT).- it was calculated as the average of all temperatures, weighted with the total seed germination percentage, at each temperature (Olf *et al.*, 1994).

Statistical analyses. Seed weight was compared between taxa using a *t*-student test ($P < 0.05$). Homogeneity of variance was examined for all temperature treatments (Levene's test, $P < 0.05$). When homogeneity of variance was found, a one-way ANOVA was used to analyze the intraspecific variation within the germination percentages and between control and scarified seeds, and a two-way ANOVA to examine the interspecific variation within the germination percentages, where the taxa and the temperatures were the variables (ANOVA, $P < 0.05$). A multiple comparison test was employed (Tukey's HSD, $P < 0.05$) to form groups. In *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, the homogeneity of variance of *SR* was not found; therefore, the non-parametric Kruskal-Wallis test was used ($P < 0.05$), and medians were compared by the Mann-Whitney test ($P < 0.05$, Sokal and Rohlf, 1995). All analyses were performed with the NCSS Software (Hintze, 2001).

Results

Seed size, weight, and production. The two studied *Mimosa* taxa produce numerous seeds of variable weight and size. When comparing the weight of seeds between both taxa and within each taxon, no significant differences were showed ($t = 0.7442$, $P > 0.05$). In this sense, no significant differences were found, when comparing the size between and within both taxa; though, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* seeds were the biggest (Table 1).

Not all collected seeds were healthy; many of them were infested by bruchids (Insecta, Coleoptera). The mean percentage of infestation was 11.9 % for *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, and 48.7 % for *M. luisana* (Table 1). In the case of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, two species of seed predator bruchids were identified, *Acanthoscelides chirichahuae* (Fall) and *A. mexicanus* (Sharp). *Mimosa luisana* seeds were infested by three species, two belonging to genus *Acanthoscelides* (*Acanthoscelides mexicanus* and *A. chirichahuae*) and one to genus *Stator* [*Stator pruininus* (Horn)].

Scarification effect on the total percentage of seed germination (PG). The two *Mimosa* taxa showed both epigeal and phanerocotylar germination, which started the first day after sowing. In both taxa, germination was stimulated by scarification (Figures 1-3; Table 2). The PG of unscarified seeds was low and slow. Scarified seeds registered a significantly higher PG ($F = 143.88$, $P < 0.001$; Table 2). Scarified seeds of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* germinated 57 times faster than those of *M. luisana*. In the case of *Mimosa luisana*, unscarified seeds germinated five times faster than those of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (Figures 1-3). Although these data were not statistically significant, seeds of *Mimosa luisana* tended to germinate in greater numbers than those of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (Table 2).

Temperature effect on total seed germination percentage (PG). The two-way ANOVA analysis showed a significant effect of the two factors, taxon and temperature, on the PG (Tables 3, 4). The lowest germination percentage of both taxa was recorded at 5 °C (Figures 1-3), differing significantly from the other temperature ranges ($F = 33.03$ and $F = 18.63$; both with $P < 0.005$, respectively). The highest PG (88 %) was recorded at 25 °C in *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* ($F = 33.03$; $P < 0.005$); although, 88 % of

Table 1. *Mimosa* taxa mature seed size, weight, production, and percentage of infested and non-infested seeds by bruchids (Insecta, Coleoptera).

Variables / Taxon		<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	<i>M. luisana</i>
Size (mm)	Length	3.0-4.4	2.6-3.5
	Width	2.0-3.0	1.8-2.4
	Thickness	0.01-0.02	2.0-2.7
Mature seed weight (gr) (Mean ± SE)		0.008 ± 0.0004 ^a	0.00864 ± 0.0006 ^a
Production (number)		9,891	12,276
Infested seeds (%)		11.9	48.7
Non-infested seed production (%)		88.1	51.3

Values followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$).

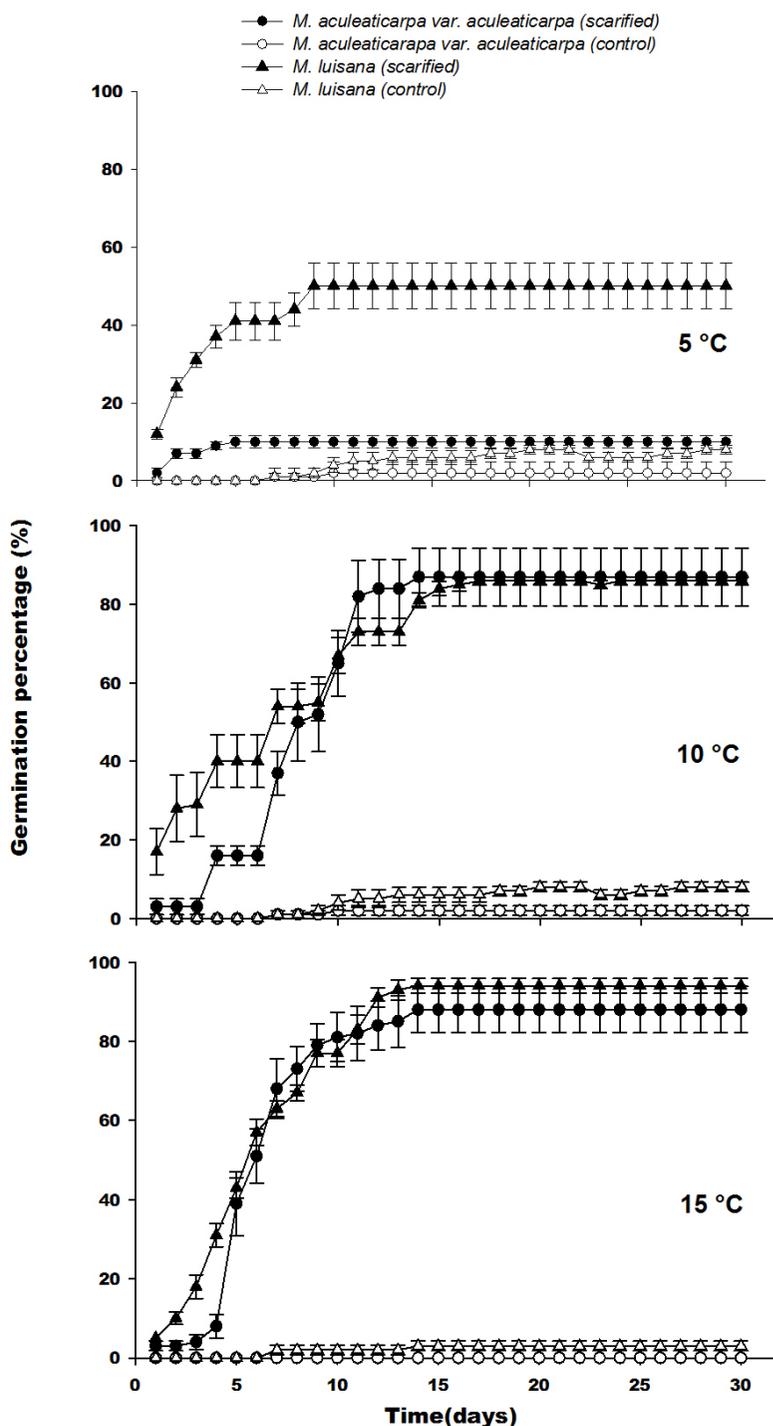


Figure 1. Seed Germination Percentage (PG ± SE) of two *Mimosa* taxa along a temperature gradient 5 – 15 °C.

germination was also achieved at 15 °C, but seeds required more days (SR = 5) to reach this percentage (Table 4). In *M. luisana*, the highest percentage of germination (100 %) was reached at 30 °C; whereas, at higher or lower temperatures, the PG decreased (Figure 2; Table 4).

The effect of the interaction between the two factors, taxon and temperature, on the PG was significant ($P < 0.001$),

indicating that the germinative response to temperature depended on the taxon. There was a decrease in the PG at extreme temperatures, 5 and 45 °C (Figures 1-3).

In relation to the half of seed germination (G_{50}), the taxon factor presented an interaction with the temperature factor ($P < 0.001$, Table 3), indicating that seed germination response (G_{50}) to temperature depended on the taxon.

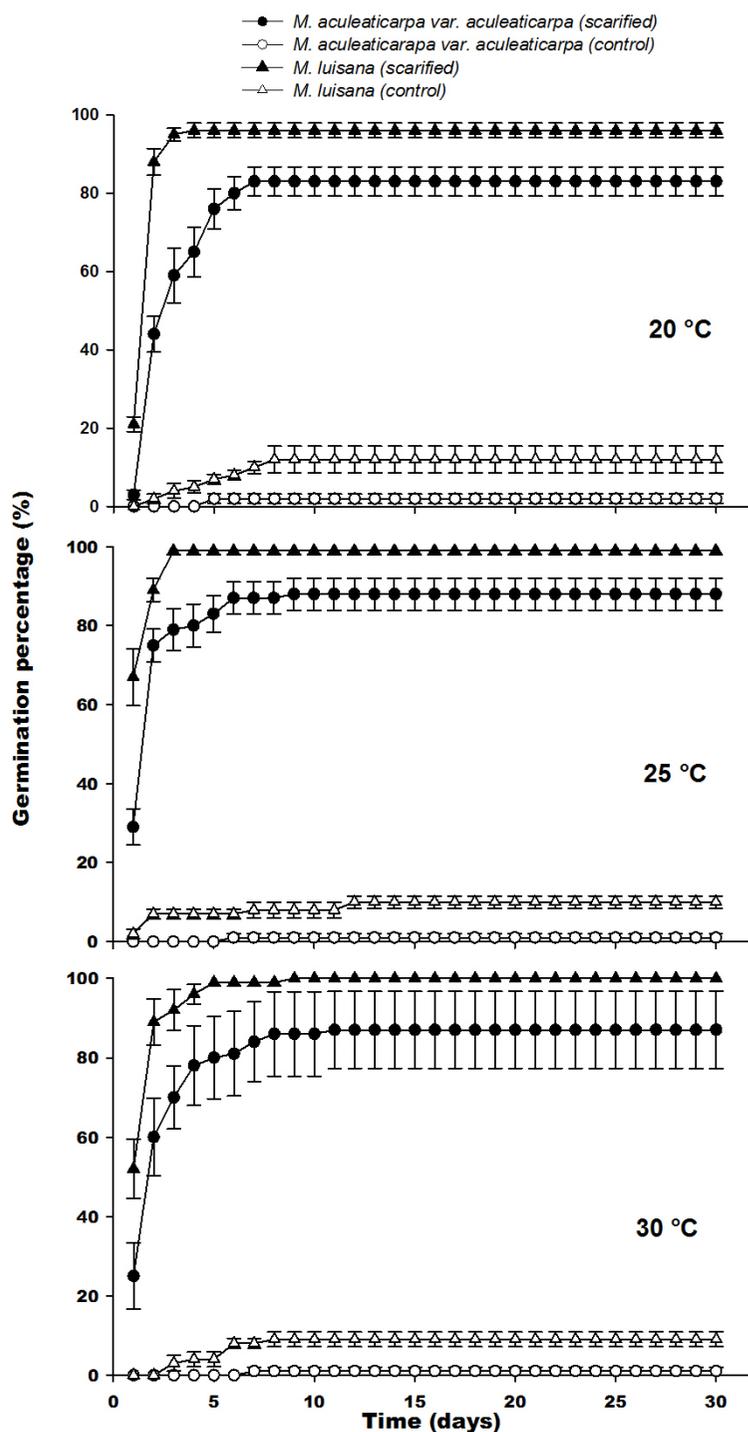


Figure 2. Seed Germination Percentage (PG \pm SE) of two *Mimosa* taxa along a temperature gradient 20 – 30 °C.

Although at 20 °C, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* reached 50 % of seed germination on the second day after sowing, at 25 and 30 °C, the 50 % of seed germination was exceeded on the second day after sowing. However, more days were needed to reach 50 % of germination at temperatures below 20 °C and above 35 °C. Moreover, only 35 % of seed germination was reached at 45 °C. In the case

of *M. luisana*, 50 % of seed germination was attained at 30 °C, the first day after sowing, and this percentage was exceeded at temperatures of 25, 35, and 40 °C; however, the total germination percentage decreased to less than 27 % at 45 °C (Figures 1-3).

Furthermore, the results showed that seeds of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* and *M. luisana* germinated

Table 2. Effect of seed scarification on the percentage of germination of two taxa of genus *Mimosa*.

Taxon	Germination (%)	
	Unscarified (Mean ± SE)	Scarified (Mean ± SE)
<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	1.22 ± 0.22 ^{Aa}	70.0 ± 8.35 ^{Bb}
<i>M. luisana</i>	6.33 ± 1.46 ^{Aa}	79.6 ± 8.31 ^{Bb}

Values followed by the same letter are not significantly different in columns (lower case) and rows (upper case), $P < 0.05$.

along the gradient of temperature (5-45 °C). However, the optimum temperature (OT) for seed germination for both taxa was determined at 25 °C (Table 4).

Temperature effect on the germination rate (GR). The Germination Rate (GR) was significantly affected by the taxon and the temperature factors ($F = 9.9$; $P < 0.001$, Figure 4A, Table 3). GR increased significantly when the temperature reached 30 °C. In average, three seeds of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* germinated/day at 25 °C; whereas, six seeds of *M. luisana* germinated/day at the same temperature. However, the GR of seeds of both, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* and of *M. luisana*, decreased at temperatures above 30 and 35°C, respectively. In the case of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, the GR increased at 45 °C; although, only 35 % of seed germination was recorded (Figure 4A).

Regarding the saturation rate (SR), a significant interaction between the two factors, taxon and temperature, was also observed ($F = 4.38$; $P < 0.001$, Table 3), indicating that the SR depended on the taxon. *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* required numerous days to reach the PG; whereas, *M. luisana* required even more days to reach it at 15 °C (Figure 4B).

Discussion

The overall results obtained in this study are relevant under the context of possible temperature and precipitation fluctuation. In this case, this study tries to elucidate the influence of both temperature change and seed scarification on *Mimosa* seeds germination:

Table 3. Two-way ANOVA to analyze the effect of the temperature on the percentage of seed germination of two taxa of genus *Mimosa*.

	DF	Germination (%)	G ₅₀ (d)	GR (seeds/d)	SR (d)
		F	F	F	F
Taxon (S)	1	20.65 ^{ns}	19.25 ^{***}	12.54 ^{***}	9.27 ^{**}
Temperature (T)	8	50.74 ^{ns}	49.95 ^{***}	17.71 ^{***}	68.04 ^{***}
S x T	8	3.38 ^{***}	3.62 ^{***}	9.92 ^{***}	4.38 ^{***}

G₅₀=Half Germination Rate; GR=Germination Rate; SR=Saturation Rate; ns=not significant; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

Table 4. Total Percentage of seed Germination (PG) and Saturation Rate (SR) of two taxa of genus *Mimosa* under different temperatures, in a laboratory assay.

Temperature °C	Parameter/Taxon	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i> (Mean ± SE)	<i>M. luisana</i> (Mean ± SE)
5	PG (%)	10 ± 1.58 ^{Ab}	50 ± 5.92 ^{Bb}
	SR	1	1
10	PG (%)	87 ± 7.34 ^{Aa}	86 ± 1 ^{Aa}
	SR	7	5
15	PG (%)	88 ± 5.83 ^{Aa}	94 ± 1.87 ^{Aa}
	SR	5	6
20	PG (%)	83 ± 3.74 ^{Aa}	96 ± 1.87 ^{Aa}
	SR	3	2
25	PG (%)	88 ± 4.06 ^{Aa}	99 ± 1 ^{Aa}
	SR	2	1
30	PG (%)	87 ± 9.69 ^{Aa}	100 ± 0 ^{Aa}
	SR	2	1
35	PG (%)	72 ± 8.30 ^{Aa}	81 ± 4.30 ^{Aa}
	SR	2	1
40	PG (%)	69 ± 7.31 ^{Aa}	84 ± 5.09 ^{Aa}
	SR	3	1
45	PG (%)	35 ± 6.12 ^{Ab}	27 ± 1.22 ^{Ab}
	SR	1	1
Optimum Temperature (°C)		25	25

Values followed by the same letter are not significantly different in columns (lower case), and a Tukey HSD to analyze the effect of temperature on the percentage of seed germination (upper case), $P < 0.05$.

Seed size, weight and production. Mature *Mimosa* seeds showed a significant size and weight variation even coming from the same mother plant. Both the small size of the seeds and their high production are intrinsic characteristics that lead to potentially more competitive plants, such as *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Camargo-Ricalde and Grether, 1998) and *Mimosa pigra* L., which are considered as pioneer or invasive species (Creager, 1992; Lonsdale, 1999).

On the other hand, predation of *Mimosa* seeds by bruchids (Insecta, Coleoptera), regardless of the size, could reduce their potential germination (Fontúrbel, 2002; Romero-Nápoles et al., 2005). In this study, the percentages of infested seeds were consistent with those reported by Orozco-Almanza et al. (2003) and Camargo-Ricalde et al. (2004), who found that the species of *Mimosa* had a high percentage of bruchid-infested seeds (30-75 %), reducing the number of viable seeds and, consequently, the number of seedlings for posterior recruitment.

In this study, seeds of *M. luisana* were infested by three different bruchid species; this *Mimosa* species had the highest percentage of parasitized seeds (48 %), as well as the highest GR; meanwhile, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* registered the presence of two bruchid species, which infested 11 % of the seeds, showing a lower percentage of

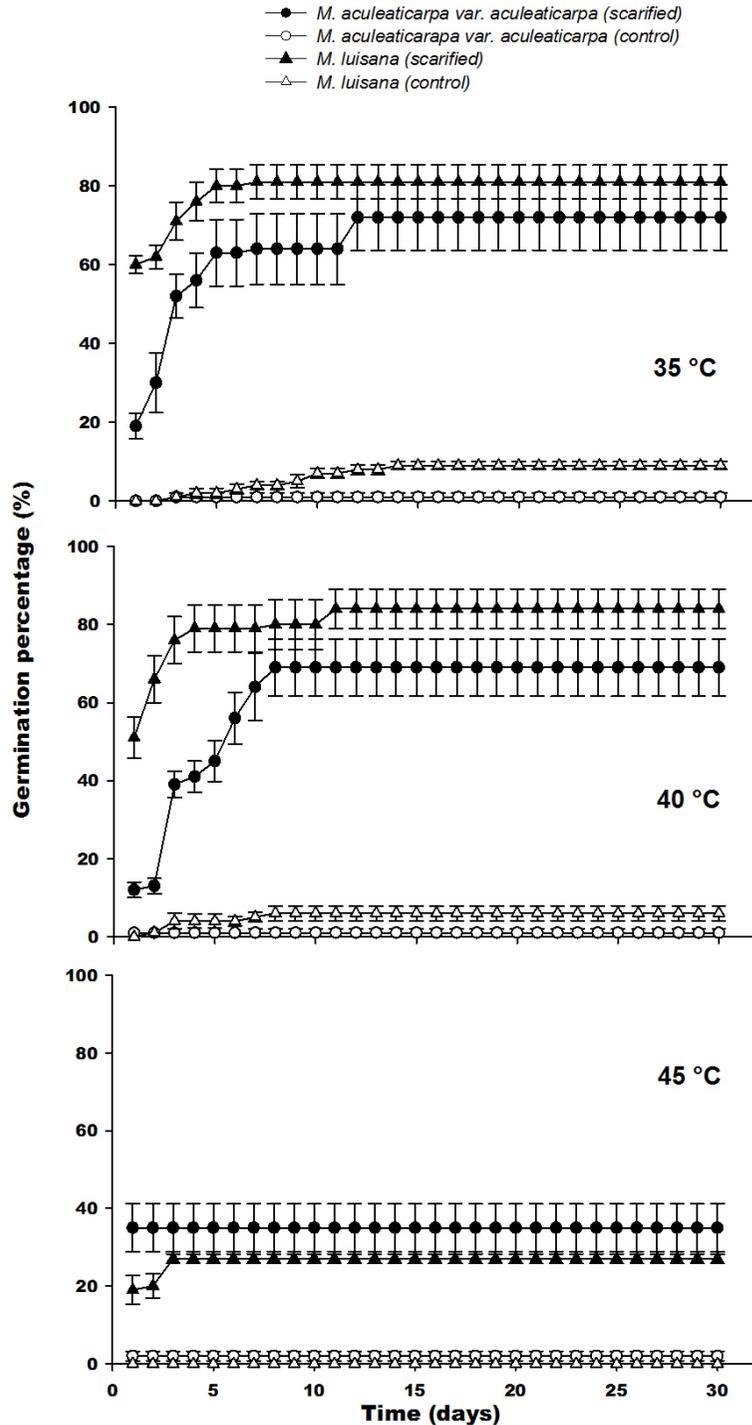


Figure 3. Seed Germination Percentage (PG \pm SE) of two *Mimosa* taxa along a temperature gradient 35 – 45 °C.

seed germination (PG), and suggesting that the presence of more than one bruchid species per plant, may be related to a reproductive strategy (Westoby *et al.*, 1992): a high percentage of bruchid-infestation leads to a high GR. It is possible that in nature, bruchids act as the “natural” seed mechanical scarificators, as it happens in other plant species with a hard seed coat (Takakura, 2002).

Effect of seed scarification on germination. In general, legumes produce seeds with a waterproof coat that causes physical dormancy (Auld, 1996; Lopez *et al.*, 1999; Van Klinken and Flack, 2005), which restricts seed germination under natural conditions (D’Aubeterre *et al.*, 2002). According to Lonsdale (1993), Gehan-Jayasuriya *et al.* (2013), and Van Klinken and Goulier (2013), seeds of *Mi-*

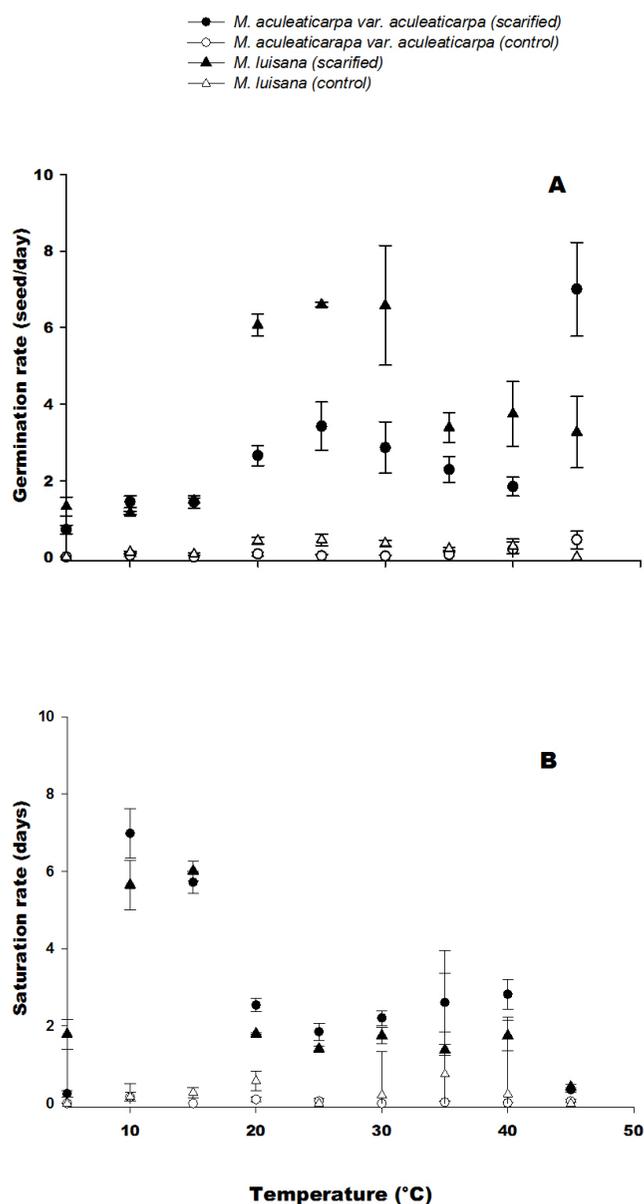


Figure 4. A. Germination Rate (GR - \pm SE) of two *Mimosa* taxa along a temperature gradient; B. Saturation Rate (SR - \pm SE) of two *Mimosa* taxa along a temperature gradient.

Mimosa species present physical dormancy and, because the seed coat has one or more impermeable layers of palisade cells, a physiological dormancy is also possible (Baskin *et al.*, 2000). Therefore, scarification is necessary to promote seed germination (Camargo-Ricalde and Grether, 1998; Gehan-Jayasuriya *et al.*, 2013). Different seed scarification methods have been documented for *Mimosa* species (De Souza-Araújo and De Castro-Andrade, 1983; Camargo-Ricalde and Grether, 1998; Martínez-Pérez *et al.*, 2006; Silveira and Fernandes, 2006). However, De Souza-Araújo and De Castro-Andrade (1983), Camargo-Ricalde and Grether (1998), González-Castañeda *et al.* (2004), Mar-

tínez-Pérez *et al.* (2006), Chauhan and Johnson (2008), and Gehan-Jayasuriya *et al.* (2013), have demonstrated that mechanical scarification is the most appropriate technique for breaking seed dormancy of *Mimosa* species, since mechanically scarified seeds are able to reach the highest germination rates (GR) in comparison to other methods that, positively, damage the embryo and seedling development (*i.e.* chemical scarification, heat shock, etc.). In this study, mechanically scarified seeds reached high germination percentages (over 70 %) for both taxa; while, unscarified seeds only achieved 0-12 %. In nature, even if seed germination is low, *Mimosa* seed scarification occurs by different mechanisms such as changes in daily temperature, incomplete predation by insects as bruchids (Orozco-Almanza *et al.*, 2003; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004), damage caused by soil microorganisms, abrasion by soil particles and fire (Baskin *et al.*, 1998; Taylor, 2005), and animal ingestion (*i.e.* goats, Baraza and Valiente-Banuet, 2008; Giordani, 2008).

However, it is important to mention that control seeds (unscarified seeds) should not be manipulated because the seed coat could be damaged, biasing the results. For instance, Martínez-Pérez *et al.* (2006) soaked control seeds of four species, including *M. aculeaticarpa*, in water/24 h, reaching *ca.* 60 % germination; almost the same germination behavior as the treated seeds from this study. Thus, control seeds should not be manipulated in any way.

Different assays (*i.e.* Camargo-Ricalde and Grether, 1998; Martínez-Pérez *et al.*, 2006; Leal and Biondi, 2007) confirm that *Mimosa* species have fast seed germination, which takes place within the first-fourth day after sowing; however, germination rate (GR) is related to temperature. This characteristic is also intrinsic to pioneer and invasive species (Lonsdale, 1999), and an important feature for plants with ecological restoration potential such as *M. luisana* (Camargo-Ricalde *et al.*, 2004) and *Mimosa aculeaticarpa* Ortega var. *biuncifera* (Benth.) Barneby (Pavón *et al.*, 2011).

Temperature effects on seed germination. *Mimosa* is a neotropical genus (Barneby, 1991; Simon *et al.*, 2011), growing in places where temperature oscillates between 0 and 35 °C (Cavalcante and Perez, 1995); temperatures that are consistent with this and other studies around the world (*i.e.* Moreno-Casasola, 1973; Parra, 1984; Creager, 1992; Ferreira *et al.*, 1992; Camargo-Ricalde and Grether, 1998; Camargo-Ricalde, 2000; Ursulino-Alves *et al.*, 2002; Orozco-Almanza *et al.*, 2003; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Rivera-Aguilar *et al.*, 2005; Silveira and Fernandes, 2006; Cruz-Medina and Orozco-Almanza, 2010), which have defined ranges and optimum seed germination temperatures of 25 *Mimosa* species. Hence, *Mimosa* seeds are able to germinate between 0 and 45 °C; though, the optimum temperature (OT) registered for the two taxa studied here is 25 °C.

In this context, it is important to note that Cavalcante

and Perez (1995) suggested that tropical species can tolerate high temperatures, usually ≥ 35 °C. On the other hand, when seeds were exposed to cold temperatures (≤ 5 °C), germination took place since *Mimosa* species did not slow their metabolic rate (Hendricks and Taylorson, 1976).

In general, in *Mimosa* species, temperature is not a limiting factor for seed germination, showing, as well, a fast GR, a high PG, and a fast growth (Camargo-Ricalde and Grether, 1998). These characteristics may explain why *Mimosa* species may be dominant or co-dominant elements within the plant communities where they occur; for instance, within arid and semi-arid ecosystems (Camargo-Ricalde *et al.*, 2002). Since ecosystems could expand or contract in reaction to plant species tolerance to an increase or decrease in temperature, the response of seed germination to scarification and temperature fluctuation is important to determine (Parmesan and Yohe, 2003). In this case, as both taxa of *Mimosa* are able to germinate from 5 to 45 °C, their populations may possibly be able to expand or contract in accompaniment with the ecosystems where they occur (*i.e.* temperate forest and arid tropical scrub).

Effect of temperature on the germination rate (GR) and the saturation rate (SR). Both taxa registered a high GR: 3.4 seeds/day for *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (25 °C), and 6.6 seeds/day for *M. luisana* (25-30 °C). Although, Carvalho and Nakagawa (2000) suggested that higher temperatures made seeds germinate faster due to an increase in water absorption speed and metabolic reactions. However, in the case of *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, when temperature was above 25 °C, the number of germinated seeds decreased daily; although, the GR increased at 45 °C. According to Baskin *et al.* (2000), this behavior may be the result of a temperature pulse that breaks the physiological dormancy.

Furthermore, when studying *Mimosa hostilis* (C.Mart.) Benth. (= *Mimosa tenuiflora*), De Souza-Araújo and De Castro-Andrade (1983) reported that the GR of scarified seeds showed a direct relationship with the PG, and these results are consistent with the results presented here.

The unscarified seeds of both *Mimosa* taxa had a GR of 0-0.45 seed/day. The highest value was achieved at 45 °C for *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, and 20-25 °C for *M. luisana*.

Regarding the SR, both *Mimosa* taxa studied required one to two days to germinate at 25 °C, after sowing, reaching a high germination percentages; whereas, the number of days for seed germination increases at temperatures under 25 °C, due to a decrease in seed metabolism (Amaral and Paulilo, 1992). The study carried out by Pavón *et al.* (2011) on the germination of scarified seeds of *M. aculeaticarpa* var. *biuncifera*, confirmed the inverse relationship between GR and SR: while GR increased, SR decreased. However, this inverse relationship was not found when comparing

unscarified seeds, where no significant differences were found neither among temperatures nor species.

Finally, if part of the success of a plant species is focused on its tolerance to the temperature factor, the overall results suggest that both *Mimosa* taxa may be able to succeed under different thermal scenarios. However, more studies are needed to understand how other climatic factors, such as different levels of precipitation and CO₂ concentrations, may affect the seed germination behavior of plant species.

Conclusions

Seeds of *Mimosa*, like those of other legumes, have a hard and impermeable coat. To germinate, these seeds require scarification, and mechanical scarification is the best method, as neither the embryo axis nor the seedling is damaged. A comparison between healthy seeds and those preyed by bruchids is also relevant, since these insects are considered natural controls of *Mimosa* species populations.

Our hypothesis was confirmed: seeds of the two *Mimosa* taxa studied germinated according to the typical temperatures to their habitats, and both taxa showed tolerance to a wide thermal scenario. Furthermore, in this study, because seeds of both *Mimosa* taxa are capable to germinate under a wide range of temperatures, their populations may possibly be able to expand or contract in accompaniment with the ecosystems where they occur.

Currently, both *Mimosa* taxa may be used in ecological restoration programs. As Mexican native taxa, they favor successional processes leading to the restoration of their original ecosystems, respectively. We propose that: (i) In temperate forests (Mexican mesic ecosystems), *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* would restore environments where the temperature is never below 5 °C or above 45 °C, and (ii) In the arid tropical scrub (dry ecosystem), *M. luisana* seeds would germinate in a wider range of temperatures, suggesting that this narrow endemic species is a good option for the restoration of the semi-arid ecosystem at the Valley of Tehuacán-Cuicatlán, Mexico.

Acknowledgements

S. A. Montañó-Arias wishes to thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)-México (228993/211528) for the grant to pursue a doctoral degree in the Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana. The authors wish to express their appreciation to Jesús Romero-Nápoles, Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, for determining bruchid specimens (Insecta, Coleoptera), and to Jennifer Bain, Instituto de Biología, UNAM, for the technical revision of the English version. We also thank the anonymous reviewers who improved our manuscript.

Literature cited

- Ursulino-Alves E., Cesar P.R., Pereira O.A., Alcântara B.R. and Araújo D.E. 2002. Germinação de sementes de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. em diferentes substratos e temperaturas. *Revista Brasileira de Sementes* **24**:169-178.
- Amaral L.I.V. and Paulilo M.T.S. 1992. Efeito da luz, temperatura, regulador de crescimento e nitrato de potássio na germinação de *Miconia cinnamomifolia* Naudim. *Insula* **21**:59-86.
- Auld T.D. 1996. Ecology of the Fabaceae in the Sydney region: fire, ants and the soil seedbank. *Cunninghamia* **4**:531-551.
- Baraza E. and Valiente-Banuet A. 2008. Seed dispersal by domestic goats in a semiarid thornshrub of Mexico. *Journal of Arid Environments* **72**:1973-1976.
- 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.
- Baskin C.C. 2003. Breaking physical dormancy in seeds - focusing on the lens. *New Phytologist* **158**:229-232.
- Baskin J.M., Baskin C.C. and Li X. 2000. Taxonomy, ecology, and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology* **15**:139-152.
- Baskin J.M., Nan X. and Baskin C.C. 1998. A comparative study of seed dormancy and germination in an annual and a perennial species of *Senna* (Fabaceae). *Seed Science Research* **8**:501-512.
- Bewley J.D. and Black M. 1994. *Seeds: physiology of development and germination*. Springer, New York.
- Camargo-Ricalde S.L. and Grether R. 1998. Germinación, dispersión y establecimiento de plántulas de *Mimosa tenuiflora* (Leguminosae) en México. *Revista de Biología Tropical* **46**:1-12.
- Camargo-Ricalde S.L. 2000. Descripción, distribución, anatomía, composición química y usos de *Mimosa tenuiflora* (Fabaceae-Mimosoideae) en México. *Revista de Biología Tropical* **48**:939-954.
- Camargo-Ricalde S.L., Grether R., Martínez-Bernal A., García-García V. and Barrios-del-Rosal S. 2001. Especies útiles del género *Mimosa* (Fabaceae-Mimosoideae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **68**:33-44.
- Camargo-Ricalde S.L., Dhillion S.S. and Grether R. 2002. Community structure of endemic *Mimosa* species and environmental heterogeneity in a semi-arid Mexican valley. *Journal of Vegetation Science* **13**:697-704.
- Camargo-Ricalde S.L. and 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. and García-García V. 2004. Phenology, and seed production and germination of seven endemic *Mimosa* species (Fabaceae- Mimosoideae) of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* **58**:423-437.
- Camargo-Ricalde S.L., Reyes-Jaramillo I. and Montaña N.M. 2010a. Forestry insularity effect of four *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) on soil nutrients of a Mexican semi-arid ecosystem. *Agroforestry Systems* **80**:385-397.
- Camargo-Ricalde S.L., Montaña N.M., Reyes-Jaramillo I., Jiménez-González C. and Dhillion S.S. 2010b. Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Trees* **24**:67-78.
- Carvalho N.M. and Nakagawa J. 2000. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 4. ed. Jaboticabal: Funep.
- Cavalcante A.M. and Perez S.C.J.A. 1995. Efeitos da temperatura sobre a germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Revista Brasileira de Sementes* **17**:1-8.
- Chauhan B.S. and Johnson D.E. 2008. Seed germination and seedling emergence of giant sensitive plant (*Mimosa invisa*). *Weed Science* **56**:244-248.
- Creager R.A. 1992. Seed germination, physical and chemical control of catclaw mimosa (*Mimosa pigra* var. *pigra*). *Weed Technology* **6**:884-891.
- Cruz-Medina D. and Orozco-Almanza S. 2010. Germinación de ocho especies de la familia Fabaceae, bajo diferentes regímenes de temperatura. VII Simposio Internacional sobre la flora silvestre en zonas áridas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México Trabajo en extenso: 197-215 pp.
- D'Aubeterre R., Principal J. and García J. 2002. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de tres especies del género *Prosopis*. *Revista Científica* **12**:575-577.
- De Souza-Araújo M. and De Castro-Andrade G. 1983. Métodos para superar a dormência tegumentar em sementes de *Jurema-preta* (*Mimosa hostilis* Benth.). *Boletim de Pesquisa Florestal* **6**:7:26-32.
- Dhillion S.S., Aguilar-Støen M. and Camargo-Ricalde S.L. 2004. Integrative ecological restoration and local involvement in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Environmental Conservation* **13**:1-3.
- Enríquez-Peña E., Suzán-Azpiri H. and Malda-Barrera G. 2004. Viabilidad y germinación de semillas de *Taxodium mucronatum* (Ten.) en el estado de Querétaro, México. *Agrociencia* **38**:357-381.
- Ferreira A.G., Lipp-Joao K.H. and Heuser E.D. 1992. Efeitos de escarificação sobre a germinação e do pH no crescimento de *Acacia bonariensis* Gill e *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* **4**:63-65.
- Fontúrbel R.F. 2002. Rol de la coevolución planta-insecto en la evolución de las flores cíclicas en las angiospermas. *Ciencia Abierta* **17**:1-11.
- Giordani L. 2008. The role of goats in germination and dispersal of *Mimosa luisana* Brandege (Leguminosae-Mimosoideae) seeds in the Tehuacán-Cuicatlán valley, Puebla State, Mexico. Master Thesis, Norwegian University of life Sciences, Norway, 24 pp.
- González-Castañeda J., Angoa-Pérez M.V., Frías-Hernández J.T., Olalde-Portugal V., Flores-Ancira E., Terrones-Rincón T.R., Van Cleemput O. and Dendooven L. 2004. Germination of seeds of huisache (*Acacia schaffneri*) and catclaw (*Mimosa monanctistra*) as affected by sulphuric acid and mechanical scarification and subsequent growth and survival in a greenhouse and field experiment. *Seed Science and Technology* **32**:727-738.
- Grether R., Camargo-Ricalde S.L. and Martínez-Bernal A. 1996. Especies del género *Mimosa* (Leguminosae) presentes en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**:149-152.
- Hendricks S.B. and Taylorson B. 1976. Variation in germination and amino acid leakage of seeds with temperature related to membrane phase change. *Plant Physiology* **58**:7-11.
- Hintze J. 2001. NCSS 2001. NCSS, LLC. Kaysville, Utah, USA. www.ncss.com.
- Gehan-Jayasuriya G.M., Wijetunga A.S.T.B., Baskin J.M. and Baskin C.C. 2013. Seed dormancy and storage behavior in

- tropical Fabaceae: a study of 100 species from Sri Lanka. *Seed Science Research* **23**:257-269.
- Leal L. and Biondi D. 2007. Comportamiento germinativo de semillas de *Mimosa dolens* Vell. *Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias* **13**:37-43.
- Lonsdale W. M. 1993. Losses from the seed bank of *Mimosa pigra*: soil micro-organisms vs. temperature fluctuations. *Journal of Applied Ecology* **30**:654-660.
- Lonsdale W.M. 1999. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology* **80**:1522-1536.
- Lopez J., Devesa J.A., Ruiz T. and Ortega-Olivencia A. 1999. Seed germination in *Genistea* (Fabaceae) from South-West Spain. *Phyton* **39**:107-129.
- Martínez-Pérez G., Orozco-Segovia A. and Martorell 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.
- Matilla A. 2004. Ecofisiología de la germinación de semillas. In: Sánchez A., Reigosa-Roger M.J. y Pedroí-Bonjoch N. *La ecofisiología Vegetal: Una ciencia de síntesis*. pp. 901-922. Thomson-Paraninfo, España.
- Moreno-Calles A.I. and Casas A. 2010. Agroforestry systems: restoration of semiarid zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecological Restoration* **28**:361-368.
- Moreno-Casasola P. 1973. Estudio sobre viabilidad y latencia de semillas de árboles tropicales. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 78 pp.
- Oloff H., Pegtel D.M., Van Groenendael J.M. and Bakker J.P. 1994. Germination strategies during grassland succession. *Journal of Ecology* **82**:69-77.
- Orozco-Almanza M. S., Ponce de León-García L., Grether R. and García-Moya E. 2003. Germination of four species of the genus *Mimosa* (Leguminosae) in a semi-arid zone of Central Mexico. *Journal of Arid Environments* **55**:75-92.
- Parmesan C. and Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**:37-42.
- Parra G.P. 1984. Estudio de la morfología externa de plántulas de *Calliandra gracilis*, *Mimosa albida*, *Mimosa arenosa*, *Mimosa camporum* y *Mimosa tenuiflora*. *Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay)* **13**:311-350.
- Pavón N.P., Ballato-Santos J. and Pérez-Pérez C. 2011. Germinación y establecimiento de *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Fabaceae-Mimosoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**:653-661.
- Piedrahita-Cardona E. 1997. Germinación de semillas de *Jacaranda copaia* bajo condiciones contrastantes de luz. *Crónica forestal y del medio ambiente* **12**:1-4.
- Piedrahita-Cardona E. 1998. Aumento del vigor en semillas de *Pinus patula* (Schlecht. & Cham.) por el efecto de osmocondicionamiento. *Crónica forestal y del medio ambiente* **13**:1-21.
- Rivera-Aguilar V., Godínez-Álvarez H., Manuell-Cacheux I. and Rodríguez-Zaragoza S. 2005. Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions. *Journal of Arid Environments* **63**:344-352.
- Romero-Nápoles J., Grether R., Camargo-Ricalde S.L. and Johnson C.D. 2005. Método para la evaluación de daño de semillas por brúquidos (Insecta, Coleoptera), en el campo con nuevos registros de hospederos y distribución para el grupo. *Entomología Mexicana* **4**:107-111.
- Silveira F.A.O. and Fernandes G.W. 2006. Effect of light, temperature and scarification on the germination of *Mimosa foliolosa* (Leguminosae) seeds. *Seed Science and Technology* **34**:585-592.
- Simon M.F., Grether R., de Queiroz L.P., Särkinen T.E., Dutra V.F. and Hughes C.E. 2011. The evolutionary history of *Mimosa* (Leguminosae): towards a phylogeny of the sensitive plants. *American Journal of Botany* **78**:1201-1221.
- Skogen K.A., Senack L. and Holsinger K.E. 2010. Dormancy, small seed size and low germination rates contribute to low recruitment in *Desmodium cuspidatum* (Fabaceae). *Journal of the Torrey Botanical Society* **137**:355-365.
- Sokal R.R. and Rohlf F.J. 1995. *Biometry*. W.H. Freeman, Nueva York.
- Takakura K. 2002. The specialist seed predator *Bruchidius dorsalis* (Coleoptera: Bruchidae) plays a crucial role in the seed germination of its host plant, *Gleditsia japonica* (Leguminosae). *Functional Ecology* **16**:252-257.
- Taylor G.B. 2005. Hardseededness in Mediterranean annual pasture legumes in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* **56**: 645-661.
- Valiente-Banuet A. and Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Ecology* **79**:961-971.
- Valiente-Banuet A., Vite F. and Zavala-Hurtado J.A. 1991. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Vegetation Science* **2**:11-14.
- Van Assche J.A., Debucquoy K.L.A. and Rommens W.A.F. 2003. Seasonal cycles in the germination capacity of buried seeds of some Leguminosae (Fabaceae). *New Phytologist* **158**:315-323.
- Van Klinken R.D. and Flack L. 2005. Wet heat as a mechanism for dormancy release and germination of seeds with physical dormancy. *Weed Science* **53**:663-669.
- Van Klinken R.D. and Goulier J-B. 2013. Habitat-specific seed dormancy-release mechanisms in four legume species. *Seed Science Research* **23**:181-188.
- Venier P., Funes, G. and Carrizo-García C. 2012. Physical dormancy and histological features of seeds of five *Acacia* species (Fabaceae) from xerophytic forests in central Argentina. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* **207**:39-46.
- Weng J-H. and Hsu F-H. 2006. Variation of germination response to temperature in Formosan lily (*Lilium formosanum* Wall.) collected from different latitudes and elevations in Taiwan. *Plant Production Science* **9**:281-286.
- Westoby M., Jurado E. and Leishman M. 1992. Comparative evolutionary ecology of seed size. *Trends in Ecology and Evolution* **7**:368-372.

Received: March 19th, 2014

Accepted: August 6th, 2014

CAPÍTULO IV

Análisis ecoanatómico de la madera de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* (Leguminosae-Mimosoideae)

Ecological anatomy of the wood of Mimosa aculeaticarpa var. aculeaticarpa and M. luisana (Leguminosae-Mimosoideae)

INTRODUCCIÓN

Los estudios ecoanatómicos permiten analizar la estructura interna de las plantas con el fin de conocer su variación frente a los cambios ambientales y encontrar relaciones que pueden ser consideradas estrategias adaptativas (Araque y León, 2006; Polanco y Grande, 2009; Figueroa *et al.*, 2011).

Al respecto, se ha analizado el efecto de algunos parámetros como la disponibilidad de agua, estacionalidad, latitud, longitud, y altitud sobre los caracteres anatómicos de la madera; por ejemplo, el diámetro de los vasos y el número de vasos por superficie (mm²) con la altitud (Baas, 1973; Barajas-Morales, 1985; Fisher *et al.*, 2007), y la longitud de los elementos de vaso con la disponibilidad de agua (Giménez *et al.*, 2012; Lindorf, 1994; Parra, 2010).

De acuerdo con Jono (2009), los estudios ecoanatómicos muestran la plasticidad de las plantas en la organización anatómica de la madera que les permite sobrevivir en lugares con condiciones contrastantes, sobre todo, en taxa de amplia

distribución. Sin embargo, las variaciones ambientales pueden ocurrir a diferentes escalas e influir en el crecimiento y, por consiguiente, en la anatomía de la madera (Luchi, 1998). En los últimos años, los estudios anatómicos de la madera han adquirido relevancia, debido a que aportan información sobre el comportamiento de los taxa y pueden predecir sus respuestas ante cambios ambientales (cambio climático). Este tipo de estudios han sido realizados, principalmente, en taxa arbóreos, muchos de ellos pertenecientes a la familia Leguminosae (de Lima *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2011).

Las leguminosas son una de las cinco familias más diversas que existen en el mundo y en México (Rzedowski, 1991; Sosa y Dávila, 1994). Asimismo, son uno de los elementos dominantes o co-dominantes de las zonas áridas y semiáridas mexicanas (De la Barrera y Andrade, 2005). Por su parte, *Mimosa* es el género más diverso de Mimosoideae en el país con ca. 110 taxa distribuidos desde las zonas templadas hasta las zonas áridas y semiáridas (Grether *et al.*, 1996).

Por lo anterior y considerando la relevancia biológica y ecológica de algunos taxa de *Mimosa* (Camargo-Ricalde *et al.*, 2001; Camargo-Ricalde *et al.*, 2002; Camargo-Ricalde *et al.*, 2010 a, b), resulta importante evaluar sus posibles respuestas adaptativas a nivel de la madera, con la finalidad de estimar su resistencia y tolerancia a cambios en la precipitación.

ANTECEDENTES

A nivel mundial, se ha estudiado la anatomía de la madera de 41 taxa de *Mimosa* de ca. 520 (Simon *et al.*, 2011); aunque, en México, existen ca. 68 taxa leñosos, de los cuales sólo 12 han sido estudiados. La mayoría de estos trabajos están enfocados solamente en describir la anatomía de la madera (Cozzo y Cristiani, 1950; Cozzo, 1951; Heringer y De Paula, 1979; 1996; Maccari y Marchiori, 1994; Marchiori, 1982, 1985, 1993; Marchiori y Muñiz, 1997) y, unos cuantos, en determinar los caracteres que pudiesen ayudar a resolver problemas de índole taxonómico dentro de la clasificación del género (Baretta-Kuipers, 1981; Chehaibar y Grether, 1990; Montaña-Arias, 2010). Más aún, la información que proporcionan dichos estudios también es útil en estudios ecoanatómicos.

La ecoanatomía es la asociación de los caracteres anatómicos de los taxa con relación a su hábitat (Montaña-Arias *et al.*, 2011). Los análisis con un enfoque ecoanatómico permiten estimar la respuesta de los taxa a distintos factores ambientales (P. ej. precipitación). No obstante, estos estudios son escasos, particularmente los del género *Mimosa* (Montaña-Arias *et al.*, 2013).

Considerando los escenarios climáticos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), se espera que haya modificaciones en los regímenes de temperatura y precipitación (Christensen *et al.*, 2007), los cuales variarán ampliamente de una región a otra, principalmente, en zonas tropicales con clima semiárido y templado (Cline, 2007). Bajo esta premisa, resulta relevante la realización de estudios ecoanatómicos, ya que proporcionan información básica que

permitiría relacionar a los taxa con su hábitat y, al mismo tiempo, llevar a cabo inferencias (P. ej. cambios morfofisiológicos) relacionadas con el aumento o disminución de ciertos parámetros climáticos (P. ej. precipitación) con la distribución de dichos taxa vegetales.

Por ejemplo, en las regiones con clima árido y semiárido, donde el agua es uno de los factores limitantes para el establecimiento de las plantas, se ha evaluado la respuesta de los caracteres anatómicos de la madera a variaciones ambientales mediante análisis de tipo ecoanatómico (Arias y Terrazas, 2001; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006; Bernal-Salazar y Terrazas, 2000; Chávez-Romero *et al.*, 2010; De Lima *et al.*, 2009; Moya y Tomazello, 2008; Sidiyasa y Baas, 1998); sin embargo, todavía falta estudiar gran parte de los taxa vegetales que habitan estas regiones, principalmente, a las leguminosas (De la Barrera y Andrade, 2005).

Al respecto, la anatomía de la madera se ha descrito para varios géneros de leguminosas como: *Caesalpinia* L., *Dalbergia* L., *Geoffraea* L., *Indigofera* L., *Sophora* L., *Tipuana* Benth. (Cozzo y Cristiani, 1950); *Acacia* Mill., *Albizzia* Durraz., *Calliandra* Benth., *Enterolobium* Benth., *Leucaena* Benth., *Pithecellobium* Mart. (Cozzo, 1951); *Bossiaea* Vent., *Templetonia* R.Br., *Pultenaea* Sm. (Carlquist, 1977); *Mimosa* L. (Marchiori, 1996); *Erytrina* L., *Prosopis* L. (Moglia y Giménez, 1998), *Campsiandra* Benth., y *Dimorphandra* Schott. (Espinoza de Pernía y Melandri, 2006). Aunque, los estudios ecoanatómicos de leguminosas son escasos.

Algunos resultados parciales relacionan el hecho de que algunos taxa que viven en climas secos como *Acacia burkittii* (F. Muell.) Benth., *A. sowdenii* Maiden, *A. tetragonophylla* F. Muell., *Hovea elliptica* (Sm.) DC., (Carlquist, 1977), *Acacia caven* (Mol.) Mol., *Prosopis vinalillo* Stuck. (Moglia y Giménez, 1998), y *Geoffroea decorticans* Burkart (Giménez, 2004), presentan el mismo tipo de madera, mesomórfica, de acuerdo con Carlquist (1977), este término se refiere aquella madera que presenta características que le confieren un mayor grado de vulnerabilidad al estrés hídrico. Asimismo, la madera mesomórfica también se ha observado en taxa de clima templado como *Pseudopiptadenia contorta* (DC) G.P. Lewis y M.P. Lima (Ribeiro y Barros, 2006); no obstante, la madera de los taxa en ambos ambientes presenta características xeromórficas, es decir, con adaptaciones a ambientes secos, entre ellas destacan: la presencia de un mayor número de vasos, de diámetro pequeño y longitud corta, vasos agrupados, placas de perforación simple, y punteaduras intervasculares ornamentadas, entre otras, que les proporcionan seguridad en la conducción y la optimización de la escasa agua disponible (Zimmerman, 1983 en: Carlquist, 2001).

En el caso del género *Mimosa* (Mimosoideae), solamente existe un estudio de tipo ecoanatómico (Montaño-Arias *et al.*, 2013) en el que se analizan los elementos de vaso de cinco taxa: *M. bahamensis* Benth. *M. hexandra* M. Micheli., *M. leucaenoides* Benth., *M. tejupilcana* R. Grether y A. Martínez-Bernal y *M. tenuiflora* (Willd.) Poir., concordando con lo determinado para los taxa de leguminosas anteriormente mencionadas, ya que las mimosas también presentan una madera

mesomórfica con características xeromórficas. Aunque es imposible generalizar, cabe señalar que los taxa de leguminosas de zonas secas, incluyendo los del género *Mimosa*, se consideran taxa vulnerables a la sequía; aunque, poseen un xilema adaptado para resistir periodos de escasez de agua y sobrevivir en esos ambientes (Montaño-Arias *et al.*, 2013).

El análisis de las características anatómicas como son: la presencia de un mayor número de vasos, de diámetro pequeño y longitud corta, vasos agrupados, placas de perforación simple, y punteaduras intervasculares ornamentadas, entre otras, provee información acerca de la vulnerabilidad de la planta a la sequía; no obstante, Carlquist (1975) estableció dos índices para calcular dicha vulnerabilidad: *i*) el Índice de Vulnerabilidad (IV), el cual se obtiene dividiendo el promedio del diámetro de los elementos de vaso entre el número de vasos por mm². El valor de IV inferior a 1 corresponde a un taxon resistente al estrés hídrico y un IV superior a la unidad, indica que es vulnerable y, *ii*) el Índice de Mesomorfía (IM), este índice se obtiene multiplicando el valor de IV por el promedio de la longitud de los elementos de vaso; dónde un IM>200 indica mesomorfía y uno inferior, xeromorfía.

De acuerdo con Moglia y López (2001), los taxa que habitan en ambientes áridos y semiáridos deben estar preparadas para asegurar la conducción y disminuir el riesgo de embolia (entrada de aire a los vasos) por una pérdida de presión hídrica debida a la escasa cantidad de agua en el sitio; por lo que se esperaría que este tipo de plantas presentara una madera xeromórfica y, por lo tanto, que fuera resistente a la sequía.

Por lo tanto, para llevar a cabo un estudio ecoanatómico que estime la resistencia y tolerancia de los taxa vegetales a modificaciones en los regímenes de precipitación, es necesario considerar las siguientes características: número de vasos por superficie (mm^2), diámetro tangencial, presencia de vasos agrupados; así como el grosor de la pared secundaria y longitud de los elementos de vaso, tipo de placa de perforación, tipo de punteadura intervascular, tipo de estructura de la membrana de la punteadura (grosor y porosidad), grosor y longitud de la fibra, entre otros; ya que de acuerdo con Baas (1973), Carlquist, (1975, 2001), de Lima *et al.* (2009), Chávez-Romero *et al.* (2010), Choat *et al.* (2004), León (2001), Yaman (2008) y Zweypfenning (1978) estas características son las que proporcionan información sobre las estrategias de los taxa para conducir de forma segura el agua disponible y optimizarla.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo es la anatomía de la madera de dos taxa de *Mimosa* distribuidas en México?

¿Cuáles son las estrategias adaptativas de *M. aculeaticarpa* Ortega var. *aculeaticarpa*, que habita en un bosque templado, y de *M. luisana* Brandegees, que habita en un matorral xerófilo?

HIPÓTESIS

Si los caracteres anatómicos de la madera como: el número de vasos por superficie (mm^2), diámetro tangencial del vaso, presencia de vasos agrupados; grosor de la pared y longitud de los elementos de vaso, tipo de placa de perforación, tipo de punteadura intervascular, tipo de estructura de la membrana de la punteadura (grosor y porosidad), grosor y longitud de la fibra están influenciados por la disponibilidad de agua; entonces, se espera que los elementos anteriormente mencionados difieran entre la madera de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y la de *M. luisana* por habitar sitios con diferentes condiciones ambientales.

OBJETIVO

Describir y comparar la anatomía de la madera de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* procedentes de sitios con diferentes condiciones ambientales, con la finalidad de conocer el papel que juega la disponibilidad de agua y sus estrategias adaptativas para resistir los cambios en la precipitación.

MÉTODOS

Diseño experimental

Se eligieron dos taxa arbóreos, endémicos de México, que crecen en condiciones ambientales contrastantes. De acuerdo con Grether *et al.* (2007), *Mimosa aculeaticarpa* var. *acuelaticarpa* presenta una amplia distribución en el país,

estableciéndose tanto en climas secos como templados; mientras que *M. luisana* es un taxon restringido al Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla y Oaxaca, y sólo se establece en climas secos (Martínez-Bernal y Grether, 2006, Cuadro 1).

Para cada sitio de colecta, se registraron las coordenadas geográficas, el tipo de vegetación (Rzedowski, 1978), clima (García, 2004) y datos de los individuos (altura y diámetro del tronco, Cuadro 1). Con la finalidad de tener representada la variabilidad de cada taxa, se recolectaron tres árboles de cada uno con altura y cobertura similar y, se tomaron muestras del tronco a 80 cm del suelo (Cuadro 1).

Análisis Anatómico

Con un micrótomo de deslizamiento American Optical, modelo 860, se cortaron secciones transversales, tangenciales y radiales con grosor de 20 µm; se tiñeron con safranina-verde rápido y se montaron con resina sintética (Johansen, 1940).

Asimismo, se colocaron astillas de la sección radial en un tubo de ensayo con una mezcla, a partes iguales, de ácido acético: ácido láctico: ácido nítrico: glicerina (1:1:1:1), dejándolos incubar por 1-2 semanas en condiciones de luz y temperatura ambiente. Una vez disociado el material, éste se lavó y se hicieron preparaciones temporales para cuantificar la longitud de los elementos de vaso y de fibras, y de las traqueidas vasicéntricas.

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Los ejemplares de referencia y las tablillas correspondientes están depositados en el Herbario Metropolitano (UAMIZ), de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de los sitios de recolección y de los individuos de los taxa de *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae) estudiados, así como el número de registro de herbario y xiloteca (UAMIZ) de los individuos seleccionados.

Taxa	Estado	Coordenadas (Altitud msnm)	Tipo de vegetación	Clima		Hábito	UAMIZ
				Temperatura (Media anual)	Precipitación (mm anuales)	Altura (m)	No. Registro
						DAP cm por individuo	Ejemplar / Tablilla
<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	Michoacán	19°58.218' N; 101°31.664' W (1950)	Bosque de Pino-Encino	Templado		Árbol	71454,
				Suhúmedo		2.5, 2 y 2	71455,
				16.8		4, 5 y 4	71456
				955			288
<i>M. luisana</i>	Puebla	18°15'23.7" N; 97°09'03.3" W (1,140)	Matorral xerófilo	Seco con lluvias		Árbol	63912,
				poco abundantes		1.5, 2 y 2	63913,
				23.8 °C		4, 4.5 y 4	63916
				440.6			216

Anatomía microscópica

Para la descripción y el análisis de los caracteres anatómicos de la madera, se siguió la nomenclatura propuesta por la International Association of Wood Anatomists (IAWA, 1989). Asimismo, los cristales fueron descritos conforme a Chattaway (1956) y la descripción de los radios según Kribs (1968). Se realizaron 25 mediciones para cada carácter de la anatomía de la madera, por individuo, por taxon.

El número de vasos por superficie (mm^2), se contabilizó tomando en cuenta a los vasos solitarios y agrupados. Debido a que en la literatura (P. ej. Marchiori, 1982, 1985) no se aclara como realizar el conteo de vasos/ mm^2 y esto dificulta la comparación entre los taxa, se acordó que en este estudio, cada vaso que conforma a los vasos agrupados, se contabilizara como un vaso solitario. El grosor de la pared del elemento de vaso se midió en corte transversal; el diámetro de la punteadura intervascular y el diámetro del lumen de la punteadura fueron medidos en corte tangencial, siguiendo la clasificación propuesta por Montaña-Arias (2010). Para la longitud del cordón de parénquima, se utilizó la clasificación propuesta para longitud de fibras de la IAWA (1989). Las mediciones se realizaron utilizando un microscopio óptico marca Zeiss, modelo Axiostar-Plus.

El diámetro de los vasos se consideró grande cuanto fue $>200 \mu\text{m}$, mediano entre 100 y $200 \mu\text{m}$ y pequeño $<100 \mu\text{m}$ (IAWA, 1989). Además, el diámetro de los vasos (dv) y el número de vasos/ mm^2 (nv) se emplearon para calcular el Índice de Vulnerabilidad (IV), $IV=dv/nv$; donde un valor inferior a 1 se interpreta como resistente a la sequía (Carlquist, 1977). La longitud del elemento de vaso (lv) y el IV se emplearon para calcular el Índice de Mesomorfía (IM); donde $IM=IV(lv)$, un IM mayor de 200 indica que el xilema es mesomórfico y un IM menor o igual a 75 indica un xilema xerófito (Carlquist, 1977).

Análisis estadísticos

Con el objeto de evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los caracteres evaluados inter-específicamente, los datos obtenidos se examinaron por medio de una *t-Student* ($P \leq 0.05$ - Sokal y Rohlf, 1995). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico NCSS (Hintze, 2001).

RESULTADOS

La madera de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presenta porosidad anular (Figura 1A) y la de *M. luisana* presenta porosidad difusa (Figura 1B). Ambas maderas presentan anillos de crecimiento definidos; en *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* están delimitados por parénquima paratraqueal y vasos de mayor diámetro (Figura 1A). Mientras que en la madera de *M. luisana*, los anillos son más angostos y están delimitados por ocho hileras de fibras engrosadas y dos hileras de parénquima apotraqueal (Figura 1B).

Además, independientemente del tipo de porosidad, la madera de ambos taxa presenta poros numerosos (>16 vasos/ mm^2). Cabe señalar que la madera temprana de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presenta más densidad de vasos por área (mm^2) que la madera tardía (Cuadro 2). Asimismo, tanto la madera temprana como la tardía de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, presentan vasos agrupados en dos, rara vez se encuentran tres (Figura 1A). En el caso de *M. luisana*, se presentan principalmente tres vasos agrupados, pero pueden llegar a presentar hasta seis (Figura 1B).

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Descripción de los elementos de vaso

Ambos taxa presentan paredes de vaso delgadas; aunque, el diámetro tangencial de los vasos difiere. En el caso de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, la madera temprana tiene vasos medianos y en la madera tardía son pequeños, al igual que los de *M. luisana* (Cuadro 2).

Ambos taxa presentaron elementos de vaso cortos. Cabe señalar que en *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, los elementos de vaso de la madera tardía son más largos que los de la madera temprana (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de los elementos de vaso de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* (Leguminosae-Mimosoideae).

<i>Mimosa aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>						
Variables	Media ± desviación estándar		Valor mínimo		Valor máximo	
	<i>Temprana</i>	<i>Tardía</i>	<i>Temprana</i>	<i>Tardía</i>	<i>Temprana</i>	<i>Tardía</i>
Vasos/mm ²	19.44 ± 2.0	16.77 ± 6.7	4	6	30	33
Ø tangencial del vaso (µm)	106.26 ± 5.1	38.3 ± 5.8	55	22.5	152.5	57.5
Grosor de la pared (µm)	4.53 ± 1.2	2.83 ± 0.57	3.3	2.5	6.6	4.1
Longitud de los elementos vaso (µm)	167.5 ± 6.5	193.2 ± 4.0	100	100	237.5	250
<i>Mimosa luisana</i>						
	Media ± desviación estándar		Valor mínimo		Valor máximo	
Vasos/mm ²	35.5± 2.63		22		49	
Ø tangencial del vaso (µm)	50.3± 2.9		25		70	
Grosor de la pared (µm)	7.17± 0.61		5		10	
Longitud de los elementos vaso (µm)	159.1 ± 9.0		50		250	

Asimismo, los dos taxa presentan elementos de vaso con placa de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, areoladas (Figura 1C y D), pero en *M. luisana* son ornamentadas. Entre los taxa, existen diferencias estadísticamente significativas con relación al diámetro de la punteadura intervascular y del lumen de la punteadura, siendo *M. luisana* la que presenta el mayor diámetro (Cuadro 3).

Parénquima axial

Ambos taxa presentaron parénquima paratraqueal abundante y apotraqueal escaso (Figura 1A y B). En el caso de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, la madera temprana posee, esencialmente, parénquima aliforme, pero también presenta aliforme confluyente que une de dos a cuatro vasos, seguidos de parénquima vasicéntrico y unilateral (Figura 1A). Mientras que en la madera tardía, abunda el parénquima vasicéntrico, aliforme confluyente que une de dos a seis vasos, aliforme y unilateral (Figura 1B).

Respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas de dos especies del género *Mimosa* (Leguminosae) ante el cambio climático

Cuadro 3. Estadística descriptiva y t- Student correspondientes a: punteaduras, parénquima, radios y fibras de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *M. luisana* (Leguminosae-Mimosoideae). Continúa

Variables	Taxa	Media ± desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	t- Student (P≤0.05)	
					t	P
Ø de la punteadura intervacular (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	4.76 ± 0.10 ^b	3.12	7.05	4.9680	0.007662
	<i>M. luisana</i>	6.2 ± 0.50 ^a	5	7.5		
Ø del lumen de la punteadura intervacular (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	2.76 ± 0.3 ^b	2.02	3.42	3.3288	0.029139
	<i>M. luisana</i>	3.73 ± 0.50 ^a	2.5	5.0		
Longitud del cordón del parénquima (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	279.08 ± 20.87 ^a	123.4	462.74	8.8392	0.000904
	<i>M. luisana</i>	164.93 ± 8.06 ^b	115	235		
Radios/mm	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	6.71 ± 0.68 ^a	4	10	2.9675	0.041245
	<i>M. luisana</i>	5.20 ± 0.32 ^b	3	8		
Altura de radios (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	236.67 ± 39.73 ^a	90	540	5.4473	0.005516
	<i>M. luisana</i>	107.67 ± 10.19 ^b	55	230		
Anchura de radios (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	17.87 ± 3.15	10	35	0.5346	0.621278 ^{ns}
	<i>M. luisana</i>	19.20 ± 2.96	10	25		
Longitud de fibras (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	674.0 ± 8.06	553.33	830	0.7726	0.482864 ^{ns}
	<i>M. luisana</i>	661.73 ± 31.14	480	890		
Ø del lumen de la fibra (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	7.83 ± 0.11	5	5	2.0612	0.108304 ^{ns}
	<i>M. luisana</i>	6.0 ± 0.16	10	17.5		
Grosor de la pared de la fibra (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	5.83 ± 0.36	3.33	10	1.1329	0.320575 ^{ns}
	<i>M. luisana</i>	5.0 ± 0	5	5		
Longitud de traqueidas vasicéntricas (µm)	<i>M. aculeaticarpa</i> var. <i>aculeaticarpa</i>	668.27 ± 8.81	546.67	800	0.7990	0.469026 ^{ns}
	<i>M. luisana</i>	659.33 ± 26.7	486.67	890		

Los valores seguidos por la misma letra indica que no hubo diferencia significativa, con $P < 0.05$. Ø= Diámetro, ns=no significativo.

El parénquima en la madera de *M. luisana*, primariamente, es aliforme confluyente que une de dos a ocho vasos, seguido de aliforme, vasicéntrico y unilateral. En ambos taxa, las células del parénquima axial forman cordones cortos; sin embargo, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presentó los cordones más largos,

mostrando diferencias estadísticamente significativas con los de *M. luisana* (Cuadro 3). En el caso de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, los cordones están constituidos, por una célula, rara vez se observan dos; mientras que en *M. luisana* están integrados por dos células y, rara vez, se observan una o tres células. Cabe mencionar que únicamente las células del parénquima de *M. luisana* presentaron de 2 a 14 cristales prismáticos, cada uno de ellos ubicado en su cámara.

Descripción de los radios y las fibras

Los dos taxa presentan radios numerosos, pero existen diferencias significativas entre ellos, siendo *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* la que presenta el mayor número de radios/mm y son, esencialmente, uniseriados y, en menor proporción, biseriados (Figura 1C); en *M. luisana* son, principalmente, biseriados y, en menor proporción, uniseriados (Figura 1D).

En ambos taxa, los radios son homogéneos y están compuestos por células procumbentes; son bajos y finos (Figura 1E y F). Estadísticamente, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presenta los radios más altos (Cuadro 3).

Respecto a las fibras, ambos taxa tienen fibras libriformes de longitud corta, diámetro fino y pared delgada. Cabe mencionar que ambos taxa presentaron traqueidas vasicéntricas de longitud corta; sin embargo, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* sólo las presentó en la madera temprana (Cuadro 3).

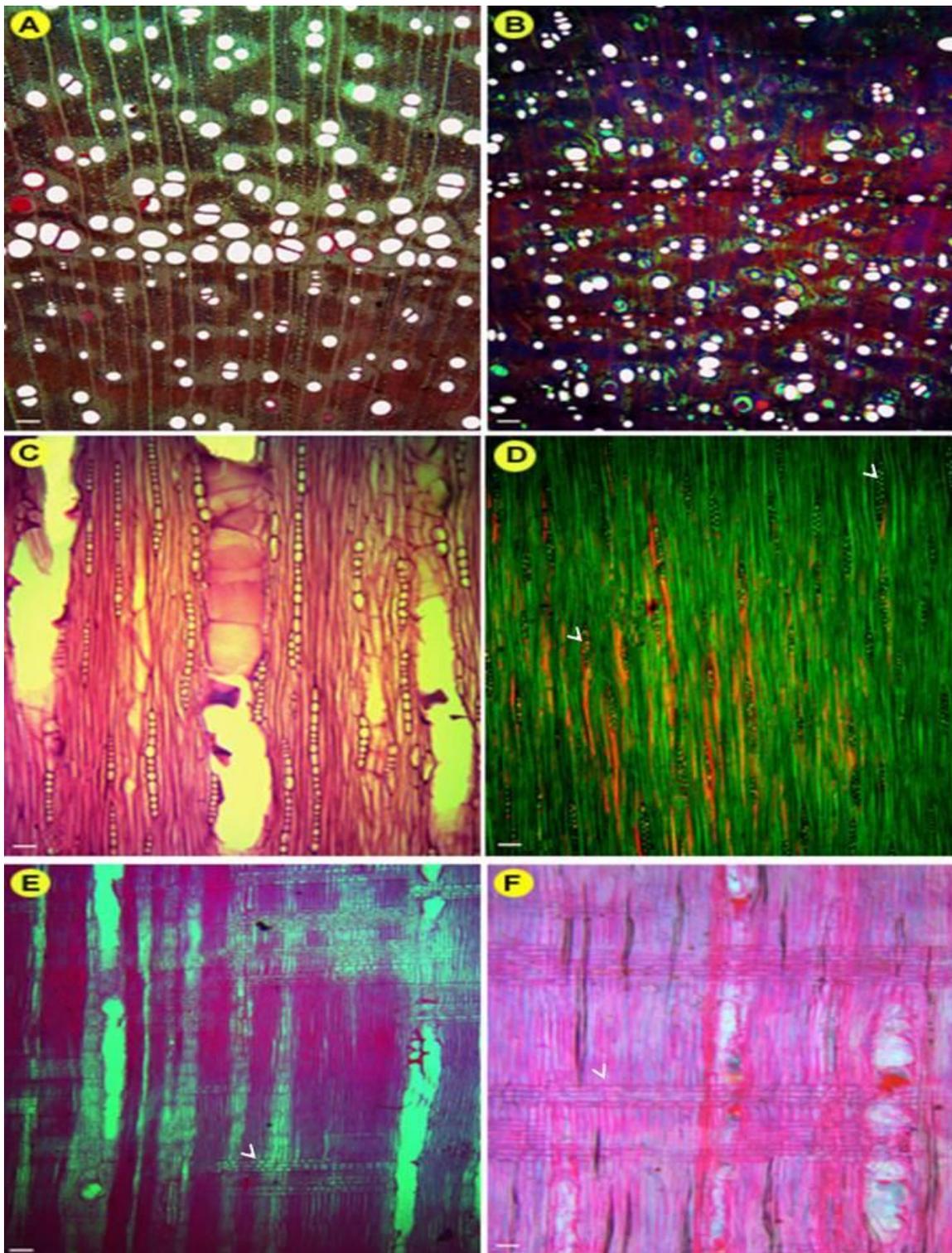


Figura 1. Cortes anatómicos de la madera de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y *Mimosa luisana*. A, C, E, *M. aculeaticarpa*; B, D, F, *M. luisana*; A, B, cortes transversales; C, D, cortes tangenciales; E, F, cortes radiales. Barra: 100 μ m.

Índices de Vulnerabilidad y Mesomorfía

El IV mostró diferencias estadísticamente significativas entre taxa ($t=7.0560$; $P=0.002128$). El valor más alto lo presentó *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (IV=4.05), lo que indica que es la más vulnerable a la sequía; además, es la que presenta el IM superior (729.05). Mientras que los valores más bajos tanto de IV como de IM, corresponden a *M. luisana* (1.42 y 226.71, respectivamente), lo que sugiere que este taxon resiste a la sequía. No obstante, debido a que ambos taxa presentaron un IM superior a 200, se considera que ambos presentan un xilema mesomórfico.

DISCUSIÓN

Las características anatómicas de la madera observadas en ambos taxa de *Mimosa*, están acorde a las ya reportadas para las mimosoideas (Evans *et al.*, 2006) y para el género (Heringer y De Paula, 1979; Maccari y Marchiori, 1994; Marchiori, 1982; 1985; 1996; Montaña-Arias, 2010). No obstante, el análisis en conjunto de los trabajos con los resultados obtenidos, muestran diferencias a nivel infragenérico en cuanto al tipo de porosidad, diámetro y longitud de los elementos vasculares (P. ej. vasos, fibras), y altura de los radios, entre otros, por lo que es posible considerar que estos caracteres están influenciados por el ambiente (León, 2005; Montaña-Arias *et al.*, 2011; Wodzicki, 2001; Woodcock, 1994) y otros como la predominancia de algún tipo de parénquima y la presencia de placas de perforación, son caracteres que de acuerdo con Polanco y Grande (2009) están relacionados con la evolución de las plantas.

Al respecto, la porosidad, ya sea anular o difusa, ha sido asociada con la disponibilidad de agua (Bissing, 1982; Gilbert, 1940, en Moglia y Giménez, 1998). La porosidad anular observada en *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, también ha sido observada en otras taxa como *M. acantholoba* (H. & B. ex Willd.) Poir. var. *eurycarpa* (B.L. Rob.), *M. benthamii* J.F. Macbr. var. *benthamii*, *M. lacerata* Rose y *M. texana* (A. Gray) Small var. *filipes* (Britton & Rose) Barneby (Montaño-Arias, 2010). *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* proviene de un clima cálido-húmedo, con estacionalidad marcada; mientras que *M. acantholoba* var. *eurycarpa*, *M. benthamii* var. *benthamii*, *M. lacerata* y *M. texana* var. *filipes* provienen de climas semisecos, también con estacionalidad marcada (Montaño-Arias, 2010).

De acuerdo con Merino (2009), el hecho de que haya una estacionalidad marcada, favorece el desarrollo de una porosidad anular y, por lo tanto, la diferenciación de madera temprana y madera tardía. Según Woodcock (1994), el significado funcional de la porosidad anular deriva en una conducción rápida en la madera temprana, a través de los vasos de mayor diámetro, y la madera tardía garantiza la seguridad de la columna de agua, mediante sus vasos pequeños. No obstante, en taxa de zonas templadas, es más común observar maderas con porosidad anular que en taxa de regiones áridas o semiáridas (Moglia y Giménez, 1998). Lo anterior, concuerda con los resultados obtenidos, ya que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* fue colectada en una zona húmeda, bosque de pino-encino; mientras que *M. luisana*, fue colectada en una zona semiárida, en un matorral xerófilo, presentando porosidad difusa.

A nivel mundial, se ha estudiado la anatomía de la madera de 41 taxa de *Mimosa*, de los ca. 520 existentes (Simon *et al.*, 2011); de estos 40, el 76% presenta porosidad difusa y, únicamente, el 23% porosidad anular. Al respecto, Gilbert (1940, en Moglia y Giménez, 1998) considera la porosidad difusa como una ventaja para transportar la escasa cantidad de agua existente en el hábitat. Con base en lo anterior, el que predominen los taxa con porosidad difusa en ecosistemas secos, también explica, entre otros factores, el por qué las mimosas llegan a ser uno de los elementos dominantes en estos ambientes.

Por otro lado, ambos taxa presentan vasos numerosos, característica común no sólo de las leguminosas que habitan en sitios secos (Moglia y Giménez, 1998; Silva *et al.*, 1989), sino del género *Mimosa* (Montaño-Arias *et al.*, 2013). Aunque los vasos numerosos son considerados como característicos de los taxa xerófitos (Carlquist y Hoekman, 1985), también se han reportado en taxa de climas fríos (Miller, 1975). De acuerdo con León (2001), un mayor número de vasos está relacionado con el clima, al darse un incremento de la sequía o una disminución de la temperatura del sitio donde se desarrolla la planta; este dato es consistente con los resultados obtenidos, ya que *M. luisana* presentó el mayor número de vasos/mm², siendo un taxon que habita en un sitio cálido seco. Esta tendencia también ha sido observada en otros taxa como *M. cruenta* Benth., *M. daleoides* Benth., *M. leucaenoides* Benth. e incluso en otras mimosoideas como *Acacia macracatha* Benth., *Calliandra gracillis* Klotzsch, *Leucaena trichodes* Benth. y *Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth. que habitan zonas secas (Silva *et al.*, 1989).

De forma adicional, los vasos de la madera temprana de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presentan diámetros medianos al igual que la madera de *M. tenuiflora* (Montaño-Arias, 2010) y, de acuerdo con Carlquist (2001), estos diámetros, favorecen el manejo de grandes cantidades de agua por unidad de tiempo por vaso; por lo que se sugiere que este taxon está adaptado para manejar mayores volúmenes de agua (estación de lluvias), en comparación con la madera tardía (estación de secas). En el caso de la madera de *M. luisana*, los vasos son más pequeños, indicando una mayor resistencia a la cavitación y, por consiguiente, éstos contribuyen a reducir los embolismos (Polanco y Grande, 2009; Giménez *et al.*, 2012), mostrando resistencia al estrés hídrico (Montaño-Arias *et al.*, 2013).

Asimismo, la presencia de vasos agrupados es una ventaja, ya que confieren una mayor seguridad en la conducción de agua (Baas y Carlquist, 1985; Carlquist y Hoekman, 1985; Barajas-Morales, 1985), disminuyendo el riesgo por embolia (Moglia y Giménez, 1998). En este estudio, los resultados muestran que ambos taxa presentan vasos agrupados; sin embargo, *M. luisana* los presenta en mayor número, sugiriendo que su madera es la que provee mayor seguridad a la columna de agua.

Las paredes delgadas de los elementos de vaso han sido asociadas a lugares húmedos (Montaño-Arias *et al.*, 2013), y *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* pertenece a un clima húmedo. Aunque en *M. luisana* los elementos de vaso también tienen paredes delgadas, el grosor es aproximadamente del doble de un vaso de la madera temprana y tres veces el grosor de un vaso de la madera tardía de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*.

Longitud de elementos de vaso, placas de perforación y punteaduras intervasculares

La longitud de los elementos de vaso es un rasgo de adaptación evolutiva, ya que a medida que éstos sean más cortos (Zimmermann, 1978) y anchos habrá mayor seguridad en la conducción del agua. Los resultados muestran que ambas taxa tienen elementos de vaso cortos, por lo que ambos proveen seguridad en el proceso conductivo. Además, los resultados son consistentes con lo reportado por Carlquist y Hoekman (1985), en cuanto a que la longitud de los elementos de vaso disminuye con la aridez, ya que *M. luisana* tuvo los vasos más cortos y se ubica en un hábitat con menor humedad que el ambiente de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*. Esta tendencia, también ha sido observada en *M. leucaenoides* y *M. tenuiflora* (Montaño-Arias *et al.*, 2013).

De acuerdo con Carlquist (1975, 2001) y Montaño-Arias *et al.* (2013), los elementos de vaso de longitud corta son considerados los más fuertes, a causa del estrechamiento formado por la pared del elemento de vaso, aún en aquéllos que presentan placa de perforación simple, ya que esto permite resistir grandes presiones y deformaciones relacionadas con las tensiones de la columna de agua.

La presencia de placas de perforación simple implica una óptima conducción (Moglia y López, 2001), pero genera un aumento en la conductividad hidráulica y, por lo tanto, una mayor vulnerabilidad a los embolismos (Polanco y Grande, 2009). Sin embargo, esta vulnerabilidad es reducida cuando están acompañadas de punteaduras intervasculares alternas y, aún más, cuando éstas son ornamentadas

(Jansen *et al.*, 2003; Jansen *et al.*, 2004). Por un lado, las punteaduras intervasculares permiten el flujo de agua a los vasos adyacentes (Zweypfenning, 1978) y, por otro, la ornamentación retiene las burbujas de aire provocadas por una pérdida en la presión del agua (Carlquist 1982, Choat *et al.*, 2004) y, de esta forma, evitan la cavitación (Silva *et al.*, 2011). Cabe mencionar que, en este estudio, únicamente *M. luisana* presentó punteaduras intervasculares ornamentadas, pero este tipo de punteaduras han sido reportadas en 17 taxa de *Mimosa* (P. ej. *M. bimucronata* (DC) OK., Cozzo, 1951; *M. eriocarpa* Benth., Carnieletto y Marchiori, 1993; *M. incana* (Spreng.) Benth, Marchiori, 1996; *M. micropteris* Beth., da Silva-Pereira *et al.*, 2013; *M. pilulifera* Benth., Marchiori y Muñiz, 1997; *M. sparsa* Benth., Maccari y Marchiori, 1994).

Parénquima axial, radios y fibras

De acuerdo con Aguilar-Rodríguez y Barajas-Morales (2005), el parénquima axial es un carácter relacionado con aspectos anatómico-evolutivos de las angiospermas, considerando que el parénquima aliforme y el aliforme confluyente son los más evolucionados (Polanco y Grande, 2009). Con base en lo anterior, se sugiere que *M. luisana* es un taxon más reciente, ya que en su madera predominan ambos tipos de parénquima. Al respecto, se ha documentado que los taxa estudiados surgieron hace ca. de 12 millones de años, y aunque, no hubo una definición de la edad de cada taxon, se sugiere que *M. luisana* es más reciente (Simon *et al.*, 2011).

Por otra parte, Barajas-Morales (1985) reporta que la presencia de radios altos está asociada a taxa que habitan sitios méxicos, lo que coincide con los resultados obtenidos, ya que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* pertenece a este tipo de sitios y presentó los radios más altos.

Asimismo, la altura de los radios ha sido reportada con una baja influencia ambiental (Carlquist, 2001; León, 2001); no obstante, Novaes *et al.* (2010) reportan que existe una relación directa entre la altura de los radios y la disponibilidad de agua en el sitio, de modo que los radios bajos implican que en el sitio existe poca disponibilidad de agua. Alves y Angyalossy-Alfonso (2002) y Amano (2007) mencionan que, además de la altura de los radios, el grosor de la pared de las fibras también está relacionado con la disponibilidad de agua. Estos autores señalan que las fibras con pared gruesa son frecuentes en taxa de zonas áridas. Sin embargo, los taxa estudiados y otros como *M. detinens* Benth., *M. adpressa* H. et A., *M. ostenii* Speg. ex Burk., *M. uliginosa* Chod. et Hassl.; *M. scabrella* Benth. (Cozzo, 1951), entre otras, presentaron fibras delgadas, independientemente del sitio en el que se desarrollan, lo que no coincide con lo reportado por estos autores.

De acuerdo con Polanco y Grande (2009), los resultados sugieren que ambos taxa tienen, en términos anatómico-evolutivos, una madera avanzada por presentar elementos de vaso con placa de perforación simple asociados a fibras libriformes. Asimismo, la presencia de fibras libriformes asociadas a un alto número de vasos solitarios, sugiere que los taxa están establecidas en un hábitat con un alto grado de aridez (Polanco y Grande, 2009). Lo anterior, explica por qué sólo *M. luisana*

presentó traqueidas vasicéntricas como un elemento conductor adicional necesario para transportar la escasa cantidad de agua existente en su hábitat. Del mismo modo, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* sólo presentó traqueidas vasicéntricas en la madera temprana, lo que indica que durante la estación de lluvias, requiere de elementos conductores adicionales que le permitan transportar el agua. Además, el presentar este carácter les confiere, a ambas taxa, una mayor seguridad en la conducción de agua (Montaño-Arias *et al.* 2013), volviéndolas más competitivas, ya que las traqueidas vasicéntricas funcionan como un sistema de conducción subsidiario o alternativo que cumple la misma función que los vasos agrupados (Moglia y Giménez, 1998).

Índices de Vulnerabilidad (IV) y Mesomorfía (IM)

Ambos taxa presentan un alto número de vasos reflejado en un IV superior a la unidad, por lo que se considera que ambos taxa son vulnerables a la sequía. Sin embargo, el IV que mostró la madera de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* supera casi tres veces el IV de *M. luisana*, lo que indica que esta última es la más resistente.

Los IV son similares a los reportados en *M. tenuiflora* (6.26), *M. tejupilcana* (4.09), *M. hexandra* (3.56), *M. bahamensis* (3.36) y *M. leucaenoides* (1.81), y coinciden en que son taxa vulnerables pero con un xilema adaptado para resistir la sequía (Montaño-Arias *et al.*, 2013).

Respecto al IM, los taxa estudiados presentaron un xilema de tipo mesomórfico, este tipo de xilema ya ha sido reportado para *M. bahamensis* Benth., *M. hexandra* M. Micheli., *M. leucaenoides*, *M. tejupilcana* R. Grether & A. Martínez-Bernal y *M. tenuiflora* (Willd.) Poir.; sin embargo, el valor de IM de *M. luisana* es más parecido con *M. leucaenoides* (276.77) debido a que son taxa que habitan en ambientes secos. El valor de IM de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se parece al de *M. tejupilcana* (727.76), ya que ambos taxa crecen en ambientes subhúmedos.

El xilema mesomórfico en conjunto con valores de IV menores a cinco, sugiere que los taxa estudiados tienen un sistema de conducción seguro y eficaz para el movimiento del agua (León-H., 2001, 2001-2002).

CONCLUSIONES

Los taxa estudiados tienen un xilema adaptado para resistir periodos de escasez de agua que les permite vivir y adaptarse a los ambientes en los que habitan. Se reconoce que la presencia de elementos vasculares de diámetro tangencial pequeño, longitud corta, con placa de perforación simple, punteaduras intervasculares ornamentadas y traqueidas vasicéntricas, contribuyen a la seguridad en la conducción de agua y son caracteres distintivos de taxa con capacidad de adaptación a diferentes tipos de hábitats.

La estructura de la madera es sólo una de las múltiples estrategias adaptativas (P. ej. caducifolias, hojas pequeñas) que tienen los taxa estudiados para resistir o tolerar los periodos de escasez de agua.

Asimismo, la comparación de estos resultados con relación a lo reportado para otros taxa del género *Mimosa*, revela que los taxa, tanto de climas templados como secos, presentan estrategias adaptativas semejantes, lo que explica su capacidad de colonizar ambientes desfavorables; es decir, aquellos hábitats en los que existen condiciones extremas de temperatura y/o precipitación.

Es preciso mencionar que, a pesar de que se ha estudiado la anatomía de la madera de 41 taxa de *Mimosa*, son pocos los trabajos que tienen un enfoque ecoanatómico y/o ecofisiológico (Barajas-Morales, 1985; Barajas-Morales y León-Gómez, 1989), lo que pone de manifiesto la necesidad de avanzar en esta línea para una evaluación comparativa que permita sugerir los taxa idóneos para diferentes ambientes en México. Algunas de las descripciones anatómicas llegan a ser ambiguas, ya que en ellas no se mencionan algunos caracteres o no dan una explicación de la característica encontrada lo que impide llegar a una conclusión ecoanatómica que integre a todos los taxa estudiados hasta ahora. No obstante, los resultados aquí presentados, son útiles para sugerir la factibilidad de la reforestación de ecosistemas secos y mésicos. Se propone a *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* para lugares mésicos y a *M. luisana* para restaurar ambientes secos.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Rodríguez, S. y Barajas-Morales J. 2005. Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico-evolutivo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **77**: 51-58.
- Aguilar-Rodríguez, S., Terrazas T. y López-Mata L. 2006. Anatomical wood variation of *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) along its natural range in Mexico. *Trees-Structure and Function* **20**: 253-261.
- Alves, E.S. y Angyalossy-Alfonso V. 2002. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibers. *International Association of Wood Anatomists Journal* **23**: 391-418.
- Amano, E. 2007. Pau-brasil, madeira e casca: formação, desenvolvimento e estrutura. Tese (Doutorado em Ciências, área Botânica). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 101 p.
- Araque, A. y León H.W. 2006. Anatomía comparada del leño de *Spondias mombin* L. (Anacardiaceae) que crecen en zonas de banco y bajío en la Reserva Forestal Caparo (Barinas, Venezuela). *Revista. Forestal Venezolana* **50**: 9-17.
- Arias, S. y Terrazas T. 2001. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* **72**: 157-169.
- Baas, P. 1973. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. *Blumea* **21**: 193-258.

- Baas, P. y Carlquist S. 1985. A comparison of ecological wood anatomy of the floras of southern California and Israel. *International Association of Wood Anatomists Journal* **8**: 245- 274.
- Barajas-Morales, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. *International Association Wood Anatomy Bulletin* **6**: 355-365.
- Barajas-Morales, J. y León-Gómez C. 1989. Anatomía de maderas de México: especies de una selva baja caducifolia. *Instituto de Biología, UNAM, México, Publicaciones Especiales* **1**: 79-80.
- Baretta-Kuipers, T. 1981. Wood anatomy of Leguminosae: its relevance to taxonomy. *En: Polhill R.M. y Raven P.H. (eds.). Advances in Legume Systematics. Royal Botanic Gardens, Kew* **2**: 677-705.
- Bernal-Salazar, S. y Terrazas T. 2000. Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de la madera en *Abies religiosa*. *Madera y Bosques* **6**: 73-86.
- Bissing, D.R. 1982. Variation in qualitative anatomical features of the xylem of selected dicotyledonous woods in relation to water availability. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* **109**: 371-384.
- 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. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **68**: 33-44.
- Camargo-Ricalde, S.L., Dhillon S.S. y Grether R. 2002. Community structure of endemic *Mimosa* species and environmental heterogeneity in a semi-arid Mexican valley. *Journal of Vegetation Science* **13**: 697-704.

- Camargo-Ricalde, S.L., Reyes-Jaramillo I. y Montaña N.M. 2010a. Forestry insularity effect of four *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) on soil nutrients of a Mexican semiarid ecosystem. *Agroforestry Systems* **80**: 385-397.
- Camargo-Ricalde, S.L., Montaña N.M., Reyes-Jaramillo I., Jiménez-González C. y Dhillon S.S. 2010b. Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Trees-Structure and Function* **24**: 67-78.
- Carlquist, S. 1975. Ecological strategies of xylem evolution. University of California Press, Berkeley, California, USA. 259 pp.
- Carlquist, S. 1977. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *American Journal of Botany* **64**: 887-896.
- Carlquist, S. 1982. Wood anatomy of Onagraceae: further species, root anatomy, significance of vestured pits and allied structures in dicotyledons. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **69**: 755-769.
- Carlquist, S. 2001. Comparative wood anatomy. Systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Springer Verlag. Berlín. 457 pp.
- Carlquist, S. y Hoekman D. 1985. Ecological wood anatomy of the woody southern California Flora. *International Association Wood Anatomy Bulletin* **6**: 319-347.
- Carnieletto, C. y Marchiori, J.N.C. 1993. Anatomia da madeira de *Mimosa eriocarpa* Benth. *Ciência Florestal*, Santa Maria **3**: 107-120.
- Chattaway, M. 1956. Crystals in wood tissues II. *Tropical Woods* **104**: 100-124.

- Chávez-Romero, D.M., Aguilar-Rodríguez S. y Terrazas T. 2010. Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae). *Madera y Bosques* **16**: 69-87.
- Chehaibar, M. y Grether R. 1990. Anatomía de la madera de algunas especies del género *Mimosa* (Leguminosae). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **50**: 3-17.
- Choat, B., Jansen S., Zwieniecki M.A., Smets E. y Holbrook N.M. 2004. Changes in pit membrane porosity due to deflection and stretching: the role of vested pits. *Journal of Experimental Botany* **55**: 1569-1575.
- Christensen, J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.-T., Laprise, R. Magaña Rueda V., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A. y Whetton P. 2007. Regional climate projections. *En*: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. y Miller H.L. Eds. *Climate Change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, pp.1-94, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Cline, W.R. 2007. *Global warming and agriculture: impact estimates by country*. Center for Global development, Washington DC.
- Cozzo, D. 1951. Anatomía del leno secundario de las Leguminosas Mimosoideas y Caesalpinoideas Argentinas, silvestres y cultivadas. *Revista del Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias naturales. Ciencias Botánicas* **2**: 63-146.

- Cozzo, D. y Cristiani L.Q. 1950. Los géneros de fanerógamas argentinas con estructura leñosa estratificada. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Bernardino Rivadavia, Ciencias Botánicas* **1**: 363-405.
- da Silva-Pereira, A.C., Siegloch A.M. y Marchiori J.N.C. 2013. Anatomia do lenho de *Mimosa micropteris* Benth. *Balduinia* **40**: 18-22.
- De la Barrera, E. y Andrade A. 2005. Challenges to plant megadiversity: how environmental physiology can help. *New Phytologist* **167**: 5-8.
- de Lima, R.S., De Oliveira P.L. y Rodrigues L.R. 2009. Anatomia do lenho de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae- Mimosoideae) ocorrente em dois ambientes. *Revista Brasileira de Botânica* **32**: 361-374.
- Evans, J.A., Gasson P.E. y Lewis G.P. 2006. Wood anatomy of the Mimosoideae (Leguminosae). *International Association of Wood Anatomists Journal Supplement* **5**. 117 p.
- Espinoza de Pernía, N. y Melandri J.L. 2006. Wood anatomy of the tribe Caesalpinieae (Leguminosae, Caesalpinioideae) in Venezuela. *International Association of Wood Anatomists Journal* **27**: 99-114.
- Figuroa, M.E., Giménez A.M., Hernández P., Gaillard de Benítez C. y Lorenz G. 2011. Ecological wood anatomy of *Allenrolfea vaginata* [Griseb.] Kuntze [Chenopodiaceae] in saline environments in Santiago del Estero. *Ecología Austral* **21**: 339-352.
- Fisher, B.J., Goldstein G., Jones T.J. y Cordell S. 2007. Wood vessel diameter is related to elevation and genotype in the Hawaiian tree *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae). *American Journal of Botany* **94**: 709-715.

- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México, México, D.F.
- Giménez, A.M. 2004. Anatomía comparada de leño y corteza de *Geoffroea striata* y *Geoffroea decorticans*. *Madera y Bosques* **10**: 55-68.
- Giménez, A.M., Calatayu F., Figueroa M.E. y Díaz-Zirpolo J. 2012. Anatomía de leño de *Maytenus vitis-idaea* y *M. viscifolia* (Celastraceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **47**: 351-362.
- Grether, R., Camargo-Ricalde S.L. y 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*. En: Rzedowski J. y G. Calderón de Rzedowski (eds.). Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto. Ecología, Centro Regional del Bajío, México. Fascículo **150**: 1-229.
- Heringer, E.P. y De Paula J.E. 1979. Um novo par vicariante: *Mimosa schomburgkii* Benth. e *Mimosa artemisiana* Heringer & Paula sp. Nov- (Floresta Atlántica). En: Anais Congresso Nacional de Botanica do Brasil 30, Campo Grande, Ms. Sociedad Botánica de Brasil, *Anais da Sociedade Botanica do Brasil* **30**: 75-82.
- Hintze, J. 2001. Number cruncher statistical system (NCSS). Realease 2001.
- IAWA. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *International Association Wood Anatomy Bulletin new series* **10**: 219-332.
- Jansen, S., Baas P., Gasson P. y Smets E. 2003. Vestured pits: do they promote safer water transport? *International Journal of Plant Sciences* **164**: 405-413.

- Jansen, S., Baas P., Gasson P., Lens F. y Smets E. 2004. Variation in xylem structure from tropics to tundra: evidence from vestured pits. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **101**: 8833-8837.
- Johansen, D.A. 1940. *Plant Microtechnique*. Mc Graw Hill. Nueva York. 523 pp.
- Jono, V. 2009. Anatomia ecológica do Lenho e actividade cambial de *Roupala rhombifolia* (Proteaceae) na Serra do Cipó (MG). Dissertação de Mestrado, área Botânica. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 75 p.
- Kribs, D.A. 1968. Commercial foreign woods on the American market. Dover Pub. Inc. New York. 241 p.
- León, H.W. 2001. Anatomía del leño, aspectos ecológicos y filogenia en mangles de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* **45**: 191-203.
- León, H.W. 2001-2002. Anatomía xilemática del tronco de *Pereskia guamacho* (Cactaceae) procedente de Mérida-Venezuela. *Pittieria* **31**: 41-49.
- León, H.W. 2005. Anatomía ecológica del xilema secundario de un bosque seco tropical de Venezuela. *Acta Botánica Venezolana* **28**: 257-274.
- Lindorf, H.1994. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. *International Association Wood Anatomy Journal* **15**: 361-376.
- Luchi, A.E. 1998. Periodicidade de crescimento em *Hymenaea courbaril* L. e anatomia ecológica do lenho de espécies de mata ciliar. Tesis de Doctorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 236 p.

- Maccari, A. y Marchiori J.N.C. 1994. Estudio anatômico do xilema secundário de *Mimosa sparsa* Benth. *Ciência Florestal, Santa Maria* **4**: 145-155.
- Marchiori, J.N.C. 1982. A estrutura do xilema secundário de *Mimosa daleoides* Benth. (Leguminosae-Mimosoideae). *Ciência e Natura, Santa Maria* **4**: 107-113.
- Marchiori, J.N.C. 1985. Anatomia da madeira de *Mimosa cruenta* Benth. (Leguminosae Mimosoideae). *Ciência e Natura, Santa Maria* **7**: 73-81.
- Marchiori, J.N.C. 1993. Anatomia da madeira e casca do maricá, *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze. *Ciência Florestal* **3**: 85-106.
- Marchiori, J.N.C. 1996. Anatomia do xilema secundário de *Mimosa incana* (Spreng.) Benth. *Ciência Florestal, Santa Maria* **6**: 53-63.
- Marchiori, J.N.C y Muñoz B.G. 1997. Estudio anatômico do xilema secundário de *Mimosa trachycarpa* Benth. *Ciência Rural, Santa Maria* **27**: 223-228.
- Martínez-Bernal, A. y Grether R. 2006. *Mimosa*. En: Novelo A. y Medina-Lemus R. (eds.). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 44. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 1-108p.
- Merino, E.G. 2009. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. En: Nieto X. y Cau M.A. (eds.) Arqueologia nàutica mediterrània CASC, Museo de Arqueologia de Catalunya, España. 309-322 p.
- Miller, H. 1975. Anatomical characteristics of some woody plants of the Angmassalik district of southeast Greenland. *Meddelanden Groenlandia* **198**: 1-30.
- Moglia, G. y Giménez A. 1998. Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la región chaqueña argentina. *Investigación Agraria* **7**: 53-71.

- Moglia, J. y López C. 2001. Tendencias de variación radial del leño en *Aspidosperma* Quebracho Blanco. Investigación Agraria. *Sistema y Recursos Forestales* **10**: 69-79.
- Montaño-Arias, S.A. 2010. Anatomía comparada de la madera de especies arbóreas mexicanas del género *Mimosa* sección *Batocaulon* (Leguminosae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D.F. 141 p.
- Montaño-Arias, S.A., Camargo-Ricalde S.L., Grether R. y De la Paz Pérez-Olvera C. 2011. La madera en función del ambiente: un análisis ecoanatómico. *Revista Elementos Ciencia y Cultura (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP)* **18**: 19-24.
- Montaño-Arias, S.A., Camargo-Ricalde S.L. y De la Paz Pérez-Olvera C. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* L. (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* **91**: 1-10.
- Moya, R. y Tomazello F.M. 2008. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) trees at different ecological conditions in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* **56**: 689-704.
- Novaes, F., Callado Ch., Pereira-Moura M.V. y Lima H.R.P. 2010. Wood anatomy of *Mollinedia glabra* (Spreng.) Perkins (Monimiaceae) in two Restinga Vegetation Formations at Rio das Ostras, RJ, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **82**: 915-924

- Parra, M.J. 2010. Determinación de índices de vulnerabilidad y mesomorfia en especies de laurales de la selva San Eusebio (Mérida, Venezuela). *Pittieria*, **34**: 13-22.
- Polanco, T.C. y Grande P.D.C. 2009. Análisis ecoanatómico, evolutivo y comparativo de la madera de 40 especies de dos asociaciones del Bosque alto andino colombiano. *Revista Colombia Forestal* **12**: 183-203.
- Ribeiro, M.L.R. y Barros C.F. 2006. Variação intraspecífica do lenhoff de *Pseudopiptadenia contorta* (DC.) GP Lewis & M.P. Lima (Leguminosae-Mimosoideae) de populações ocorrentes em dois remanescentes de Floresta Atlântica. *Acta Botanica Brasilica* **20**: 839-844.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. 482 p.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* **14**: 3-21.
- Sidiyasa, K. y Baas P. 1998. Ecological and systematic wood anatomy of *Alstonia* (Apocynaceae). *International Association Wood Anatomy Journal* **19**: 207-229.
- Silva, A., Blanco C., y Lindorf H. 1989. Anatomia de la madera de nueve leguminosas de Venezuela. *Acta Botanica Brasilica* **2**: 115-134.
- Silva, L.B.D., Santos F.D.A.R.D., Gasson P. y Cutler D. 2011. Comparative study of *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth and *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae-Mimosoideae) wood in the caatinga of Northeast Brazil. *Acta Botanica Brasilica* **25**: 301-314.

- Simon, M.F., Grether R., de Queiroz L.P., Sarkinen T.E., Dutra V.F. y Hughes C.E. 2011. The evolutionary history of *Mimosa* (Leguminosae): towards a phylogeny of the sensitive plants. *American Journal of Botany* **78**: 1201-1221.
- Sokal, R. y Rohlf F. 1995. *Biometry*. Freeman and Company, San Francisco, C.A. 887 pp.
- Sosa, V. y Dávila P. 1994. Una evaluación del conocimiento florístico de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **81**: 749-757.
- Wodzicki, T.J. 2001. Natural factors affecting wood structure. *Wood Science and Technology* **35**: 5-26.
- Woodcock, D.W. 1994. Occurrence of woods with a gradation in vessel diameter across the ring. *International Association Wood Anatomy Journal* **15**:377-385.
- Yaman, B. 2008. Variation in quantitative vessel element features of *Juglans regia* wood in the western black sea region of Turkey. *Agrociencia* **42**: 357-365.
- Zimmermann, M. 1978. Vessel ends and the disruption of water flow in plants. *Phytopathology* **68**: 253-255.
- Zweypfenning, R.C.V.J. 1978. A hypothesis on the function of vestured pits. *International Association Wood Anatomy Bulletin* **1**: 3-15.

DISCUSIÓN GENERAL

Una manera de aproximarse a las respuestas de los taxa a las condiciones ambientales es a través del modelado de su distribución, ya sea conocida o potencial. Lo anterior, permite visualizar sus patrones de distribución y generar hipótesis sobre las posibles respuestas adaptativas que pudiesen tener ante distintos factores ambientales. No obstante, este punto de vista es parcial, por lo que éste debe enriquecerse con otros aspectos como los biológicos que aportan información y datos relacionados con la morfología y anatomía de los taxa, y la capacidad de germinación de sus semillas; así como con aspectos ecológicos que contribuyen con información sobre la tasa de reproducción, interacciones bióticas y abióticas, dispersión y adaptación, entre otros, que sustenten los modelos de distribución (Buckley *et al.*, 2010; González *et al.*, 2003).

Aunque en este trabajo no se elaboraron escenarios de cambio climático, sino modelos de “nicho ecológico” para los dos taxa de *Mimosa* en estudio, es importante considerar que estos aspectos (biológicos y ecológicos) pueden modificarse como parte de los efectos del cambio climático y, por ende, modificar la distribución de los taxa. De acuerdo con las predicciones climáticas propuestas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), se espera que para finales del siglo XXI haya cambios en la temperatura que variarían geográficamente. Además, se espera que las sequías aumenten en algunos ecosistemas; mientras que en otros, se

considera que habrá una mayor precipitación (Dirmeyer y Shukla, 1996; Rind *et al.*, 1990; Peñuelas *et al.*, 2004). Bajo estos pronósticos, la distribución de los taxa, independientemente de su tipo (amplia o restringida), se verá afectada, ya sea positiva (incrementándose) o negativamente (reduciéndose); por lo que es importante considerar los atributos intrínsecos de los taxa que permitan evaluar y predecir sus respuestas y, de esta forma, precisar sobre los efectos que puede tener el cambio climático en su distribución (Buckley *et al.*, 2010; Lavergne *et al.*, 2010).

De acuerdo con Hill *et al.* (2001), la distribución y persistencia de muchos taxa está delimitada por el clima. En este estudio, se consideró a la temperatura y la precipitación como los elementos del clima que afectan directamente la biología y la ecología de cualquier taxon vegetal.

En este caso, la distribución de ambos taxa del género *Mimosa*, se sustentó en los análisis sobre su biología y ecología, abarcando la morfología y la germinación de las semillas, así como la anatomía de la testa y de la madera; ya que, de acuerdo con Walck *et al.* (2011), estos temas influyen en la distribución de los taxa. Asimismo, estos temas ofrecen datos a diferentes niveles; por ejemplo, poblacional (natalidad, mortalidad y migración), de comunidad (interacciones: depredación, competencia, distribución) y ecosistémico (flujos de materia y energía), entre otros (Figura 1).

En *Mimosa*, existen varios trabajos enfocados en la morfología de sus semillas (Boelcke, 1946; Bravato, 1974; Lima, 1985) y la germinación de éstas (De Souza y De Castro, 1983; Camargo-Ricalde *et al.*, 2004; Orozco-Almanza *et al.*, 2003; Pavón

et al., 2011), y en la anatomía de su madera (Maccari y Marchiori, 1994; Marchiori, 1996; Marchiori y Muñiz, 1997); mientras que de distribución, hasta ahora, sólo se han detectado dos (Camargo-Ricalde, 2015; Grether *et al.* 2015).

De manera general, aunque se ha mencionado que los factores que determinan la distribución de los taxa en el planeta son: *i*) la ecología y *ii*) la historia evolutiva de los taxa (Brown, 1995), así como *iii*) el establecimiento de los mecanismos y *iv*) la capacidad de dispersión de cada taxon (Soberón y Peterson, 2005), estos factores se consideran de forma aislada, por lo que es importante cambiar este enfoque, ya que están ligados y se requieren ver de manera conjunta (Figura 1), con el fin de brindarle mayor robustez y precisión a los modelos y, de esta forma, continuar siendo útiles en el reconocimiento de áreas de conservación (Thuiller *et al.*, 2008) y en la detección de sitios con potencial para reintroducir taxa o para su posible restauración ambiental (Kumar y Stohlgren, 2009).

De acuerdo con Dalglish *et al.* (2010), las primeras etapas del desarrollo de las plantas son más vulnerables comparadas con la etapa adulta y representan un obstáculo para el reclutamiento. Por lo anterior, en este estudio, se determinó la distribución conocida y potencial (Capítulo I) reconociendo a la semilla como la primera etapa vulnerable. Por lo anterior, se abordó la morfología de la semilla y la anatomía de su testa (Capítulo II), y la germinación de éstas (Capítulo III). Asimismo, la etapa adulta está representada con el estudio ecoanatómico de la madera de los dos taxa (Capítulo IV).

Las semillas de ambos taxa presentan características propias de la familia Leguminosae como son: i) Hilo, ii) Lente y iii) Línea fisural o pleurograma irregular, con brazos de igual o diferente longitud (Corner, 1976; Gunn, 1984, 1991) y, específicamente, características de la subfamilia Mimosoideae: i) Hilo, posición apical o sub-apical, ii) Lente, conspicua, iii) Línea fisural presente en ambas caras y vi) Endospermo vítreo (Boelcke, 1946; Bravato, 1974; Lima, 1985).

Anatómicamente, la testa de las semillas de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presenta una capa de macroesclereidas y la línea lúcida se localiza en la parte superior de esta capa. En el caso de las semillas de *M. luisana*, éstas presentan una capa de macrosclereidas con la línea lúcida ubicada en la parte media de ésta y una capa de osteoesclereidas. La posición de la línea lúcida y la presencia de osteoesclereidas permiten diferenciar a los dos taxa; sin embargo, estos caracteres ya han sido reportados en otros géneros de mimosoideas como *Leucaena leucocephala* (Serrato-Valenti *et al.*, 1994) y *Prosopis velutina* Woot. (Irving, 1984).

De acuerdo con Smith *et al.* (2002) y con Radchuk y Borisjuk (2014), la función del esclerénquima es fungir como una barrera que evita la entrada de agua y gases, por lo que los resultados sugieren que la semilla de *M. luisana* está más protegida contra la desecación (Radchuk y Borisjuk, 2014), y esto podría indicar que presenta un mayor grado de latencia física (Baskin y Baskin, 2004) y una mayor longevidad (Arambarri, 2002; De Souza y Marcos-Filho, 2001).

Asimismo, Martín-Gómez y Saco-Sierra (2012) consideran que las capas de esclerénquima le confieren rigidez a la testa y dureza a la semilla, por lo que las semillas de ambos taxa requieren de un proceso de escarificación, el cual eleva el porcentaje de germinación (Chahuan y Johnson, 2008; Jayasuriya *et al.*, 2013; Leal y Biondi, 2007; Pavón *et al.*, 2011; Silveira y Fernandes, 2006); en este caso, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* elevó su germinación de 1.2% (semillas sin escarificar) a 70.2% (semillas escarificadas) y *M. luisana* de 6.3% (semilla sin escarificar) a 79.6% (semillas escarificadas).

Aunque el proceso de escarificación aumenta el porcentaje de germinación de las semillas en ambos taxa, la temperatura y la identidad del taxon juegan un papel fundamental en el porcentaje de germinación alcanzado, aumentándolo o disminuyéndolo, según sea el caso. En este estudio, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa*, a 5°C alcanzó 10% de germinación; mientras que *M. luisana* alcanzó el 50%; asimismo, a 45°C, *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* alcanzó el 35% y *M. luisana* el 27% de germinación. Estas variantes en los porcentajes de germinación también han sido observadas en otros taxa de *Mimosa*; por ejemplo, *M. tenuiflora* (Willd.) Poir., a 25°C alcanza el 95% de germinación (Camargo-Ricalde y Grether, 1998; Parra, 1984). Igualmente, Camargo-Ricalde *et al.* (2004) reportaron que en *M. calcicola* B. L. Rob., germina el 100% de las semillas entre los 25 y 30°C, *M. polyantha* Benth. alcanzó el 100% de germinación a una temperatura de 35°C y en *M. lacerata* Rose, se alcanza el 100% de germinación entre los 15 y 25°C.

Debido a que las semillas de ambos taxa germinan en una gama amplia de temperaturas (5°C a 45°C, con intervalos de 5°C) se sugiere que, aunque la

germinación de las semillas es una etapa vulnerable, la temperatura no representa un obstáculo para su germinación; no obstante, deben considerarse otros aspectos relacionados con el papel que juegan los brúquidos como posibles escarificadores naturales (Romero-Nápoles *et al.*, 2005), así como otros aspectos relacionados con el establecimiento de las plántulas (depredación, nodrizaje, etc).

En la etapa adulta, los taxa estudiados se diferencian porque *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presenta una madera con porosidad anular y la madera de *M. luisana* tiene porosidad difusa; estos caracteres ya han sido observados en otros taxa como *M. acantholoba* (H. & B. ex Willd.) Poir. var. *eurycarpa* (B.L. Rob.), *M. benthamii* J.F. Macbr. var. *benthamii*, *M. lacerata* Rose, *M. texana* (A. Gray) Small var. *filipes* (Britton & Rose) Barneby (Montaño-Arias, 2010), y *M. polyantha* (Montaño-Arias *et al.*, 2016).

El análisis en conjunto de los trabajos arriba mencionados con los resultados obtenidos en este estudio, muestra que los taxa de *Mimosa* tienen elementos vasculares de diámetro tangencial pequeño, longitud corta, con placa de perforación simple, punteaduras intervasculares ornamentadas y traqueidas vasicéntricas (da Silva-Pereira *et al.*, 2013; Montaño-Arias *et al.* 2013), caracteres que contribuyen a la seguridad en la conducción de agua y son caracteres distintivos de los taxa con capacidad de adaptación a diferentes tipos de hábitats. Por lo tanto, de manera general, los taxa de *Mimosa* tienen un xilema adaptado para resistir períodos de escasez de agua que les permite vivir y adaptarse a los ambientes en los que habitan, esto se robustece con el valor del Índice de Vulnerabilidad (IV) de cada

taxon (Carlquist, 1977; Montaña-Arias *et al.*, 2013). *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* presentó un IV de 4.05; mientras que el IV de *M. luisana* es de 1.42, lo que sugiere que esta última es más resistente a la sequía.

Es relevante mencionar que las respuestas ecoanatómicas y ecofisiológicas que presentan los dos taxa estudiados, permiten sugerir que las variaciones en la precipitación y en la temperatura no afectarían ni su biología ni su ecología y, por lo tanto, aumentaría la posibilidad de que ambos taxa pudiesen ampliar su distribución (nicho ecológico).

Finalmente y desde una perspectiva utilitaria bio-ecológica, algunos autores han propuesto, entre otras especies de *Mimosa*, a *M. aculeaticarpa* (Pavón *et al.*, 2011) y a *M. luisana* (Camargo-Ricalde y García-García, 2001) como taxa con potencial para la restauración ambiental. Al respecto, el conjunto de los resultados obtenidos apoyan, de manera contundente, la propuesta de dichos autores; sin embargo, existen otros aspectos que deben ser considerados; por ejemplo, la producción de frutos, las interacciones bióticas, la biología reproductiva y la capacidad de invasividad de los taxa. Asimismo, se hace énfasis en que es importante respetar sus respectivas áreas de distribución para no alterar la dinámica ecosistémica.

LITERATURA CITADA

- Arambarri, A.M. 2002. Morfología, Anatomía y formaciones cristalinas en especies del género *Senna*, sección *Chamaefistula* de la Argentina (Leguminosae-Caesalpinioideae-Cassieae-Cassinae). Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 205 p.
- Baskin, J.M. y Baskin C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research* **14**: 1-16.
- Boelcke, O. 1946. Estudio morfológico de las semillas de Leguminosas, Mimosoideas y Caesalpinioideas de interés agronómico en la Argentina. *Darwiniana* **7**: 240-321.
- Bravato, M. 1974. Estudio morfológico de frutos y semillas de las Mimosoideae (Leguminosae) de Venezuela. *Acta Botanica Venezuelica* **9**: 317-361.
- Brown, J.H. 1995. Macroecology. University of Chicago Press, Illinois. 269 p.
- Buckley, L.B., Urban M.C., Angilletta M.J., Crozier L.G., Rissler L.J. y Sears M.W. 2010. Can mechanism inform species' distribution models? *Ecology letters* **13**: 1041-1054.
- Camargo-Ricalde, S.L. y Grether R. 1998. Germinación, dispersión y establecimiento de plántulas de *Mimosa tenuiflora* (Leguminosae) en México. *Revista de Biología Tropical* **46**: 1-12.
- Camargo-Ricalde, S.L., y García-García V. 2001. El género *Mimosa* L. (Fabaceae) y la restauración ecológica. *Contactos* **39**: 34-42.
- Camargo-Ricalde, S.L., Dhillon S.S. y García-García V. 2004. Phenology, and seed production and germination of seven endemic *Mimosa* species (Fabaceae-

- Mimosoideae) of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* **58**: 423-437.
- 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.
- Carlquist, S. 1977. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *American Journal of Botany* **64**: 887-896.
- Chauhan, B.S. y Johnson D.E. 2008. Seed germination and seedling emergence of giant sensitive plant (*Mimosa invisa*). *Weed Science* **56**: 244-248.
- Corner, E. 1976. The seeds of Dicotyledons. Vol. I. Cambridge University. Madingley Road, Cambridge, England. 309 p.
- da Silva-Pereira, A.C., Sieglöcher A.M. y Marchiori J.N.C. 2013. Anatomia do lenho de *Mimosa micropteris* Benth. *Balduinia* **40**: 18-22.
- Dalgleish, H.J., Koons D.N. y Adler P.B. 2010. Can life-history traits predict the response of forb populations to changes in climate variability? *Journal of Ecology* **98**: 209-217.
- De Souza, A.M. y De Castro G.A. 1983. Métodos para superar a dormência tegumentar em sementes de Jurema-preta (*Mimosa hostilis* Benth.). *Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo* **6/7**: 26-32.
- De Souza, F.H.D y Marcos-Filho J. 2001. The seed coat as a modulator of seed-environment relationships in Fabaceae. *Revista Brasileira de Botânica* **24**: 365-375.

- Dirmeyer, P.A. y Shukla J. 1996. The effect on regional and global climate of expansion of the world's deserts. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* **122**: 451-482.
- González, E.M., Jurado E., González E.S., Aguirre C.O., Jiménez P.J. y Navar J. 2003. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia UANL* **6**: 377-385.
- Grether, R. Camargo-Ricalde S.L., Martínez-Bernal A., Montaña-Arias S. y Fraile Ma.E. 2015. Diversity and geographical distribution patterns of the genus *Mimosa* (Mimosoideae) in the United States, Mexico, and Central America. *En: V Conferencia Internacional de Leguminosas (VILC)*. R. Fortunato (ed.). Fundación CICCUS. 224 p.
- Gunn, C.R. 1984. Fruits and seeds of genera in the subfamily Mimosoideae (Fabaceae). Technical Bulletin no. 1681. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture, Washington DC. 194 p.
- Gunn, C.R. 1991. Fruits and seeds of genera in the subfamily Caesalpinoideae (Fabaceae). Technical Bulletin no. 1755. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture, Washington DC. 408 p.
- Hill, J.K., Collingham Y.C., Thomas C.D., Blakeley D.S., Fox R., Moss D. y Huntley B. 2001. Impacts of landscape structure on butterfly range expansion. *Ecology Letters* **4**: 313-321.
- Irving, D.W. 1984. Seed structure and histochemistry of *Prosopis velutina* (Leguminosae). *Botanical Gazette* **145**: 340-345.

- Jayasuriya, G.K. Wijetunga A.S., Baskin J.M. y Baskin C.C. 2013. Seed dormancy and storage behavior in tropical Fabaceae: a study of 100 species from Sri Lanka. *Seed Science Research* **23**: 257-269.
- Kumar, S. y 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.
- Lavergne, S., Mouquet N., Thuiller W. y Ronce O. 2010. Biodiversity and climate change: integrating evolutionary and ecological responses of species and communities. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 41: 321-350.
- Leal, L. y Biondi D. 2007. Comportamento germinativo de sementes de *Mimosa dolens* Vell. *Publ UEPG Exact Earth Sci Agr Sci Eng Ponta Grossa* **13**: 37-43.
- Lima, M.P.M. 1985. Morfologia dos frutos e sementes dos gêneros da tribo Mimoseae (Leguminosae-Mimosoideae) aplicada à Sistemática. *Rodriguésia* **37**: 53-78.
- Maccari, A. y Marchiori J.N.C. 1994. Estudo anatômico do xilema secundário de *Mimosa sparsa* Benth. *Ciência Florestal, Santa Maria* **4**: 145-155.
- Marchiori, J.N.C y Muniz B.G. 1997. Estudo anatômico do xilema secundário de *Mimosa trachycarpa* Benth. *Ciência Rural, Santa Maria* **27**: 223-228.
- Marchiori, J.N.C. 1996. Anatomia do xilema secundário de *Mimosa incana* (Spreng.) Benth. *Ciência Florestal, Santa Maria* **6**: 53-63.

- Martín-Gómez, S. y Saco-Sierra, D. 2012. Estudio de los tejidos para la caracterización de las plantas. *REDUCA* **4**: 1-26.
- Montaño-Arias, S.A. 2010. Anatomía comparada de la madera de especies arbóreas mexicanas del género *Mimosa* sección *Batocaulon* (Leguminosae). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D.F. 141 p.
- Montaño-Arias, S.A., Camargo-Ricalde S.L. y De la Paz Pérez-Olvera C. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* L. (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* **91**: 1-10.
- Montaño-Arias, S.A., Camargo-Ricalde S.L. y Grether R. 2016. Anatomía de la madera de tres especies de *Mimosa* (Leguminosae, Mimosoideae) distribuidas en México. *Madera y Bosques* (en prensa).
- Orozco-Almanza, S., Ponce De León-García L., Grether R. y García-Moya E. 2003. Germination of four species of the genus *Mimosa* (Leguminosae) in a semi-arid zone of Central Mexico. *Journal of Arid Environments* **55**: 75-92.
- Parra, G.P. 1984. Estudio de la morfología externa de plántulas de *Calliandra gracilis*, *Mimosa albida*, *Mimosa arenosa*, *Mimosa camporum* y *Mimosa tenuiflora*. *Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay)* **13**: 311-350.
- Pavón, N.P., Ballato-Santos J. y Pérez-Pérez C. 2011. Germinación y establecimiento de *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Fabaceae-Mimosoideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 653-661.
- Peñuelas, J., Sabaté S., Fidella I. y Gracia C. 2004. Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación.

- En: Valladares, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. 425-460. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid.
- Radchuck, V. y Borisjuk L. 2014. Physical, metabolic and developmental functions of the seed coat. *Frontiers in Plant Science* **5**: 1-17.
- Rind, D., Goldberg R., Hansen J., Rosenzweig C. y Ruedy R. 1990. Potential evapotranspiration and the likelihood of future drought. *Journal of Geophysical Research* **95**: 9983-10004.
- Romero-Nápoles, J., Grether R., Camargo-Ricalde S.L. y Jonson C.D. 2005. Método para la evaluación de daño de semillas por brúquidos (Insecta, Coleoptera), en el campo con nuevos registros de hospederos y distribución para el grupo. *Entomología Mexicana* **4**: 107-111.
- Serrato-Valenti, G., Cornara L., Ghisellini P. y Ferrando M. 1994. Testa structure and histochemistry related to water uptake in *Leucaena leucocephala* Lam. (De Wit). *Annals of Botany* **73**: 531-537.
- Silveira, F.A. y Fernandes G.W. 2006. Effect of light, temperature and scarification on the germination of *Mimosa foliolosa* (Leguminosae) seeds. *Seed Science and Technology* **34**: 585-592.
- Smith, M.T., Wang B.S.P. y Msanga H.P. 2002. Dormancy and germination. 149-176 p. In Vozzo, J.A. (ed.) Tropical tree seed manual. Agriculture Handbook 721. Washington DC, USDA Forest Service.
- Soberón, J. y Peterson A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* **2**: 110.

Thuiller, W., Albert C., Araujo M.B., Berry P.M., Cabeza M., Guisan A., Hickler T., Midgely G.F., Paterson J., Schurr F.M., Sykes M.T. y Zimmermann N.E. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **9**: 137-152.

Walck, J.L., Hidayati S.N., Dixon K.W., Thompson K. y Poschlod P. 2011. Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology* **17**: 2145-2161.

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de la distribución conocida (o “nicho realizado”) indicaron que *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* se distribuye en 16 estados de la República Mexicana; mientras que *M. luisana* se restringe al Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en los estados de Puebla y Oaxaca.

Respecto al modelado de la distribución potencial (o “nicho ecológico”) de ambos taxa, éste indicó que existen las condiciones de temperatura y precipitación para que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* amplíe su distribución desde el centro del país hacia la región del Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino); también este taxon podría extender su distribución hacia el noroeste del Eje Volcánico y hacia la parte sur de la Sierra Madre del Sur. En el caso de *M. luisana* esta podría ampliar 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 (Capítulo I). Dichos modelos están sustentados con los atributos intrínsecos de cada taxon como son la morfología y anatomía de la testa de las semillas (Capítulo II); así como con su germinación (Capítulo III), y, finalmente, con la anatomía de su madera (Capítulo IV).

En el caso de las semillas (Capítulo II), en ambos taxa la testa presenta caracteres que les confieren impermeabilidad, en el caso de *M. aculeaticarpa* var.

aculeaticarpa presentó tres caracteres: *i*) Cutícula, *ii*) Macroesclereidas, y *iii*) Línea lúcida; mientras que *M. luisana* tiene cuatro: *i*) Cutícula, *ii*) Macroesclereidas, *iii*) Línea lúcida, y *iv*) Osteoesclereidas; estos caracteres, además de prevenir la germinación inicial, elevan la longevidad de la semilla, ya que tienen relación directa con la latencia.

Asimismo, sus semillas pueden germinar (Capítulo III) en una amplia gama de temperaturas (5° a 45°C, con intervalos de 5°C); sin embargo, éstas deben escarificarse, para alcanzar porcentajes de germinación superiores al 70%. No obstante, la temperatura juega un papel fundamental en la germinación de las semillas ya que a 5°C *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* alcanza el 10% de germinación y *M. luisana* el 50%; mientras que a 45°C, se alcanza el 35% y el 27%, respectivamente. Cabe señalar que a 25 y 30°C *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* alcanza el 88% de germinación, mientras que *M. luisana* alcanza el 100%.

Por otro lado, los taxa estudiados (Capítulo IV), tienen un xilema adaptado para resistir periodos de escasez de agua que les permite vivir y adaptarse a los ambientes en los que habitan. Ambos taxa presentaron elementos vasculares de diámetro tangencial pequeño, longitud corta, con placa de perforación simple, punteaduras intervasculares ornamentadas y traqueidas vasicéntricas, estos caracteres contribuyen a la seguridad en la conducción de agua y son distintivos de taxa con capacidad de adaptación a diferentes tipos de hábitats.

De manera adicional, el índice de vulnerabilidad obtenido en la madera de *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* (4.05), supera casi tres veces el de *M. luisana* (1.42). El análisis de este índice en conjunto con los caracteres anatómicos de cada taxon indica que esta última es la más resistente a periodos de escasez de agua.

Por lo anterior, es factible señalar que existen las condiciones ambientales (climáticas: temperatura y precipitación) para que ambos taxa amplíen su distribución. Aunado a lo anterior y considerando sus atributos biológicos y ecológicos, es factible proponer que ambos taxa puedan ser utilizados en proyectos de restauración ambiental.

PERSPECTIVAS

Con base en los resultados de esta tesis, se plantean diferentes aspectos de experimentos tanto de campo como bajo condiciones controladas, que necesitan ser considerados para poder ampliar el conocimiento sobre la distribución de *Mimosa aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* y de *M. luisana*.

Los modelos mostrados en el Capítulo I, son una aproximación de como es y será la distribución de los taxa estudiados, y que están sustentados con aspectos biológicos y ecológicos de los mismos. Se propone que una forma de ampliar y enriquecer el conocimiento sobre su distribución (o la distribución de cualquier taxon vegetal), sobre todo de la potencial, es generar los modelos bajo escenarios de cambio climático que consideren no sólo la temperatura y la precipitación, sino también a la pendiente del terreno y al cambio de uso de suelo, sin perder de vista, la relevancia del estudio de la biología de estos taxa.

Además, considerando el ciclo reproductivo de cada taxon (P. ej. semilla, plántula, planta joven o adulta, etc.), sería posible la utilización de sus diferentes etapas como modelos biológicos de estudio; es decir, sería factible llevar a cabo experimentos controlando diferentes concentraciones de bióxido de carbono (CO₂); así como con interacciones entre CO₂, temperatura y precipitación, ya que éstas se consideran algunas de las variables más importantes en cuestiones de cambio climático y, sin duda, son variables que influyen en la distribución de los taxa.

Otro aspecto relevante a considerar, estaría enfocado en ampliar el conocimiento de las semillas de estos taxa. Sin bien, la morfología queda definida en el Capítulo II, sería conveniente profundizar el análisis anatómico e histoquímico de la semilla en su totalidad (testa, embrión y endospermo) e implementar otras técnicas (P. ej. microscopia confocal, electrónica de barrido y de transmisión) que no generen artificios, que corroboren lo planteado en esta tesis (P. ej. presencia de cutícula y de lignina) y que brinden información detallada sobre la microestructura de la semilla.

En el Capítulo III, se demostró que las semillas de ambos taxa requieren de un proceso de escarificación para germinar; en este punto se propone que, una vez conocida la anatomía e histoquímica de la semilla, se prueben otros métodos de escarificación para determinar el mejor método para cada taxon, con el fin de promover su germinación y evitar cualquier tipo de daño morfológico, anatómico o de desarrollo al embrión, de manera que su desarrollo y crecimiento ocurran en forma adecuada, ya sea en condiciones controladas y/o naturales. Una vez reconociendo que la anatomía de la semilla influye en la selección del método de escarificación, entonces, se sugiere realizar estudios de establecimiento de plántulas, para evaluar la mortalidad de los taxa, dato importante, ya que mediante observaciones en campo, se ha documentado la presencia de muy pocas plántulas de ambos taxa y que, además, la mayoría de éstas no sobrevive a la estación de secas.

Por otro lado, la anatomía de la madera muestra que ambos taxa tienen un xilema adaptado para resistir períodos de escases de agua; sin embargo,

considerando que *M. aculeaticarpa* var. *aculeaticarpa* tiene una distribución en ecosistemas templados y secos, cuyo rango altitudinal varía entre 1,900 y 2,700 msnm y que *M. luisana* se distribuye únicamente en el Valle semiárido de Tehuacán-Cuicatlán, teniendo un rango de altitud entre 500 y 1,760 msnm, sería interesante llevar a cabo un estudio ecoanatómico de ambas taxa (o de cualquier otro taxon vegetal) en un gradiente altitudinal que mostrara la variación a nivel intraespecífico y que revelara información sobre cuáles son los caracteres genéticos y cuáles los caracteres influenciados por el ambiente, para entender cuáles son los procesos adaptativos y evolutivos de estas taxa.

Los aspectos señalados conllevan a generar nuevos estudios a corto, mediano y largo plazo que permitirán conocer, entender y robustecer los modelos de distribución de las taxa. Por último, se considera que los estudios sobre distribución potencial que no aborden los aspectos biológicos y ecológicos de las taxa son frágiles, y posiblemente, poco precisos.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE DISERTACIÓN PÚBLICA

No. 00053

Matrícula: 2111800047

RESPUESTAS ECOANATOMICAS Y
ECOFISIOLOGICAS DE DOS
ESPECIES DEL GENERO *Mimosa*
(Leguminosae) ANTE EL CAMBIO
CLIMATICO

En la Ciudad de México, se presentaron a las 10:00 horas del día 15 del mes de junio del año 2016 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DRA. SARA LUCIA CAMARGO RICALDE
DR. DAVID MANUEL DIAZ PONTONES
DR. SILVIA CASTILLO ARGÜERO
DRA. MARIA HILDA FLORES OLVERA
DRA. ROSAURA GREETHER GONZALEZ

Bajo la Presidencia de la primera y con carácter de Secretaria la última, se reunieron a la presentación de la Disertación Pública, cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DE: SUSANA ADRIANA MONTAÑO ARIAS

y de acuerdo con el artículo 78 fracción IV del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:



SUSANA ADRIANA MONTAÑO ARIAS
ALUMNA

aprobar

Acto continuo, la presidenta del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

REVISÓ

LIC. JULIO CESAR DE LARA ISASSI
DIRECTOR DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE CBS

DRA. EDITH PONCE ALQUICIRA

PRESIDENTA

DRA. SARA LUCIA CAMARGO RICALDE

VOCAL

DR. DAVID MANUEL DIAZ PONTONES

VOCAL

DR. SILVIA CASTILLO ARGÜERO

VOCAL

DRA. MARIA HILDA FLORES OLVERA

SECRETARIA

DRA. ROSAURA GREETHER GONZALEZ