

# CACTÁCEAS y suculentas mexicanas



VOLUMEN 66 No. 2

ABRIL - JUNIO 2021

ISSN 0526-717X

# CACTÁCEAS y *suculentas mexicanas*

Volumen 66 No. 2  
Abril-junio 2021

**Editor Fundador**  
Jorge Meyrán

**Consejo Editorial**  
**Anatomía y Morfología**  
Dra. Teresa Terrazas  
Instituto de Biología, UNAM

**Ecología**  
Dr. Arturo Flores-Martínez  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN  
Dr. Pablo Ortega-Baes  
Universidad de Salta Argentina

**Etnobotánica**  
Dr. Javier Caballero Nieto  
Jardín Botánico IB-UNAM

**Evolución y Genética**  
Dr. Luis Eguiarte  
Instituto de Ecología, UNAM

**Fisiología**  
Dr. Oscar Briones  
Instituto de Ecología A. C.

**Florística**  
M. en C. Francisco González Medrano †  
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco  
Dr. Luis G. Hernández Sandoval  
Universidad Autónoma de Querétaro  
M. en C. Aurora Chimal Hernández  
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

**Horticultura**  
Dr. Candelario Mondragón Jacobo, INIFAP-UAQ  
Dr. Elhadi Yahia  
Universidad Autónoma de Querétaro

**Química y Biotecnología**  
Dr. Francisco Roberto Quiroz Figueroa  
Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa

**Sistemas Reproductivos**  
Dra. Sonia Vázquez Santana  
Facultad de Ciencias, UNAM  
Dr. Jafet Nassar  
Instituto Venezolano de  
Investigaciones Científicas

**Taxonomía y Sistemática**  
Dr. Fernando Chiang  
Instituto de Biología, UNAM  
Dr. Roberto Kiesling  
CRICYT, Argentina  
Dr. John Rebmán  
Museo de Historia Natural, San Diego

**Editores**  
Dr. Jordan Golubov  
UAM-Xochimilco  
Dra. María C. Mandujano Sánchez  
Instituto de Ecología, UNAM  
Dr. Humberto Suzán Azpíri  
Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Juriquilla

**Asistentes editoriales**  
Dra. Mariana Rojas Aréchiga  
Instituto de Ecología, UNAM  
Dra. Guadalupe Malda Barrera  
Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Juriquilla

**Diseño editorial y versión electrónica**  
Palabra en Vuelo, SA de CV

**Impresión**  
Solicita la impresión bajo demanda al correo  
palabraenvuelo@yahoo.com.mx  
o al tel. 55-5271-3845

**SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA, AC**

**Presidenta Fundadora**  
Dra. Helia Bravo-Hollis †

**Fotografía de portada:**  
*Mesembryanthemum crystallinum*  
Georgia Born-Schmidt

*Cactáceas y Suculentas Mexicanas* es una revista trimestral de circulación internacional y arbitrada, publicada desde 1955, su finalidad es promover el estudio científico y despertar el interés en esta rama de la botánica.

El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y se encuentran bajo la licencia Creative Commons .

La revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* se encuentra registrada en los siguientes índices: CAB Abstracts, BIOSIS (Thomson Reuters), Periodica y Latindex.

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* published since 1955.

The articles are under the Creative Commons license .

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* is registered in the following indices: CAB Abstracts, BIOSIS (Thomson Reuters), Periodica and Latindex.

Dirección editorial (editor's address): *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, Instituto de Ecología, UNAM, Aptdo. Postal 70-275, Cd. Universitaria, 04510, Ciudad de México, México.

Correo electrónico: [cactsucmex@ieciologia.unam.mx](mailto:cactsucmex@ieciologia.unam.mx)

## Suscripciones



*Cactáceas y suculentas mexicanas* únicamente se imprime bajo demanda. El costo por número es de \$230.00 mexicanos más gastos de envío. Se recomienda solicitar años completos o la suscripción anual para pagar un sólo envío. El costo de suscripción a la revista por un año completo es de \$1,040.00 para México e incluye envío. La suscripción y entrega en el Lab. Genética y Ecología, Instituto de Ecología, UNAM (Dra. Mariana Rojas) es de \$920.00. Solicitar el precio para el extranjero a los correos: [palabraenvuelo@yahoo.com.mx](mailto:palabraenvuelo@yahoo.com.mx) y [mrojas@ecologia.unam.mx](mailto:mrojas@ecologia.unam.mx).

• Pago de suscripción mediante depósito en BBVA Bancomer a la cuenta: 0446308554 a nombre de Palabra en Vuelo SA de CV.

• Para transferencia en el mismo banco y cuenta con la CLABE: 012180004463085547.

• Para transferencia internacional añadir la clave: BCMRMXMMPLYM.

• Mediante PayPal enviar a la cuenta con el correo:

[palabraenvuelo1@gmail.com](mailto:palabraenvuelo1@gmail.com)

Enviar comprobante de pago a los correos: [mrojas@ecologia.unam.mx](mailto:mrojas@ecologia.unam.mx) y [palabraenvuelo@yahoo.com.mx](mailto:palabraenvuelo@yahoo.com.mx)

*Cactáceas y suculentas mexicanas* exclusively prints on demand. We recommend the full year subscription to pay a single shipment. For prices and shipping rates to your country contact the following email addresses: [palabraenvuelo@yahoo.com.mx](mailto:palabraenvuelo@yahoo.com.mx) and [mrojas@ecologia.unam.mx](mailto:mrojas@ecologia.unam.mx).

• For national bank transfer in BBVA Bancomer with the account: 0446308554, CLABE: 012180004463085547.

• For international bank transfer in the same bank and account add the code: BCMRMXMMPLYM.

• For payment via PAYPAL, send the paid amount to [palabraenvuelo1@gmail.com](mailto:palabraenvuelo1@gmail.com), then send proof of payment to [mrojas@ecologia.unam.mx](mailto:mrojas@ecologia.unam.mx) and [palabraenvuelo@yahoo.com.mx](mailto:palabraenvuelo@yahoo.com.mx)

Consulta de la revista en formato digital en la siguiente liga (electronic editions available at the following link): [web.ecologia.unam.mx/cactsucmex](http://web.ecologia.unam.mx/cactsucmex)



Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro.

*Cactáceas y Suculentas Mexicanas* agradece la edición y el financiamiento de esta publicación a los suscriptores, al Dr. Jorge Meyrán y al proyecto "Gestión y divulgación de información de especies invasoras para México": Megaproyecto GEF 00089333 (CONABIO 502).

# CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 66 No. 2 abril - junio 2021

## Contenido

**Experimentos de germinación de cactáceas en condiciones naturales: ¿Cómo documentar el destino de cada semilla introducida?**

Ortiz Martínez LE, Arroyo-Cosultchi G, Golubov J & Mandujano MC..36

**Distribución potencial de *Mesembryanthemum crystallinum* (L.), especie exótica invasora**

Cárdenas-Ramos D, Golubov J & Mandujano MC .....48

***Sclerocactus uncinatus* (Galeotti ex Pfeiff.) N.P.Taylor  
(=*Glandulicactus uncinatum* (Galeotti ex Pfeiff. & Otto))**

Guerrero-Eloisa OS .....32

## Contents

**Germination experiments with cacti under natural conditions: how to register each seed destiny?**

Ortiz Martínez LE, Arroyo-Cosultchi G, Golubov J & Mandujano MC..36

**Potential distribution of *Mesembryanthemum crystallinum* (L.), invasive species**

Cárdenas-Ramos D, Golubov J & Mandujano MC .....48

***Sclerocactus uncinatus* (Galeotti ex Pfeiff.) N.P.Taylor  
(=*Glandulicactus uncinatum* (Galeotti ex Pfeiff. & Otto))**

Guerrero-Eloisa OS .....32

# Experimentos de germinación de cactáceas en condiciones naturales: ¿Cómo documentar el destino de cada semilla introducida?

Ortiz Martínez Luis Eder<sup>1\*</sup>, Arroyo-Cosultchi Gabriel<sup>1</sup>, Golubov Jordan<sup>1</sup> & Mandujano María C<sup>2\*</sup>

## Resumen

La germinación es un proceso crítico del ciclo de vida de cactáceas. La evaluación de la germinación en condiciones naturales puede enfrentar algunos obstáculos metodológicos y de interacciones bióticas que afecten los resultados e interpretaciones. Éstos incluyen la remoción de semillas por factores bióticos o abióticos y la contaminación de los experimentos con semillas ajenas al diseño experimental. En este trabajo se desarrolló un método para medir la germinación en condiciones naturales, a través de evaluar tratamientos experimentales para la germinación de *Cephalocereus polylophus* (DC.) Britton & Rose en laboratorio. El método consistió en poner a germinar semillas adheridas con pegamento comercial a tiras plásticas de uso agrícola. Se evaluaron distintas combinaciones de color de malla (blanca o negra), posición respecto al sustrato (arriba o abajo) y tipo de pegamento (pegamento instantáneo, silicón frío o silicón caliente). La adhesión de semillas con silicón frío a tiras plásticas de color blanco y colocarlas en posición encontrada con el sustrato fue el método más viable para evaluar la germinación. Esta combinación de factores permite dar seguimiento a la identidad de cada una de las semillas y mantenerlas en su posición por más tiempo sin interferir con la germinación. Aunque el experimento se probó en laboratorio puede ser fácilmente utilizado en condiciones naturales.

**Palabras clave:** Cactaceae, laboratorio, conservación.

## Abstract

Germination is a fundamental process in cacti life cycles. The evaluation of germination in habitat may face some methodological concerns, such as the loss of seeds by biotic and abiotic factors and the cross contamination of experimental plots with foreign seeds. We evaluated the viability of a method for the germination *Cephalocereus polylophus* (DC.) Britton & Rose seeds under laboratory conditions. The method consisted of seeds glued to shade mesh pieces. Three different factors were evaluated: color of the mesh (black, white), position relative to the substrate (up, down), and type of glue (instant glue, cold silicone, hot silicone). The most viable combination of factors was seeds glued with cold silicone and attached to the bottom side of white mesh pieces. This combination of factors allowed keeping track of each of the seeds and fixing them to the soil

<sup>1</sup> Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Calzada del Hueso 1100. Col Villa Quietud, México, Ciudad de México, 04960.

<sup>2</sup> Laboratorio de Genética y Ecología, Depto. Ecología de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Apartado Postal 70-275, México, Ciudad de México, 04510

\*Autores de correspondencia: mcmandujano@gmail.com, ederortzmtz@gmail.com

for longer time without interfering with germination. Although the method was tested under laboratory conditions, it can easily be used in natural conditions.

**Key words:** Cactaceae, conservation, laboratory.

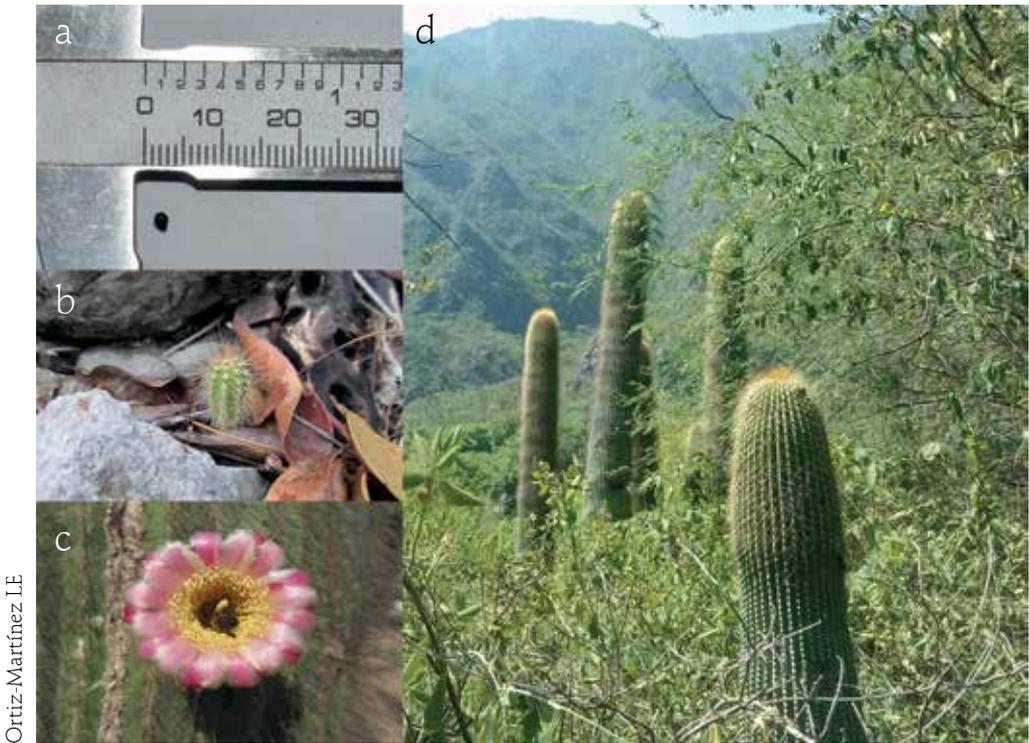
## Introducción

La germinación es un proceso crucial que determina el potencial reproductivo de cactáceas y otras plantas que habitan ecosistemas áridos y semiáridos, que generalmente se encuentra limitada por múltiples factores bióticos y abióticos (Fenner & Thompson 2005). Estudios sobre las semillas de cactáceas han aportado información valiosa sobre su relación con diferentes requerimientos eco-fisiológicos para su germinación como la escarificación mecánica y química (Gonzalez-Cortés *et al.* 2018), la mejor respuesta germinativa en un rango de temperatura entre 25 y 30 °C (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes 2000; Ortega-Baes *et al.* 2011), y distintos tipos de fotoblastismo (germinación regulada por luz) (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes 2000; Rojas-Aréchiga *et al.* 2013) entre otros.

La germinación de cactáceas también está regulada por distintas interacciones biológicas tanto positivas como negativas (Mandujano *et al.* 1998). La facilitación es una de las interacciones positivas más importantes para las cactáceas debido a que los microhábitats bajo el dosel de arbustos perennes hacen posible la germinación y sobrevivencia de plántulas (Franco & Nobel 1989; Miranda-Jácome *et al.* 2013). La importancia de esta interacción ha sido comprobada extensamente para distintas especies de hábito columnar (Valiente-Banuet *et al.* 1991; Parker 2013; Cares *et al.* 2013) y con menor frecuencia en cactáceas de hábito globoso (Franco & Nobel 1989; Golubov *et al.* 2010; García-Naranjo

& Mandujano 2010). Las interacciones negativas como la granivoría afectan el reclutamiento de cactáceas, que a su vez incide en la dinámica poblacional al reducir el número de semillas disponibles para el reclutamiento (Hulme 1998; Silman *et al.* 2003). La intensidad de la depredación post-dispersión ha sido documentada por García-Chávez *et al.* (2010) quienes demostraron experimentalmente que 95% de las semillas de *Myrtillocactus geometrizans* y 68 % de las de *Opuntia pilifera* son removidas en un rango de 12 a 36 horas. Castillo-Landero y Valiente-Banuet (2010) documentaron la remoción de entre 78% y 100% de las semillas de *Cephalocereus mezcalaensis* dentro de los primeros 20 días después del inicio de sus observaciones.

Como se ha mencionado, las semillas de cactáceas se enfrentan a una serie de limitaciones para hacer la transición a plántulas, a tal punto que se ha estimado que para algunas especies de *Opuntia* solo una de cada 3 millones de semillas logra germinar y establecerse (Mandujano 1995). El estudio de esta etapa del ciclo de vida de cactáceas impone distintos retos metodológicos, ya que requiere tener control del destino de las semillas introducidas, reducir las posibilidades de cuantificar semillas ajenas al diseño experimental o perder unidades experimentales a causa de los granívoros, la lluvia o las corrientes de agua. Algunos estudios enfocados en este propósito han empleado métodos para fijar las semillas al suelo y tolerar o excluir granívoros grandes (aves y roedores) mediante el uso de jaulas (Mandujano *et al.* 1998; Castillo-Landero y



Ortiz-Martínez JE

FOTO 1. *Cephalocereus polylophus*. a) Semilla, b) Plántula en hábitat, c) Flor, d) Planta adulta en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México.

Valiente-Banuet 2010; García-Chávez *et al.* 2010) y usando insecticidas como acetato (Valiente-Banuet & Ezcurra 1991) o clordano (Contreras-González & Arizmendi 2015) para excluir a granívoros pequeños, como hormigas.

Ante el reto que implica retener las semillas en campo por un tiempo superior al necesario para su germinación, el objetivo del trabajo fue determinar un método práctico y que emplee materiales de fácil acceso que permitan fijar semillas a unidades experimentales sin dañar la testa ni inhibir su capacidad de germinación, permitiendo el registro del destino e identidad de cada una de las semillas introducidas. Este método se puso a prueba en condiciones de laboratorio, pero podría ser usado para cuantificar

con certeza la germinación en condiciones naturales.

### Material y métodos

*Especie de estudio.* *Cephalocereus polylophus* (DC.) Britton & Rose, es un cactus columnar endémico de México, se distribuye en un área de aproximadamente 6000 km<sup>2</sup> entre los estados de Querétaro, Hidalgo, San Luis Potosí y Guanajuato (Guzmán *et al.* 2003). Su floración es nocturna y ocurre entre mayo y julio (Arroyo-Cosultchi *et al.* 2016). El número de semillas promedio por fruto es de  $976 \pm 80$ , cuyo largo y ancho promedio es  $2.68 \pm 0.04 \times 1.85 \pm 0.02$  mm (Foto 1) (Arroyo-Cosultchi *et al.* 2007). Las semillas son fotoblásticas indiferentes (Rojas-Aréchiga *et al.* 2014) y en campo son dispersadas en su

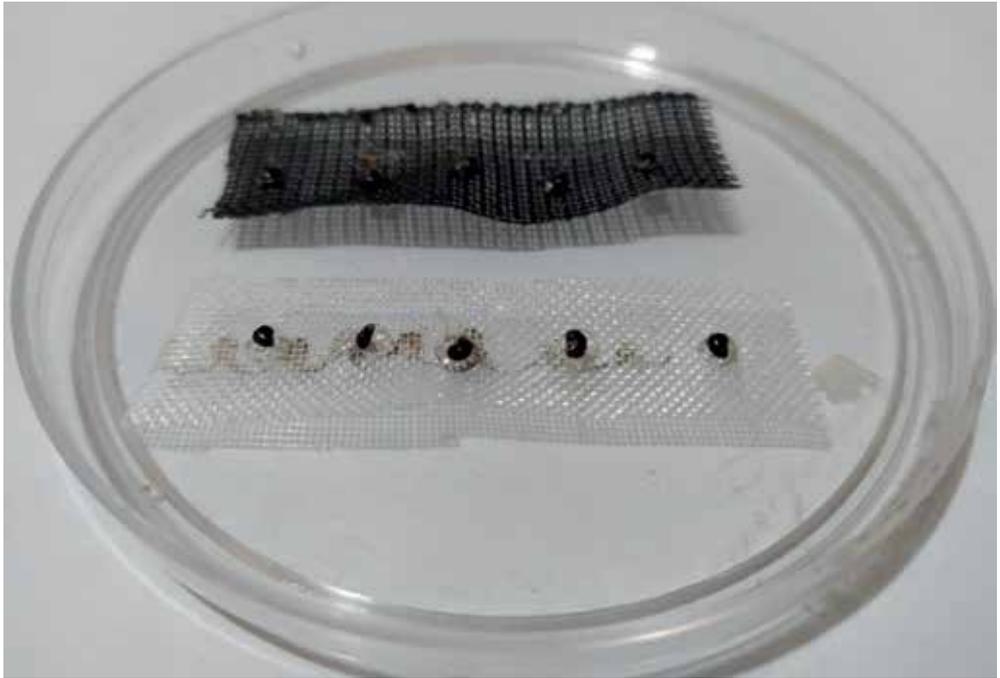


FOTO 2. Unidades experimentales usadas para evaluar la germinación de semillas de *Cephalocereus polylophus*. Las unidades experimentales están compuestas por tiras de plástico de uso agrícola sobre las cuales se adherieron cinco semillas.

mayoría por aves y hormigas (Arroyo-Cosultchi *et al.* 2016).

*Colecta de las semillas:* Los frutos se colectaron de una población ubicada en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México, durante la temporada de fructificación de 2013, ocho meses antes del inicio del experimento. Se colectaron 20 frutos, cada uno de diferente individuo, las semillas fueron limpiadas y secadas antes de su almacenamiento en bolsas de papel a temperatura ambiente. Antes de iniciar los experimentos, las semillas de los 20 frutos fueron mezcladas para tener variabilidad fruto/individuo dentro de la muestra.

*Descripción general del método.* Se evaluó un método para fijar semillas a unidades experimentales que permitan contabilizar su germinación y

remoción con mayor precisión. Las unidades experimentales en todos los experimentos consistieron en cinco semillas adheridas con distintos tipos de pegamento comercial a tiras plásticas hechas a partir de recortes de mallas de uso agrícola de 1 x 7 cm, colocadas en un sustrato de agar bacteriológico al 1% (Foto 2). La separación entre semillas fue de  $\pm 10$  mm. Para determinar la viabilidad del método se evaluó la germinación en laboratorio de semillas de *C. polylophus* sometidas a diferentes combinaciones de tres factores: posición, color de malla y tipo de pegamento.

*Posición.* Se evaluó si la posición de la malla puede ser una barrera física entre la humedad del sustrato y la semilla capaz de inhibir la germinación, y consistió en dos tratamientos. En el tratamiento Arriba, las semillas se colocaron en

posición contraria al sustrato de tal forma que la malla plástica era una barrera física entre el sustrato y las semillas. En el tratamiento Abajo, las semillas se pegaron a la cara de la malla de plástico que hacía contacto directo con el sustrato (boca abajo), de tal forma que las semillas estaban en contacto directo con el sustrato.

*Colores de malla.* Se evaluó el efecto de dos tipos de malla sobre la germinación, el factor consistió en dos tratamientos: Malla blanca (MB), tiras hechas con recortes de malla-antiáfidos de color blanco (1 cm x 7 cm y 1mm de tamaño de poro), y Malla Negra (MN), tiras de malla-sombra negra, hechas con recortes de malla-sombra de 50% (1 cm x 7 cm y 1 mm de tamaño de poro). Se eligieron mallas con apertura de poro 1mm debido a que es un tamaño menor al de las semillas de *C. polylophus*.

*Tipo de pegamento.* Se evaluó el efecto de tres tipos de pegamento comercial sobre la germinación. Se seleccionaron tres pegamentos de fácil aplicación y bajo costo, los tipos de pegamento fueron: pegamento instantáneo (PI) cuyo componente principal es cianoacrilato (marca comercial Kola Loca®), silicón frío (SF) y pegamento termofusible, conocido comercialmente como silicón caliente (SC). La semillas se pegaron aplicando solo una gota de pegamento a una de las caras de la semilla, procurando no obstruir el opérculo.

*Diseño experimental.* De los doce tratamientos resultantes de los factores incluidos en el trabajo, solamente se usaron ocho combinaciones de posición, color de malla, y tipo de pegamento y un control. Las combinaciones fueron: 1) SF+MB+Abajo, 2) SF+MB+Arriba, 3) PI+MB+Abajo, 4) PI+MB+Arriba, 5) PI+MN+Abajo, 6) PI+MN+Arriba, 7) SC+MN+Abajo, y 8) SC+MN+Arriba. No se incluyeron todas las combinaciones posibles por

disponibilidad de espacio en la cámara ambiental, y se decidió reducir el uso de malla negra, dado que se tienen los antecedentes que son semillas fotoblásticas indiferentes (Rojas-Aréchiga *et al.* 2013) y el uso de distintos tipos de malla sombra no inhiben la germinación (Ortiz-Martínez 2015). Las unidades experimentales consistieron de cajas Petri con agar bacteriológico al 1% como sustrato, dentro de las cuales se colocó una tira con cinco semillas por repetición. Cada uno de los tratamientos y un control tuvieron 25 repeticiones ( $N = 225$  unidades experimentales). Las unidades experimentales fueron cultivadas en laboratorio en una cámara ambiental (LabLine® Biotronette modelo 845), calibrada a una temperatura (28-30 °C) y fotoperiodo de 12:12 h. La germinación se registró al momento que la radícula emergió y fue monitoreada diariamente durante 30 días siguiendo el protocolo de Rojas-Aréchiga *et al.* (2001).

*Análisis estadístico.* La capacidad de germinación es un atributo cualitativo del proceso de germinación basado en una respuesta binaria (germinó/no germinó), comúnmente convertida en un atributo cuantitativo (porcentaje o proporción) (Ranal & Santana 2006). La germinación se analizó con un modelo lineal generalizado (GLM) y contrastes ortogonales para datos con distribución binomial en JMP ver Ver.15 (SAS Institute, Cary NC).

## Resultados

Analizando el efecto individual de cada uno de los niveles, el tipo de pegamento afectó el porcentaje de germinación ( $\chi^2 = 58.59$ ,  $gl = 3$ ,  $p < 0.01$ ), siendo el silicón caliente instantáneo el que la redujo en mayor medida ( $44.8 \pm 34.4$  % (media  $\pm$  DE),  $\chi^2 = 46.63$ ,  $gl = 2$ ,  $p < 0.01$ ), seguido del pegamento instantáneo ( $53.8 \pm 36.8$  %,  $\chi^2 = 34.35$ ,  $gl = 2$ ,  $p < 0.01$ ); el silicón frío

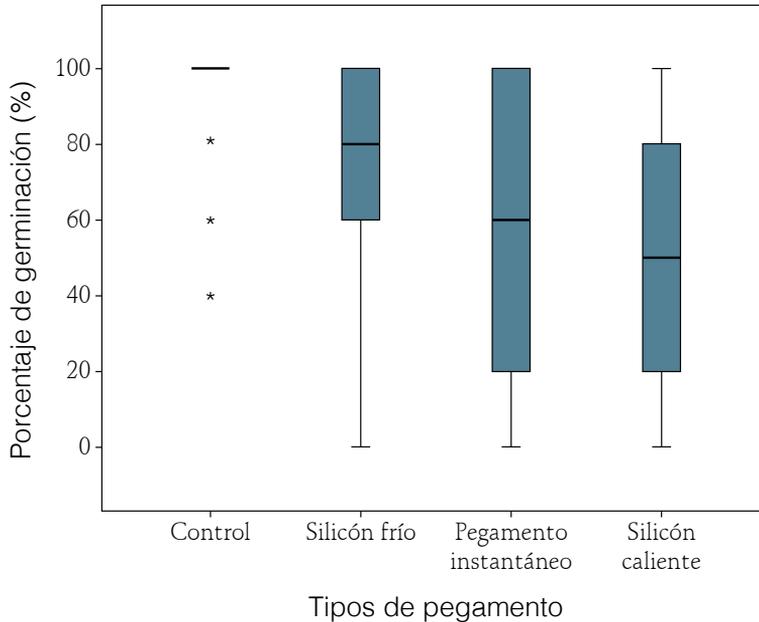


FIGURA 1. Efecto individual de distintos tipos de pegamento sobre la germinación de semillas de *Cephalocereus polylophus* adheridas a tiras plásticas de distintos colores y posiciones (Media  $\pm$  DE,  $N = 225$ ).

(74.4  $\pm$  27.1 %) no fue estadísticamente distinto al control (94.8  $\pm$  11 %  $\chi^2=3.3$ ,  $gl=2$ ,  $p=0.069$ ) (Fig. 1). El color de malla disminuyó la germinación en ambos casos ( $\chi^2=81.11$ ,  $gl=2$ ,  $p<0.01$ ), la malla negra fue la más distinta al control (43  $\pm$  35.3 %,  $\chi^2=70.61$ ,  $gl=2$ ,  $p<0.01$ ), la malla blanca también redujo la germinación con respecto al control (70.4  $\pm$  30.3 %,  $\chi^2=4.78$ ,  $gl=2$ ,  $p=0.028$ ) (Fig. 2). La posición también afectó la germinación ( $\chi^2=46.63$ ,  $gl=2$ ,  $p<0.01$ ), colocar las semillas arriba (35.4  $\pm$  30.1 %,  $\chi^2=66.54$ ,  $gl=2$ ,  $p<0.01$ ) redujo el porcentaje de germinación y colocarlas abajo (78  $\pm$  26.9 %) en contacto con el sustrato de agar no difirió del control ( $\chi^2=0.07$ ,  $gl=2$ ,  $p=0.78$ ) (Fig. 3).

El GLM indicó diferencias entre todas las combinaciones de tratamientos ( $\chi^2=454.16$ ,  $gl=8$ ,  $p<0.01$ ). Las combinacio-

nes que tuvieron mejores resultados y cuyos porcentajes de germinación no fueron significativamente distintos al control (94.8  $\pm$  11.9 % media  $\pm$  DE) fueron SF+MB+Abajo (89.6  $\pm$  14.3 %,  $\chi^2=3.30$ ,  $gl=1$ ,  $p=0.069$ ) y PI+MB+Abajo (89.6  $\pm$  15.4 %,  $\chi^2=3.30$ ,  $gl=1$ ,  $p=0.069$ ). Los tratamientos que incluyeron malla negra tuvieron porcentajes de germinación significativamente menores al control, SC+MN+Abajo (68  $\pm$  27.7  $\pm$  27.7 %,  $\chi^2=46.53$ ,  $gl=1$ ,  $p<0.001$ ) y PI+MN+Abajo (64.8  $\pm$  34.8 %,  $\chi^2=55.27$ ,  $gl=1$ ,  $p<0.001$ ). Las combinaciones de tratamientos que tuvieron los porcentajes de germinación más bajos fueron aquellos en los que las semillas se colocaron en posición contraria al sustrato (Fig. 4), éstos fueron SF+MB+Arriba (59.2  $\pm$  28.6 %,  $\chi^2=71.49$ ,  $gl=1$ ,  $p<0.001$ ), SC+MN+Arriba (21.6  $\pm$  23 %,  $\chi^2=222.94$ ,  $gl=1$ ,  $p<0.001$ ),

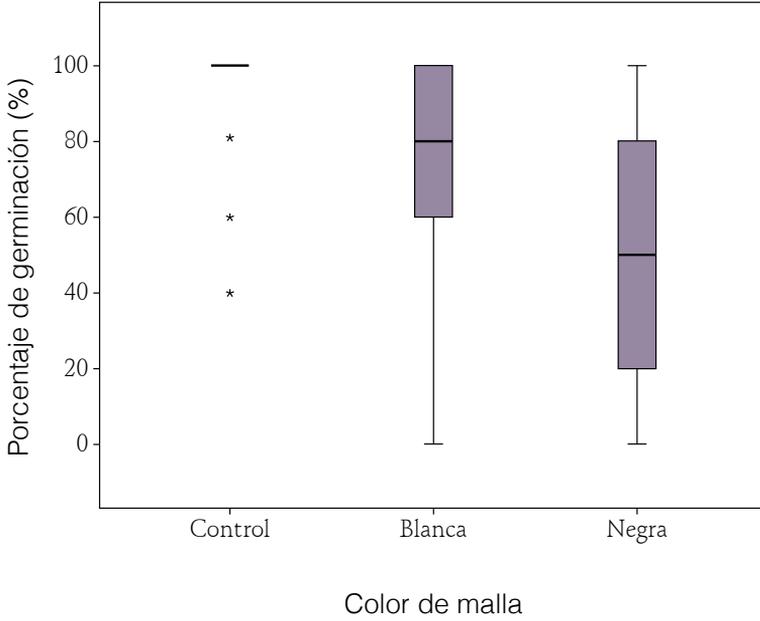


FIGURA 2. Efecto individual de distintos tipos de malla sobre la germinación de semillas de *Cephalocereus polylophus* (Media  $\pm$  DE,  $N = 225$ ).

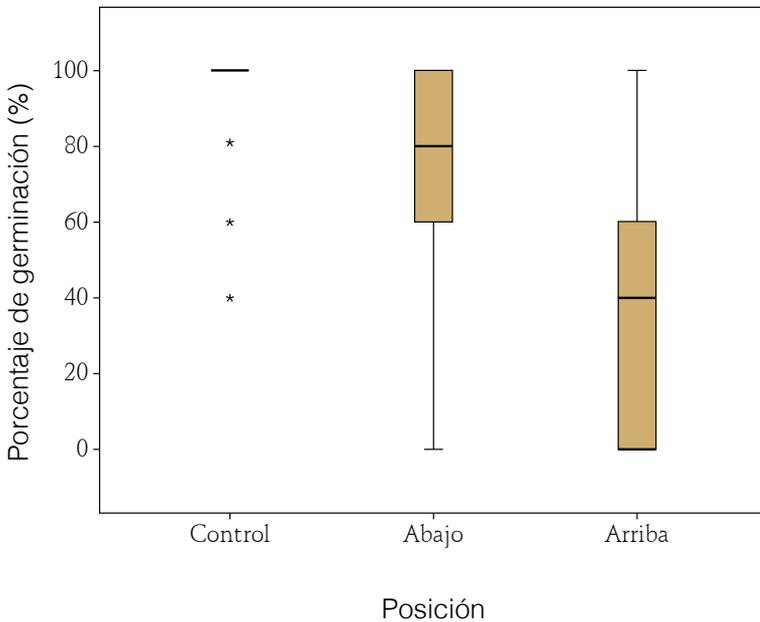


FIGURA 3. Germinación de semillas de *Cephalocereus polylophus* adheridas en distinta posición y con distintos tipos de pegamento y en distintas posiciones (Media  $\pm$  DE,  $N = 225$ ).

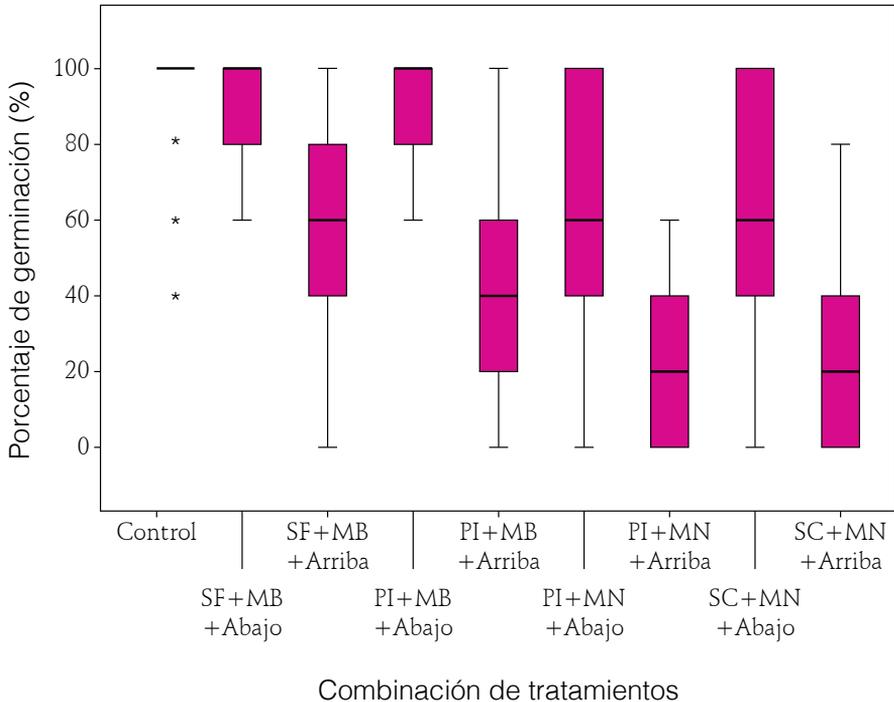


FIGURA 4. Combinación de los distintos factores sobre semillas de *Cephalocereus polylophus*. Factor tipo de pegamento: silicón frío (SF), silicón caliente (SC) y pegamento instantáneo (PI). Factor color de malla: malla negra (MN) y malla blanca (MB). Factor posición: semillas Arriba o Abajo (Media  $\pm$  DE,  $N = 225$ ).

PI+MB+Arriba ( $43.2 \pm 29.2\%$ ,  $\chi^2 = 125.79$ ,  $gl = 1$   $p < 0.001$ ) y PI+MN+Arriba ( $17.6 \pm 18.5\%$ ,  $\chi^2 = 245.42$ ,  $gl = 1$   $p < 0.001$ ).

## Discusión

Usar unidades experimentales compuestas de semillas adheridas con silicón frío o pegamento instantáneo a tiras plásticas de color blanco y colocarlas en posición encontrada con el sustrato fue el método más efectivo para evaluar la germinación de semillas de *Cephalocereus polylophus*. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos SF+MB+Abajo y PI-MB-Abajo, pero debido a las características corrosivas del pegamento instantáneo, ésta opción

podría no resultar del todo viable, por lo cual se sugiere optar por el silicón frío.

Las semillas de *C. polylophus* son fotoblasticas indiferentes (Rojas-Aréchiga *et al.* 2014) y en experimentos anteriores se encontró que la germinación no se ve afectada por la disminución de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa que implica tener una malla negra como barrera física entre la fuente de luz y la semilla (Ortiz-Martínez 2015). La disminución en el porcentaje de germinación en los tratamientos que incluyeron malla negra puede estar relacionada con el efecto de la posición de las semillas, el tipo de pegamento empleado o la combinación de las tres variables. Fue evidente que colocar las semillas

en la cara opuesta al sustrato disminuye considerablemente la germinación debido a que la malla plástica se convierte en un obstáculo entre la semilla y el sustrato, que puede reducir la capacidad de las semillas para absorber agua y nutrientes (Li *et al.* 2021). De emplearse este método en campo se recomienda colocar las semillas en la cara que hace contacto directo con el suelo para garantizar el acceso de las semillas a la humedad del suelo.

Se ha documentado ampliamente la germinación de cactáceas en laboratorio (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes 2000; Rojas-Aréchiga *et al.* 2014), desafortunadamente estos porcentajes de germinación son una sobreestimación de los valores registrados en condiciones naturales (Barrios *et al.* 2020). Ortiz-Martínez (2015) empleó el método que aquí se presenta para evaluar la germinación y remoción de semillas de *C. polylophus* en condiciones naturales y documentó un porcentaje de germinación de 2% y remoción de 60% de las semillas después de un mes del inicio de su estudio. Los resultados de ese trabajo son más representativos de las tasas de reclutamiento natural observadas en *C. polylophus* (9 a 127 plántulas / 140 m<sup>2</sup>) (Arroyo-Cosultchi *et al.* 2016).

El método tiene potencial para evaluar la latencia de semillas y la posible formación de bancos de semillas en condiciones de campo. Los bancos de semillas son formados por semillas que permanece viables en la capa superficial de suelo durante un año (transitorio) o más (persistente) (Thompson & Grime 1979; Bowers 2005). La capacidad de las semillas de cactáceas para formar bancos de semillas se ha determinado por varios métodos, como la colecta y tamizado de semillas en el suelo (de Viana 1999), la

germinación de semillas almacenadas por varios años en condiciones de laboratorio (Mandujano *et al.* 1997; Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes 2000) y la germinación de semillas enterradas temporalmente en suelo (Bowers 2005; Aragón-Gastélum *et al.* 2018). Este último método puede ser el más apropiado para determinar la existencia de bancos de semillas de cactáceas, sin embargo, pocos estudios se han enfocado en evaluar su formación mediante experimentos en condiciones naturales (Aragón-Gastélum *et al.* 2018), y la existencia de bancos de semillas solo ha sido claramente establecida para 19 especies (Barrios *et al.* 2020). El método aquí presentado podría ser empleado para este propósito, pues además de fijar a las semillas al suelo sin interferir con su germinación, permite mantener la identidad de cada una de las semillas introducidas.

Múltiples especies de la familia Cactaceae se encuentran bajo alguna categoría de riesgo de extinción (Santos-Díaz 2010; Goettsch *et al.* 2015). Ante este grave panorama, algunas estrategias de conservación y manejo están siendo poco a poco implementadas. Estas incluyen el decreto de áreas naturales protegidas, la reproducción *ex situ* de ejemplares con valor ornamental y la implementación de programas de educación ambiental (Bárceñas 2006, Ortega-Baes & Godínez-Alvarez 2006; Santos-Díaz 2010). Aunque estas estrategias son valiosas, la recuperación de las poblaciones amenazadas se vislumbra como una tarea de largo plazo debido a factores intrínsecos a las especies, como sus ciclos de vida largo y la dependencia de plantas nodrizas para el reclutamiento (Mandujano *et al.* 2010; Arroyo-Cosultchi *et al.* 2016). Si el método es efectivo en condiciones naturales, podría ser útil incrementar las tasas de recluta-



FOTO 3. Unidad experimental usada en campo (Ortiz-Martínez 2015). Se utilizó la combinación semillas adheridas con silicón frío a tiras color blanco y colocadas en posición boca abajo (SF+MB+Abajo).

miento mediante la introducción de semillas en sitios idóneos para su germinación (p. ej. bajo nodrizas).

Existen pocos esfuerzos por incrementar el tamaño poblacional de especies amenazadas a través de la manipulación de las tasas de reclutamiento natural (Alonso 2018; López 2021). La introducción de semillas y/o plántulas en lugares idóneos (microhábitats) para su germinación y sobrevivencia, podría ser una buena estrategia para garantizar el reclutamiento constante en las poblaciones. Sin embargo, se ha comprobado experimentalmente que la remoción de la mayor parte de las semillas ocurre antes del tiempo mínimo requerido para que germinen (Valiente-Banuet & Ezcurra 1991; Mandujano *et al.* 1995; García-Chávez *et al.* 2010; Contreras-González & Arizmendi 2015). Entonces, no basta con introducir semillas en lugares idóneos para su germinación, también es necesario incrementar el tiempo que las semillas permanecen en el suelo. Ortiz-Martínez (2015) usó el método aquí planteado y consiguió mantener entre 25 y 30 % de las semillas en el suelo al menos durante el primer mes de la temporada de lluvias (Foto 3).

El método aquí presentado resultó viable para realizar experimentos de germinación que requieren mantener un registro preciso de la identidad de cada una de las semillas. Seguramente, el método de tiras con semillas adheridas podría ser probado en otras especies, tanto en condiciones naturales como en laboratorio, y ser habilitado en programas de recuperación de poblaciones de cactáceas en alguna categoría de riesgo.

## Referencias

- Alonso AIC. 2018. Germinación y crecimiento de *Dasyliirion acrotichum* (Schiede) Zucc., una especie amenazada y ancestral del semidesierto Otomí. Taller de Ecología terrestre y manejo de recursos bióticos. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Aragón-Gastélum JL, Flores J, Jurado E, Ramírez-Tobias H, Robles-díaz E & Rodas-Ortiz JP. 2018. Potential impact of global warming on seed bank, dormancy and germination of three succulent species from the Chihuahuan Desert. *Seed Sci Res* **28**:312-318.
- Arroyo-Cosultchi G, Terrazas T, Arias S & López-Mata L. 2007. Seed morphology in

- Neobuxbaumia* (Cactaceae). *Bol Soc Bot Mex* **81**:17-25.
- Arroyo-Cosultchi G, Golubov J & Mandujano MC. 2016. Pulse seedling recruitment on the population dynamics of a columnar cactus: effect of an extreme rainfall event. *Acta Oecol* **71**:52-60.
- Bárceñas RT. 2006. Comercio de cactáceas mexicanas y perspectivas para su conservación. CONABIO. *Biodiversitas* **68**:11-15.
- Barrios D, Sánchez J, Flores J & Jurado E. 2020. Seed traits and germination in the Cactaceae family: a review across the Americas. *Bot Sci* **98**:417-440.
- Bowers JE. 2005. New evidence for persistent or transient seed banks in three Sonoran Desert Cacti. *Southwest Nat* **50**:482-487.
- Cares R, Muñoz P, Medel R, Botto-Mahan C. 2013. Factors affecting cactus recruitment in semiarid Chile: A role for nurse effects? *Flora* **208**:330-335.
- Castillo-Landero JP & Valiente-Banuet A. 2010. Species-specificity of nurse plants for the establishment, survivorship, and growth of columnar cactus. *Am J Bot* **97**:1289-1295.
- Contreras-González A & Arizmendi M. 2015. Pre-dispersal seed predation of the columnar cactus (*Neobuxbaumia tetetzo*, Cactaceae) by birds in Central Mexico. *Ornitol Neotrop* **25**:373-387.
- de Viana ML. 1999. Seed production and seed bank of *Trichocereus pasacana* (Cactaceae) in northwestern Argentina. *Trop Ecol* **40**:79-84.
- Fenner M & Thompson K. 2005. *The ecology of seeds*. Cambridge University Press.
- Franco AC & Nobel PS. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *J Ecol* **77**:870-886.
- García-Chávez J, Sosa VJ & Montaña C. 2010. Variation in post-dispersal predation of cactus seeds under nurse plant canopies in three plant associations of a semiarid scrubland in central Mexico. *J Arid Environ* **74**:54-62.
- García-Naranjo A & Mandujano MC. 2010. Patrón de distribución especial y Nodricismo del peyote (*Lophophora williamsii*) en Cuatrociénegas, Mexico. *Cact Suc Mex* **55**:36-55.
- Goetsch B, Hilton-Taylor C, Cruz-Piñon G et al. 2015. High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nat Plants* **1**:15142.
- Golubov J, Martínez-Valenzuela P, Durán E & Martínez Y. 2010. Distribución espacial y nodricismo en *Mammillaria carneae* en el municipio de Valerio Trujano, Cuicatlán, Oaxaca. *Cact Suc Mex* **55**:56-64.
- Gonzalez-Cortés A, Reyes-Valdés MH, Robledo-Torres V, Villareal-Quintanilla JA, Ramírez-Godina F. 2018. Pre-germination treatments in four prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) species from northeastern Mexico. *Aust J Crop Sci* **12**:1676-1684.
- Guzmán U, Arias S, Dávila P. 2003. *Catálogo de cactáceas mexicanas*. Universidad Nacional Autónoma de México/Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad.
- Hulme PE. 1998. Post-dispersal seed predation: consequences for plant demography and evolution. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* **1**:32-46.
- López FD. 2021. Estrategias de conservación en cactáceas amenazadas usando modelos poblacionales. Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Li B, Huang S, Wang H, Liu M, Xue S, Tang D, Cheng W, Fan T & Yang X. 2021. Effects of plastic particles on germination and growth of soybean (*Glycine max*): A pot experiment under field condition. *Environ Pollut* **272**:116418
- Mandujano M C. 1995. Establecimiento por semilla y propagación vegetativa de *Opun-*

- tia rastrera* en dos ambientes contrastantes en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de México, D.F.
- Mandujano MC, Golubov J & Montaña C. 1997. Dormancy and endozoochorous dispersal of *Opuntia rastrera* seeds in the Chihuahuan Desert. *J Arid Environ* **36**:259-266.
- Mandujano MC, Montaña C, Méndez I & Golubov J. 1998. The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. *J Ecol* **86**:911-921.
- Mandujano MC, Carrillo-Angeles I, Martínez-Peralta C & Golubov J. 2010. Reproductive biology of Cactaceae, páginas 197–230. En Ramawat K (ed.), *Desert plants: biology and biotechnology*. Springer. Berlin, Alemania.
- Miranda-Jácome A, Montaña C & Fornoni J. 2013 Sun/shade conditions affect recruitment and local adaptation of a columnar cactus in dry forests. *Ann Bot* **111**:293-303.
- Ortega-Baes P & Godínez-Álvarez H. 2006. Global diversity and conservation priorities in the Cactaceae. *Biodiv Conserv* **15**:817-827.
- Ortega-Baes P, Galíndez G, Rojas-Aréchiga M, Daws MI & Pritchard HW. 2011. Seed germination of *Echinopsis schickendantzii* (Cactaceae): the effects of constant and alternating temperatures. *Seed Sci Technol* **39**:219-224.
- Ortiz-Martínez L. 2015. Germinación y sobrevivencia de plántulas de *Neobuxbaumia polylopha* (DC) Backeb en asociación con especies arbustivas en San Miguel Almolón, Barranca de Metztitlán, Hidalgo. Informe del servicio social. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.
- Parker K. 2013. Nurse plant relationships of columnar cacti in Arizona. *Phys Geogr* **10**:322-335.
- Ranal MA & Santana D. 2006. How and why to measure the germination process? *Rev Bras Bot* **29**:1-11.
- Rojas-Aréchiga M & Vázquez-Yanes C. 2000. Cactus seed germination: a review. *J Arid Environ* **44**:84-104.
- Rojas-Aréchiga M, Casas A & Vázquez-Yanes. 2001. Seed germination of wild and cultivated *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) from the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Central Mexico. *J Arid Environ* **49**:279-287.
- Rojas-Aréchiga M, Mandujano MC & Golubov J. 2013. Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cacteeae (Cactaceae). *J Plant Res* **126**:373-386.
- Rojas-Aréchiga M. 2014. Patrones de respuesta fotoblástica en las semillas de cactáceas: un enfoque ecológico y filogenético. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. México
- Santos-Díaz MS, Pérez-Molphe E, Ramírez-Malagón R, Núñez-Pelenius HG & Ochoa-Alejo N. 2010. Mexican threatened cacti: current status and strategies for their conservation, páginas 1-59. En Tepper G (ed.), *Species diversity and extinction*. Nova Science Publishers, Inc. Nueva York, EUA.
- Silman, M. R., Terborgh, J. W. and Kiltie R. A. 2003. Population regulation of a dominant rain forest tree by a major seed predator. *Ecology* **84**:431-438.
- Thompson K & Grime JP. 1979. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *J Ecol* **67**:893-921.
- Valiente-Banuet A & Ezcurra E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley, Mexico. *J Ecol* **79**:961-971.

# Distribución potencial de *Mesembryanthemum crystallinum* (L.), especie exótica invasora

Cárdenas-Ramos Diana<sup>1\*</sup>, Golubov Jordan<sup>2\*</sup> & Mandujano María C<sup>1\*</sup>

## Resumen

Las especies exóticas invasoras (EEI) tienen una alta capacidad de dispersión, crecimiento y tolerancia al estrés, permitiéndoles colonizar ecosistemas fuera de su rango de distribución natural. Las EEI modifican los ciclos biogeoquímicos, la estructura de la comunidad o las interacciones bióticas, causando la extinción de especies nativas. *Mesembryanthemum crystallinum* es una especie africana introducida en otros países como planta de ornato, en donde compite por el agua y limita el establecimiento de especies nativas al modificar la química del suelo. Este trabajo elaboró un modelo de distribución potencial de *M. crystallinum* para determinar las áreas que pueden ser invadidas por la especie. Se caracterizó el hábitat donde se establece *M. crystallinum* en México con los mapas de uso de suelo y vegetación, clima, suelo y temperatura y, los puntos de presencia de la especie, de los que se extrajeron las variables ambientales. Sin considerar su distribución natural, *M. crystallinum* actualmente se encuentra en 21 países, aunque tiene el potencial de establecerse en 54 países nuevos, de los cuales en 36 países la probabilidad de establecimiento es baja; sólo en Somalia, Sudán y en el centro-norte de México, la probabilidad de establecimiento es alta. En México *M. crystallinum* se establece en sitios con temperatura semicálida, con clima semiárido frío o desértico cálido, en suelos de tipo regosol (éutrico y calcárico) o litosol, con vegetación dominada por disturbio antrópico (manejo agrícola, pecuario y forestal), así como en matorral rosetófilo y vegetación halófila y gipsófila. El modelo de idoneidad ambiental sugiere que *M. crystallinum* seguirá colonizando áreas circundantes a los sitios en los que actualmente se encuentra, observándose una probabilidad de establecimiento más alta en la costa que decrece hacia dentro del territorio, además, la especie tiene estrategias reproductivas y adaptativas que incrementa el potencial de invadir sitios nuevos.

**Palabras clave:** idoneidad del hábitat, *MaxEnt*, plantas exóticas, variables climáticas.

## Abstract

Invasive alien species (IAS) have a high capacity for dispersal, growth and stress tolerance, allowing them to colonize ecosystems outside their natural distribution range. IAS modify biogeochemical cycles, community structure or biotic interactions, causing the extinction of native species.

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, Instituto de Ecología, Depto. Ecología de la Biodiversidad, Laboratorio de Genética y Ecología, Apartado Postal 70-275, Ciudad de México, C.P. 04510.

<sup>2</sup> Laboratorio de Ecología, Sistemática y Fisiología Vegetal, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Ciudad de México, México

\*Autores de correspondencia: dianacardenasr92@gmail.com, mcmandujano@ieciologia.unam.mx, gfgordan@correo.xoc.uam.mx

*Mesembryanthemum crystallinum* is an African species and was introduced to other countries as an ornamental plant or cultivated to produce caustic soda, where it competes for water and limits the establishment of native species by modifying the chemistry of the soil. Our aim was to develop a potential distribution model of *M. crystallinum* to determine the areas that can be invaded by this species. The habitat where *M. crystallinum* is established in Mexico was characterized with maps of land use and vegetation, climate, soil and temperature, and the points of presence of the species, from which the environmental variables were extracted. Regardless of its natural distribution, *M. crystallinum* is currently found in 21 countries, although it has the potential to establish in 54 new countries, of which only in Somalia, Sudan and Mexico had a high probability of establishment. In Mexico, *M. crystallinum* is established in sites with warm temperatures, with cold semi-arid or hot desert climates, in regosol (eutric and calcaric) or lithosol-type soils, in areas with anthropic disturbance (agricultural, livestock and forestry management), as well as in rosetophyllous scrub and halophytic and gypsophilous vegetation types. The environmental suitability model suggests that *M. crystallinum* will continue to colonize areas surrounding the sites where it is currently found, observing a higher probability of establishment along the coast and decreasing inland, in addition, the species has reproductive and stress tolerant strategies which increases the potential to invade new sites.

**Keywords:** climatic variables, exotic plants, habitat suitability, *MaxEnt*.

## Introducción

En la actualidad la pérdida de la diversidad biológica a nivel genético (variabilidad genética), taxonómico (especies o taxones) y ecológico es inminente (interacciones) (Badii 2015). Esta reducción puede ser multifactorial puesto que depende de la especificidad biológica que presentan algunas especies (p.j. distribución restringida, ciclos de vida largos o sistemas reproductivos complejos), características que las vuelven susceptibles a cambios tan abruptos como el disturbio antropogénico (Hernández & Godínez 1994). La sobreexplotación de los recursos, la presencia de contaminantes y las especies invasoras, son los factores que tienen mayor impacto sobre los ecosistemas (Naranjo & Dirzo 2009), siendo esta última, el segundo factor causante de la reducción de la diversidad biológica a nivel mundial (Burgie 2010; Badii 2015). Las especies exóticas son aquellas que se

introducen de forma accidental o dirigida fuera de su área de distribución natural. Son consideradas como especies exóticas invasoras (EEI) cuando después de ser introducidas se establecen, se reproducen y forman poblaciones viables que pueden dispersarse y colonizar áreas cercanas generando impactos negativos a la salud, el ecosistema o a la economía (SEMARNAP 2000; Badii 2015; CBD 2020). El éxito que tienen las EEI radica en que la mayoría tiene una alta capacidad de dispersión, crecimiento rápido, tolerancia al disturbio, al estrés o a la variabilidad ambiental y, en el caso de las plantas, producción masiva de semillas o propágulos clonales y formación de bancos de semillas (Burgie 2010; Badii 2015; CBD 2020). Las EEI alteran una gran cantidad de procesos, como los ciclos biogeoquímicos, la estructura de la comunidad vegetal o las interacciones bióticas en los ecosistemas, además, afectan el establecimiento, crecimiento y supervivencia

de las especies nativas al competir contra ellas por los recursos (agua, espacio, luz, nutrientes, entre otros), llegando incluso a causar su extinción (Donlan & Wilcox 2008; Burgie 2010; CBD 2020). El impacto de las EEI no sólo ocurre a nivel ecológico, sino que afecta la economía (p.j. pérdida de cosechas o daños en el sector pesquero) y la salud pública, esto último ocurre porque pueden ser portadoras de enfermedades (Naranjo & Dirzo 2009; CONABIO 2010; Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras 2010).

Las actividades humanas son uno de los factores que promueve la introducción accidental (p.j. descarga de aguas de lastre) o dirigida de las EEI, una de las formas más comunes de introducción dirigida es a través del uso ornamental de plantas (Burgie 2010; Badii 2015; CBD 2020). Se sabe de una frecuencia alta de especies vegetales que se han introducido para la reforestación, el paisajismo o como plantas de ornato y, que han causado impactos directos en la economía, la biodiversidad y la salud (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras 2010; Saad Alvarado 2016). Uno de los casos más conocidos es la introducción del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), una maleza que crece rápidamente formando tapetes flotantes que reducen la entrada de luz y agua, cambio que ocasiona la muerte de otras especies vegetales o peces nativos. El lirio acuático también entorpece la navegación, la pesca y obstruye canales de riego, además de promover el aumento en las poblaciones de mosquitos que se asocian a la aparición de enfermedades como el cólera o dengue, entre otras (CONABIO 2015).

*Mesembryanthemum crystallinum*, vidrillo, hielito, o escarcha, es una planta nativa del

norte de África (Argelia, Libia, Marruecos, Túnez y Egipto) y sudoeste de África (Namibia y Sudáfrica), que crece de forma silvestre en las Islas Canarias. El vidrillo es una de las plantas barrilleras que se sembraron ampliamente en España durante los siglos XVIII y XIX para la producción de sosa cáustica que se utilizaba en la industria cosmética en la producción de jabones, entre otras (GEVIC 2021). La industria se desmanteló con el auge de la producción química de la sosa cáustica, las plantas dejaron de cosecharse y con ello se extendió el dominio del vidrillo en las planicies salobres de la península Ibérica. Posiblemente la especie sí tenía distribución natural en las Islas Canarias, pero en el continente fue introducida para hacer plantaciones en suelos salinos (GEVIC 2021). En la actualidad aún se desconoce si es una especie nativa de Asia occidental (Israel) y el sur de Europa (España, Francia, Italia y Yugoslavia), no obstante, algunos autores consideran que la especie fue introducida y, se ha naturalizado en estas regiones. Actualmente se encuentra establecida como EEI en el norte y sur de América, Australia y México, regiones en las que se introdujo como planta de ornato, para controlar la erosión del suelo o de forma accidental a través del agua de lastre de los barcos (Chambers & Oshant 2004; CABI 2021). De forma natural se establece en distintos hábitats, incluidos los inhóspitos como los matorrales, ya que es muy tolerante al estrés hídrico, lo anterior sugiere que tiene un gran potencial de colonización o invasión, al establecerse fuera de su área de distribución natural en zonas costeras o arenosas, sitios perturbados o con erosión (p.j. en las orillas de las carreteras o áreas de pastoreo excesivo), salinos y pobres en nutrientes (Van Devender *et al.* 2009;

Mandujano MC



FOTO 1. Agregación de individuos establecidos de *Mesembryanthemum crystallinum* en Ensenada, Baja California, México.

CABI 2021). Como especie invasora, tiene una gran capacidad de absorción, por lo que compite con las especies nativas por los recursos, principalmente el agua, además, impide el establecimiento y supervivencia de otras plántulas nativas, ya que modifica la química del suelo por la acumulación excesiva de nitratos desde las raíces y hasta los

brotos, que se liberan una vez que la planta muere (Vivrette & Muller 1977; Brown & Bettink 2009, Cal-IPC 2016).

Actualmente, *M. crystallinum* se ha establecido en las zonas costeras de USA (Florida y California), Sudamérica y en Australia (Stephens 1994). Recientemente se registra como una especie no nativa en la península



FOTO 2. Acercamiento de *Mesembryanthemum crystallinum* en Ensenada, Baja California, México, produciendo botones florales de color blanco con ligeros tintes rosas en la punta.

la de Baja California y como una planta invasora en las zonas desérticas de Sonora, México, donde es considerada una especie con el potencial de dañar hábitats naturales (Van Devender *et al.* 2009; Garcillán *et al.* 2013). Aunque no se registra su presencia en otras partes de México, la evaluación de riesgo realizada con el Método de Evaluación Rápida de Impasividad (MERI), método específico para especies exóticas para México, indica que el riesgo de invasión para nuestro país es alto (CONABIO 2016). Debido a su alto potencial de invasión y, al efecto que tiene *M. crystallinum* en el establecimiento de otras especies vegetales, este trabajo realizará un modelo de idoneidad ambiental o distribución potencial de *M. crystallinum* para conocer los sitios que, de acuerdo a sus características climáticas, son más propensos a ser invadidos por la especie

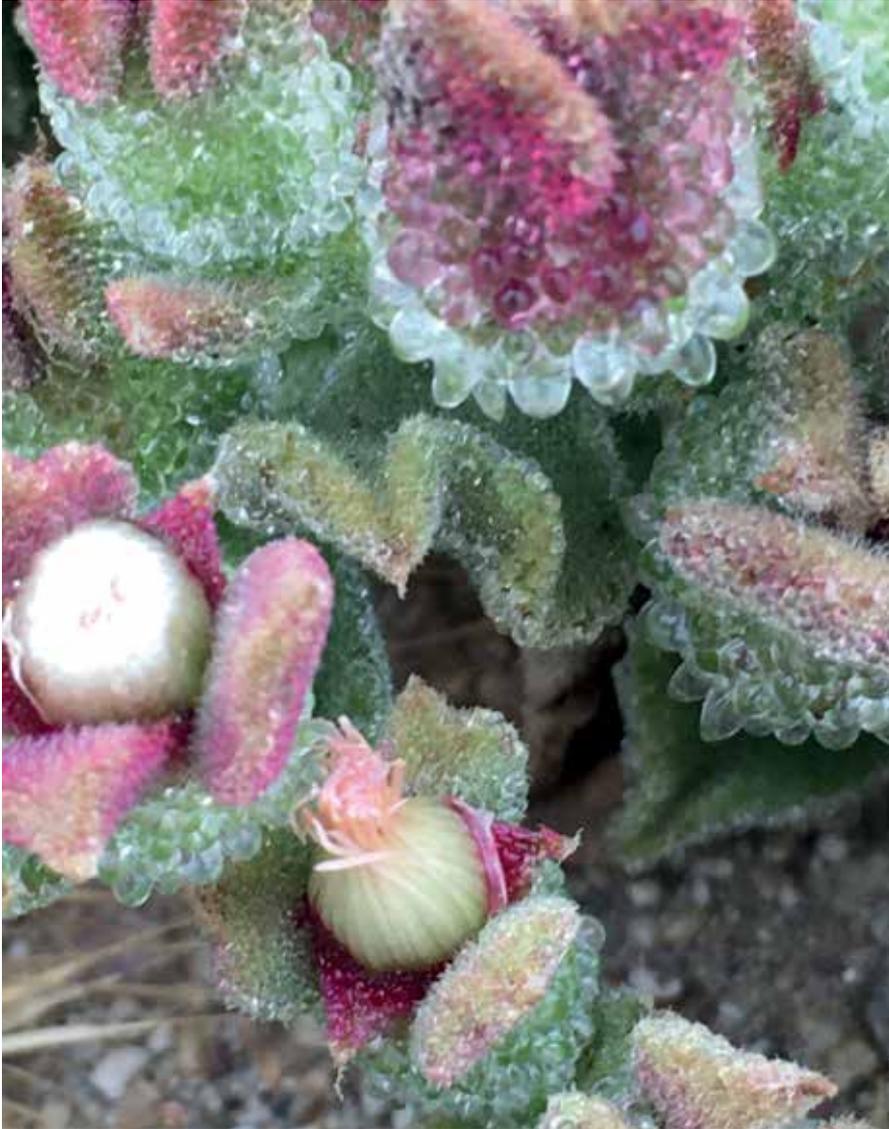


FOTO 3. *Mesembryanthemum crystallinum* en floración. Foto tomada de GBIF, iNaturalistaseudónimo joelmery (en: <https://www.gbif.org/es/occurrence/3039116026>).

en México y a nivel mundial. Además, se determinará el tipo de suelo y vegetación, así como la temperatura y el clima presente en los sitios donde actualmente se distribuye *M. crystallinum* en México.

### Especie de estudio

*Mesembryanthemum crystallinum* (L.), 1753, conocida como escarcha o hielito. Es una planta anual o bianual, halófito, suculenta y arbustiva, de color verde o rojiza. Sus hojas son anchas en las puntas terminales y estrechas en la base, tienen un margen ondulado y se encuentran cubiertas por papilas cristalinas (Foto 1). Presenta ramificación dicotómica, con numerosos tallos gruesos y postrados, por lo que crece formando macollos de hasta 40 cm de diámetro. Las flores son hermafroditas, solitarias, axilares o en inflorescencias terminales con 3-5 flores. El cáliz de las flores es blanco, aunque pue-



Mandujano MC

FOTO 4. Las hojas crasas de *Mesembryanthemum crystallinum* tienen papilas acuosas (reservas de agua) con gran contenido de sal, que asemeja gotas de agua o cristales, de esta característica se deriva su nombre de escarcha, hielito, o vidrillo.

de presentar tintes rojo rosado en el ápice (Fotos 2 y 3). Las partes vegetativas y las flores se encuentran cubiertas por vejigas membranosas, transparentes que le dan a la planta la apariencia de estar cubierta por el rocío matutino (Fotos 1 a 4). La floración

es de marzo a junio, sin embargo, la germinación no es sincrónica por lo que pueden observarse individuos con flores el resto del año; la polinización es por abejas y la fructificación es de junio a agosto. Un individuo puede producir hasta 1500 semillas por

temporada reproductiva, además de formar un banco de semillas, ya que éstas pueden permanecer latentes hasta dos años; la dispersión de semillas es a través del viento, roedores o conejos. Las semillas son latentes y forman bancos de semillas por varios años. Se ha reportado que la latencia se rompe en presencia de temperaturas frías o con cualquier evento antrópico de perturbación (p.j. pastoreo, incendios, entre otros). Su uso principal es el ornamental, aunque también se utiliza para elaborar jabón. Además, se cultiva como hortaliza y las hojas se sirven como espinacas (Gonçalves 1990; Stephens 1994; Vivrette 1999; Brown & Bettink 2009; Cal-IPC 2016; CABI 2021).

Modelo de distribución potencial. Con el algoritmo de máxima entropía *MaxEnt* (Phillips *et al.* 2006) se elaboró un modelo de idoneidad del hábitat o de distribución potencial de *M. crystallinum*. En el modelo se incluyeron registros de presencia de la especie y variables climáticas de temperatura y precipitación obtenidas directamente de BIOCLIM (Worldclim ver <https://worldclim.org/bioclim>) a una resolución de 5 arcmin (~ 9.2 Km). Los registros de presencia se obtuvieron de la plataforma GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) (GBIF [www.gbif.org](http://www.gbif.org)) ( $n = 6\ 677$  registros); de este conjunto de datos se eliminaron los registros repetidos, datos con coordenadas geográficas incompletas, registros menores al año 1900 y de ejemplares en cautiverio o que forman parte de colecciones vivas (p.j. jardines botánicos, viveros, entre otros), además, se eliminaron 935 registros de observación que no se encontraban en tierra firme, es decir, que se localizaban en mar abierto o cuerpos de agua; al final, la base de datos contenía 4 310 registros. Con el fin de reducir la colinealidad en el modelo, se

estimó el factor de inflación de la varianza (VIF) entre las 19 variables de BIOCLIM. Se ha establecido que valores  $VIF > 2$  pueden indicar correlación entre las variables explicativas, por lo que se seleccionaron las variables con un  $VIF < 2$  (Zuur *et al.* 2010); el análisis se realizó con el paquete “usdm” del software R Core Team version 4.1.1 (2021). El modelo de idoneidad del hábitat contenía las siguientes variables: a) BIO1 = temperatura media anual, b) BIO2 = temperatura media mensual (temperatura máxima–temperatura mínima), c) BIO4 = Estacionalidad de la temperatura, d) BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío, e) BIO10 = Temperatura media del trimestre más cálido, f) BIO11 = Temperatura media del cuarto más frío, g) BIO15 = Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación), h) BIO16 = Precipitación del cuarto más húmedo, i) BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido. Se consideraron 10 000 puntos aleatorios para calibrar el modelo (background). Del modelo se corrieron diez réplicas con 500 iteraciones, considerando un umbral de 0.05; se utilizaron 90% de los datos de entrenamiento y 10% de coincidencias para la prueba de validación. Del total de réplicas se eligió aquella con el valor más alto de AUC (Area Under the Curve) o ROC (Receiver Operating Characteristic), que evalúa la habilidad predictiva de los modelos de distribución. AUC adquiere valores entre 0.5 y 1, siendo 1, indicativo de una excelente predicción en el modelo (Pearce & Ferrier 2000). Del modelo resultante, se identificaron los países que pueden ser colonizados por *M. crystallinum*, sin considerar los sitios en los que establece como especie nativa: Argelia, Libia, Marruecos, Namibia, Sudáfrica, Túnez y Egipto.

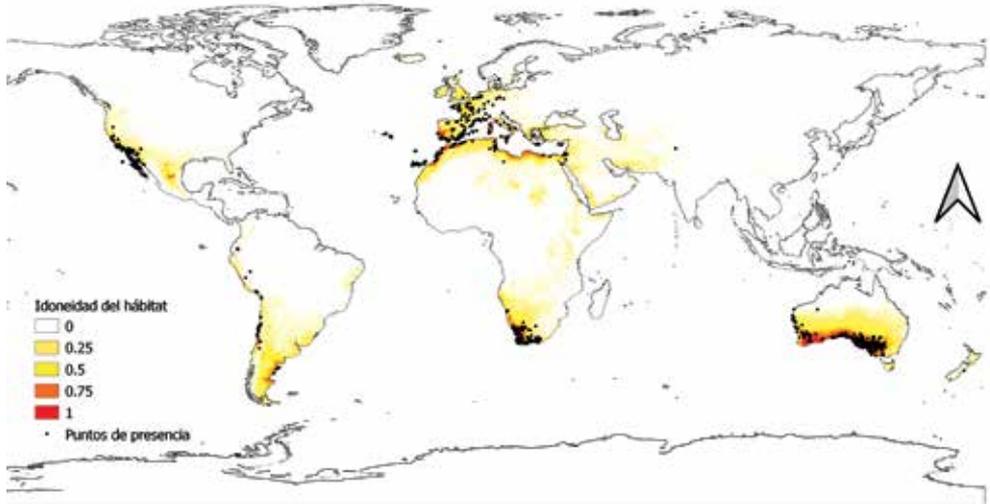


FIGURA 1. Registros de presencia y distribución potencial de *Mesembryanthemum crystallinum*. La idoneidad del hábitat estimada para la especie toma valores de 0 a 1, siendo 1 (color rojo) indicativo de una alta probabilidad de establecimiento de la especie. Elaborado por Cárdenas-Ramos D.

Con el fin de caracterizar el hábitat donde se ha establecido *M. crystallinum* en México, se descargaron las capas de uso de suelo y vegetación (escala 1: 1000000) (CONABIO 1999), clima siguiendo la clasificación de Köppen-Geiger (escala 1:1000000) (García 1998), tipo de suelo (escala 1:1000000) (INIFAP-CONABIO 1995) y temperatura de México (escala: 1:1000000) (Cuervo-Robayo *et al.* 2014), del portal CONABIO. En dichas capas se proyectaron los puntos de presencia de *M. crystallinum* y posteriormente, se extrajeron las variables ambientales.

## Resultados

*Mesembryanthemum crystallinum* es una especie que actualmente se encuentra establecida en 21 países fuera de su área de distribución natural (norte y suroeste de África), los cuales son: Alemania, Argentina, Australia, Bélgica, Chile, Ecuador, España, Estados Unidos, Francia, Grecia, Isla Santa Elena, Israel, Italia, México, Nueva Zelanda,

Países Bajos, Pakistán, Palestina, Perú, Portugal y Reino Unido (Fig. 1). Considerando las variables climáticas y los registros de presencia de la especie, el modelo de distribución potencial (AUC = 0.936) indica que *M. crystallinum* seguirá colonizando áreas circundantes a los sitios en los que actualmente se encuentra, observándose una probabilidad de establecimiento más alta en la costa ( $p = 0.75$ ) que decrece hacia dentro del territorio ( $p = 0.25$ ) (Fig. 1). La idoneidad del hábitat calculada para la especie oscila entre 0 y 1, siendo 0 indicativo de nula probabilidad de establecimiento y 1, de alta probabilidad de establecimiento de la especie. De acuerdo con lo anterior, la especie tiene el potencial de establecerse en 54 países diferentes, de los cuales, la probabilidad más baja de establecimiento ( $p = 0.25$ ) se presenta en 36 países: Angola, Bolivia, Botswana, Bulgaria, China, Colombia, Dinamarca, Eritrea, Etiopía, Hungría, India, Iraq, Irlanda, Islandia, Jordania, Kenia, Kirguistán, Malawi, Mozambique, Noruega, Polonia,

Rep. Checa, Rep. Democrática del Congo, Ruanda, Rumania, Rusia, Sahara occidental (territorio no autónomo), Serbia, Siria, Sudan del Sur, Suecia, Tanzania, Uganda, Uzbekistán, Venezuela y Zambia (Fig. 1). La probabilidad de establecimiento de *M. crystallinum* es de 0.5 en países como Albania, Arabia Saudita, Azerbaiyán, Brasil, Canadá, Chad, Croacia, Dinamarca, Irán, Islas Malvinas, Nigeria, Omán, Turkmenistán, Turquía, Uruguay y Yemen. Finalmente, la probabilidad más alta de establecimiento de *M. crystallinum* ( $p = 0.75$ ) se observa en algunas regiones de Somalia y Sudán y en el centro-norte de México (San Luis Potosí y Zacatecas) (Fig. 1).

En México, *M. crystallinum* solo se ha establecido en algunos sitios de Baja California Norte (BCN) ( $n = 147$  registros), Baja California Sur (BCS) ( $n = 67$  registros) y Sonora (Son) ( $n = 28$  registros), siendo BCN el estado con más reportes de presencia. La especie *M. crystallinum* se establece en tres tipos diferentes de temperatura: cálida, semicálida y templada, siendo los sitios con temperatura semicálida los más frecuentes para su establecimiento (Cuadro 1). La especie se encuentra en nueve tipos distintos de clima en México (BSks, BWks, BWhs, BW(h)s, BW(h>w, BW(h)(x), BW(h)(x), BWk(x) y Cb(s), observándose más registros de presencia de la especie en los sitios con clima BSks o semiárido frío ( $n = 76$  registros) y clima BWhs o desértico cálido ( $n = 75$  registros) (Cuadro 1). De acuerdo a la clasificación de uso de suelo y vegetación en México (CONABIO 1999), *M. crystallinum* se establece en 13 tipos distintos de vegetación, teniendo más registros de presencia de la especie en la categoría "Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones)" (MAPF)

que corresponde a sitios perturbados donde la vegetación natural ha sido modificada por las actividades antrópicas; en segundo lugar, se encuentra la vegetación de tipo matorral rosetófilo ( $n = 43$  registros), seguida de la vegetación halófila y gipsófila ( $n = 39$  registros) (Cuadro 1). La especie se establece en 18 tipos distintos de suelo, no obstante, los registros son más frecuentes en suelos de tipo Regosol éutrico (RE), Litosol (L) y Regosol calcárico (RC) (Cuadro 1).

Del total de puntos de presencia de la especie en BCN ( $n = 147$  registros), en 67.3% registros, la temperatura es templada, seguida de la temperatura semicálida (27.8% registros) y cálida (4.7% de registros) (Cuadro 1). En 31.2% de los registros, la vegetación es de tipo MAPF, es decir, la vegetación se modificó por las actividades humanas; el clima predominante es BSks o desértico cálido (51.7% registros) y la especie se establece en suelo RE (42 registros). En BCS, 64.1% de los registros corresponden a temperatura semicálida y, 73.1% al clima BWhs o semiárido frío; la vegetación de tipo halófila y gipsófila se presenta en 38.8% de los registros y, el establecimiento de la especie ocurre con más frecuencia en el suelo RE (46.2% registros). En Sonora, *M. crystallinum* se establece en sitios con temperatura semicálida (82.1% registros) y con clima BW(h)(x) o desértico cálido (85.7% registros), en suelo de tipo RC (28.5% registros) y en sitios donde la vegetación ha sido removida con el fin de llevar a cabo actividades económicas (MAPF) (32.1% registros).

## Discusión

Considerando sólo las características climáticas que prevalecen en el área de distribución natural de *M. crystallinum*

CUADRO 1. Temperatura, clima, vegetación y suelo presente en los sitios donde se establece *Mesembryanthemum crystallinum* en México. Se muestra la frecuencia absoluta de observaciones o registros de presencia de la especie.

	Temperatura			Templada														
	Cálida	Semicálida																
bcn	7	41		99														
bcs	24	43		-														
Soil	5	23		-														
Clima																		
	BSks	Cl's	BW(H')(x')	BWks	BW(H')(x')	BW(H')s	BW(H')w											
bcn	76	1	9	23	7	26	5											
bcs	-	-	4	-	7	49	-											
Soil	-	-	3	-	24	-	-											
Vegetación																		
	MS	MAPP	BE	VHG	MDM	VSA	C	CI	MD	MET	MR	VG	ASV					
bcn	21	46	-	9	1	8	11	3	1	1	43	3	-					
bcs	15	15	2	26	7	2	-	-	-	-	-	-	-					
Soil	1	8	-	4	5	9	-	-	-	-	-	-	1					
Suelo																		
	FC	FE	FH	L	P	PE	RC	RE	SA	SG	SO	VC	XC	XH	XL	YC	YH	YL
bcn	1	2	24	25	4	6	4	42	2	1	6	14	2	1	11	-	1	1
bcs	-	3	1	8	2	-	14	31	-	1	3	-	-	-	-	-	3	1
Soil	-	-	-	5	1	-	8	1	-	3	3	-	-	-	-	7	3	-

Notación: *Vegetación*-ASV: Áreas sin vegetación aparente, BE: Bosque de encino, C: Chaparral, CI: Ciudades importantes, MAPP: Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones), MD: Matorral desértico, MDM: Matorral desértico micrófilo, MET: Matorral espinoso tamaulipeco, submontano y subtropical, MR: Matorral rosetófilo, MS: Matorral sarcocastaule, VG: Vegetación de galetas, VHG: Vegetación halófila y gipsófila y VSA: Vegetación de suelos arenosos. *Suelo*-FC: fluvisol calcarico, FE: fluvisol éutrico, FH: Feozem haplico, L: Litoso, P: Petrocalcica, PE: Planosol éutrico, RC: Regosol calcarico, RE: Regosol éutrico, SA: Solonetz albio, SG: Solonchak gleyico, SO: Solonchak órtico, VC: Vertisol crómico, XC: Xerosol crómico, XH: Xerosol haplico, XL: xerosol lúvico, YC: Yermosol cálcico YH: Yermosol haplico y YL: Yermosol lúvico.

(norte y sudoeste de África), el modelo de idoneidad del hábitat estimado con *MaxEnt*, sugiere que la especie tiene el potencial de establecerse hasta en 54 países nuevos. No obstante, en la mayoría de los países la probabilidad de establecimiento es muy baja ( $p = 0.25$ ), además, en los sitios que potencialmente pueden ser colonizados por la especie, la invasión no es muy extensa al observarse la distribución puntual de *M. crystallinum* sobre la línea de costa y áreas circundantes, sugiriendo que tiene un nicho ecológico restringido a las zonas costeras. Considerando lo anterior, las corrientes marinas podrían favorecer la dispersión de semillas y propágulos clonales de *M. crystallinum* a lo largo de las líneas costeras, esto sin considerar que el cambio climático ha modificado las corrientes marinas y el oleaje, convirtiéndolos en eventos más intensos que promueven la propagación y el movimiento de las especies (Burgie 2010). Tal como ocurre en *Cissus verticillata* una especie nativa con comportamiento invasor en la zona de manglares de Nayarit, México; la dispersión de los propágulos y las semillas de esta especie se ve favorecida por las corrientes naturales de agua dulce hacia la marisma y por el cambio intencional de las corrientes de agua (p.j. construcción de sistemas de riego agrícolas) además, de la dispersión por aves nativas (PIER 2012; PNUD 2017). Por otro lado, el establecimiento de *M. crystallinum* en hábitats diferentes a los de su distribución natural puede acelerarse por la influencia humana, en este último aspecto, al presentarse la introducción dirigida de la especie como planta de ornato, que es la principal forma de introducción de la especie (CABI 2021). Se sabe de un sinnúmero de especies que se encuentran en

macetas o en jardineras como plantas de ornato, que tienen el potencial de escapar y dispersarse en áreas circundantes llegando a convertirse en plagas que desplazan a las especies nativas (Lafón Terrazas 2011). Incluso en especies como *M. crystallinum*, su establecimiento no requiere de ecosistemas prístinos o condiciones ambientales óptimas, pues coloniza hábitats perturbados, tal como *Caesalpinia gilliesii*, un arbusto nativo de Argentina y Uruguay, que se cultiva en jardines o patios de México por sus flores llamativas color rojo y amarillo. No obstante, *C. gilliesii* escapa y coloniza sitios perturbados, corrales, zonas urbanas o ecosistemas deteriorados debido a su producción masiva de semillas y alto porcentaje de germinación (Lafón Terrazas 2011).

Aunque en este estudio se estimó que la probabilidad de invasión de *M. crystallinum* en hábitats nuevos es baja, en los sitios donde actualmente se encuentra y donde posiblemente se establezca, podría reducir a corto plazo la diversidad nativa de especies, ya que biológicamente tiene estrategias reproductivas y adaptativas que le permiten crecer rápidamente y, formar tapetes de vegetación que modifican el suelo e impiden el establecimiento de otras especies (CABI 2021). Una estrategia de colonización de *M. crystallinum* es la producción masiva de semillas (hasta 1500 semillas/individuos) y dispersión por vectores bióticos y abióticos. Además, tiene la capacidad de formar bancos de semillas con latencia de al menos dos años, atributo que le permite prevalecer a través del tiempo. Estas estrategias reproductivas se han registrado en otras especies invasoras como *Leonotis nepetifolia* una especie anual originaria de África y *Ulex europaeus*, especie originaria de Europa. Am-

bas especies forman bancos de semillas y en *U. europaeus* las semillas pueden ser latentes hasta por 30 años, además, producen numerosas semillas con alto porcentaje de germinación (Colombo-Speroni & De Viana 2000; Piedra-Ibarra *et al.* 2005). En cuanto a sus estrategias adaptativas, *M. crystallinum* es una especie con metabolismo CAM facultativo, es decir, tiene la capacidad de pasar del metabolismo C3, al metabolismo CAM al presentarse estímulos ambientales como escasez de agua, saturación salina en el suelo, temperaturas diurnas altas y temperaturas nocturnas bajas. Esta característica le permite responder de forma eficaz en ambientes con estrés hídrico, e incluso sobrevivir por largos periodos de tiempo en sitios donde la sequía es prolongada, lo que le confiere una ventaja competitiva con las especies nativas de hábitats estresantes como son las zonas áridas y semiáridas de México, sitios en los que actualmente se encuentra establecido *M. crystallinum* (Winter 1974; González-Medrano 2012).

Debido a sus estrategias reproductivas y adaptativas, *M. crystallinum* es una especie con un gran potencial de invasión para México, ya que su establecimiento se puede presentar aún bajo condiciones ambientales estresantes, lo que incrementa el riesgo de invasión de hábitats nuevos. Por ejemplo, en este estudio se observó que, en México, *M. crystallinum* se encuentra con mayor frecuencia en hábitats perturbados, además se establece hasta en 18 tipos distintos de suelos, que en su mayoría presentan condiciones edáficas inhóspitas, ya que corresponden a suelos salinos o yesosos de zonas áridas y semiáridas, lagunas costeras, marismas y litorales (González-Medrano 2012). Particularmente, *M. crystallinum* se encontró con mayor frecuencia en suelos

de tipo regosol, que se caracterizan por presentar bajo contenido de carbonato de cálcico, carbono orgánico y sales, además, están cubiertos por una capa muy fina denominada "ócrica" que se vuelve muy dura al removerse la vegetación, lo que impide la filtración del agua y favorece la erosión del suelo (Arriaga *et al.* 2000; SEMARNAT 2000). En cuanto al clima, *M. crystallinum* se localiza en áreas con clima desértico cálido, con precipitación escasa, lluvias invernales, veranos cálidos e inviernos fríos (García E. 1998; Kottek *et al.* 2006) y en clima semiárido frío, con una temperatura no mayor a 18 °C, lluvias invernales y, precipitación debajo del umbral anual (García 1998; Kottek *et al.* 2006).

En Baja California Norte (BCN) se registró el mayor número de observaciones de *M. crystallinum*. Se ha establecido que BCN es uno de los estados de la República Mexicana en los que se han producido más cambios en la vegetación como consecuencia del desarrollo de actividades antrópicas (p.j. agricultura), que han ocasionado la salinización de la mayoría de los suelos (Ramírez-Hernández & García 2004; Palma-Ordaz & Delgadillo-Rodríguez 2014). Se sabe que *M. crystallinum* es una especie halófila facultativa, es decir, tiene la capacidad de establecerse en ambientes salinos (Winter 1974; González-Medrano 2012; Roy & Chakraborty 2014), lo anterior sugiere que las condiciones edáficas que se presentan en BCN pueden favorecer el establecimiento de *M. crystallinum*, lo que podría explicar que en este estado se contabilizaron más registros de presencia de la especie. No obstante, la abundancia de individuos de *M. crystallinum* en BCN, también puede atribuirse a la similitud climática, geográfica y ecológica con el há-

bitat nativo de la especie, ya que tanto en BCN como en el área de distribución natural de *M. crystallinum*, se presenta la ecorregión “bosques mediterráneos, bosques y matorrales” (Argelia, Libia, Marruecos y Túnez) y la ecorregión “desiertos y matorrales xerófilos” (Argelia, Egipto y Libia) (Dinerstein *et al.* 2017).

Finalmente, aunque el modelo de distribución potencial sugiere que existe una alta probabilidad de establecimiento del *M. crystallinum* en el centro-norte de México, es posible que no pueda llegar a colonizar estas áreas, aunque las características climáticas y edáficas sean muy parecidas al hábitat en el que actualmente se encuentra, esto se debe a que el modelo puede llegar a sobreestimar el área de distribución de la especie, ya que establece sitios de idoneidad a partir de factores ambientales, sin considerar la biología de la especie (Chefaoui & Lobo 2008) y, el nicho ecológico de *M. crystallinum* aparentemente se restringe a las líneas costeras y áreas circundantes, por lo que la especie no podría colonizar *áreas lejanas a las costas*, aunque el hábitat sea idóneo para su establecimiento.

En este estudio se observó que *M. crystallinum* puede colonizar hasta 54 países nuevos, aunque la probabilidad de establecimiento fue baja para la mayoría de los países. No obstante, *M. crystallinum* es una especie con un gran potencial de invasión, ya que una vez establecida, puede formar tapetes vegetales que impiden el establecimiento de nuevas especies, por lo que puede reducir drásticamente la diversidad nativa de los ecosistemas que invade (Guerrero-Eloisa *et al.* 2020). Esto sin considerar que es una especie con estrategias adaptativas y reproductivas (p.j. producción masiva de semillas) que le permiten colonizar hábitats

perturbados, con factores ambientales estresantes (p.j. temperaturas altas, salinidad en el suelo, precipitación esporádica).

## Agradecimientos

Al proyecto “Gestión y divulgación de información de especies invasoras para México” que forma parte del Megaproyecto GEF 00089333 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través la Implementación de la Estrategia Nacional de las EEI”, por proveer los recursos necesarios para desarrollar este trabajo. Asimismo, agradecemos la colaboración de M. en B. Sandino Guerrero-Eloisa en la base de datos.

## Literatura Citada

- Arriaga L, Espinoza JM, Aguilar C, Martínez E, Gómez L & Loa E. 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.
- Badii MH, Guillen A, Rodríguez CE, Lugo O, Aguilar J & Acuña M. 2015. Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos. *Int J Good Consc* **10**:156-174.
- Brown KL & Bettink KA. 2009. Swan Weeds: Management Notes, Florabase-The Western Australian Flora. Department of Biodiversity, Conservation and Attractions. <<https://florabase.dpaw.wa.gov.au/projects/swanweeds/>>. Consultado el 10 de noviembre de 2021.
- Burgiel SW & Muir AA. 2010. *Invasive Species, Climate Change and EcosystemBased Adaptation: Addressing Multiple Drivers of Global Change*. Global Invasive Species Programme (GISP). Washington, DC. y Nairobi, Kenya.
- CABI. 2021. *Mesembryanthemum crystallinum* (planta de hielo cristalino). <<http://www>

- cabi.org/isc/datasheet/115578>. Consultado 10 de octubre de 2021.
- Cal-IPC. 2016. Invasive Plants of California's Wildland. *Mesembryanthemum crystallinum*. <http://www.calipc.org/ip/management/ipcw/pages/detailreport.cfm@usernumber=13&surveynumber=182.php>. Consultado el 12 de agosto de 2021.
- CBD. Convention on Biological Diversity. 2020. Especies exóticas invasoras. <<https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheet-ias-es.pdf>>. Consultado el 5 de septiembre de 2021.
- Chambers N & Oshant T. 2004. *Plantas Invasoras del Desierto Sonorense: una guía de campo*. Sonoran Institute, Environmental Education Exchange y National Birds and Wildlife Foundation. Tucson, USA.
- Chefaoui RM & Lobo JM. 2008. Assessing the effects of pseudo-absences on predictive distribution model performance. *Ecol Mod* **210**:478-486.
- Colombo-Speroni F & De Viana M. 2000. Requerimientos de escarificación en semillas de especies autóctonas e invasoras. *Ecol Austral* **10**:123-131.
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. *Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONANP). México.
- CONABIO. 1999. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO, escala 1:1000000. Ciudad de México. México.
- CONABIO. 2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, 1883. <[http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas\\_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO\\_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/D\\_E/Eichhornia%20crassipes.pdf](http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/D_E/Eichhornia%20crassipes.pdf)>. Consultado 12 de septiembre de 2021.
- CONABIO. 2016. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México. *Mesembryanthemum crystallinum* (L.), 1753. <[http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas\\_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO\\_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/M\\_P/Mesembryanthemum%20crystallinum.pdf](http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/MenuPrincipal/07Fichas%20tecnicas_OK/02Fichas%20tecnicas/Fichas%20t%C3%A9cnicas%20CONABIO_especies%20ex%C3%B3ticas/Fichas%20plantas%20invasoras/M_P/Mesembryanthemum%20crystallinum.pdf)>. Consultado el 20 de octubre de 2021.
- Cuervo-Robayo AP, Téllez-Valdés O, Gómez-Albores MA, Venegas-Barrera CS, Manjarrez J & Martínez-Meyer E. 2014. Temperatura media anual en México (1910-2009), escala: 1:1000000. modificado por CONABIO (2015). D.F. México
- Dinerstein E, Olson D, Joshi A, Vynne C, Burgess ND, Wikramanayake E, Hahn N, Palminteri S, Hedao P, Noss R, Hansen M, Locke H, Ellis EC, Jones B, Barber CV, Hayes R, Kormos C, Martin V, Crist E, Sechrest W, Price L, Baillie JEM, Weeden D, Suckling K, Davis C, Sizer N, Moore R, Thau D, Birch T, Potapov P, Turubanova S, Tyukavina A, de Souza N, Pintea L, Brito JC, Llewellyn OA, Miller AG, Patzelt A, Ghazanfar SA, Timberlake J, Klöser H, Shennan-Farpón Y, Kindt R, Barnekow Lilleso JP, van Breugel P, Graudal L, Voge M, Al-Shammari KF

- & Saleem M. 2017. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm. *BioScience* **67**:534-545.
- García E. 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Climas* (clasificación de Köppen, modificado por García), escala 1:1000000. México.
- Garcillán PP, León De La Luz JL, Rebman JP & Delgadillo J. 2013. Plantas no nativas naturalizadas de la península de Baja California, México. *Bot Sci* **91**:461-475.
- Gonçalves LM. 1990. *Mesembryanthemum* L. En Flora ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. (eds.) Castroviejo S, Laínz M, López González, Recoder PM, Muñoz Garmendia F, Paiva J & Villar Pérez L. Vol. II. Platanaceae-Plumbaginaceae (partim). Real Jardín Botánico, C.S.I.C. Madrid, España. Consultado 10 de octubre de 2021.
- González-Medrano F. 2012. *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D.F. México.
- Guerrero-Eloisa OS, Díaz-Segura O, Mandujano MC & Golubov J. 2020. *Mesembryanthemum crystallinum* L. (Aizoaceae): la planta de hielo africana en el norte de México. *Cact Suc Mex* **65**:14-28.
- GEVIC. 2021. PLANTAS BARRILLERAS. <<https://www.gevic.net/complementos.php?id=226>>. Consultado el 5 de noviembre de 2021.
- Hernández HM & Godínez AH. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Bot Mex* **26**:33-52. Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP)-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1995. *Edafología* Escala 1:1000000. México.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B & Rubel F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z* **15**:259-263.
- Lafón Terrazas A. 2011. *Diagnóstico de especies exóticas y eliminación de especies invasoras en la Reserva de la Biosfera Mapimí*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).
- Naranjo EJ & Dirzo R. 2009. Impacto de los factores antropogénicos de afectación directa a las poblaciones silvestres de flora y fauna. En: *Capital natural de México: estado de conservación y tendencias de cambio*. Vol. II. CONABIO. México.
- Palma-Ordaz S & Delgadillo-Rodríguez J. 2014. Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Bot Sci* **92**:587-597.
- Pearce J & Ferrier S. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecol Model* **133**:225-245.
- Phillips SJ, Dudík M & Schapire RE. 2006. Maxent software for modeling species niches and distributions (Versión 3.4.1). [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Consultado 6 de diciembre 2021.
- Piedra-Ibarra E, De La Torre-Almaraz R, Zuñiga G, Xoconostle-Cazares B & Ruiz-Medrano R. 2005. *Leonotis nepetaefolia*: An Important Plant Virus Reservoir in Central Mexico. *Phytoparasitica* **33**:480-494.
- PIER (Pacific Island Ecosystems at Risk). 2012. *Cissus verticillata* (L.) Nicolson & Jarvis, Vitaceae. [http://hear.org/pier/wra/pacific/Cissus\\_verticillata\\_subsp\\_verticillata\\_PMC.pdf](http://hear.org/pier/wra/pacific/Cissus_verticillata_subsp_verticillata_PMC.pdf). Consultado 4 de diciembre 2021.

- PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2017. Estudio para identificar las vías de introducción de la enredadera tripa de zopilote (*Cissus verticillata*), carrizo (*Arundo donax*) y zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) en la RBMNN y su área de influencia. Proyecto 00089333 "Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras".
- Ramírez-Hernández J & García SG. 2004. Chemical evolution of disposal brine of the Cerro Prieto geothermal field during its transport toward surrounding soils, Mexico. *Environ Geol* **46**:721-726.
- Roy S & Chakraborty U. 2014. Salt tolerance mechanisms in salt tolerant grasses (STGs) and their prospects in cereal crop improvement. *Bot Stud* **55**:31-39.
- Saad Alvarado L. 2016. Estudio sobre la viabilidad del desarrollo e implementación de instrumentos económicos para reducir el riesgo de introducciones intencionales de EEI que amenazan la biodiversidad. Informe final al Global Environment Facility (GEF) en el marco del proyecto Proyecto 00089333 Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEL, PNUD-CONABIO-SEMARNAT. México.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. *Ley General de Vida Silvestre*. Publicada el 3 de julio de 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 26 de enero de 2015.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2000. *Suelos*. <[http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/03\\_Suelos/3.1\\_Suelos/index.htm](http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/03_Suelos/3.1_Suelos/index.htm)>. Consultado el 18 de octubre de 2021.
- Stephens J. 1994. Ice Plant. *Mesembryanthemum crystallinum*. L. University of Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agriculture Sciences. EDIS.
- Van Devender T, Felger R, Fishbein M, Molina MJ, Sánchez-Escalante J & Reina-Guerrero AL. 2009. Biodiversidad de las plantas vasculares, páginas 229-261. En Molina-Freaner FE & Vand Davender TR (eds.), *Diversidad biológica del estado de Sonora*. UNAM. México.
- Vivrette NJ & Muller CH. 1977. Mechanism of Invasion and Dominance of Coastal Grassland by *Mesembryanthemum crystallinum*. *Ecol Monogr* **47**:301-318.
- Vivrette NJ. 1999. 5th California Islands Symposium. USA.
- Winter K. 1974. NaCl-induzierter Crassulaceen-Siiurestoffwechsel bei der Salzpflanze *Mesembryanthemum crystallinum*. *Oecol* **15**:383-392.
- Zuur AF, Ieno EN. & Elphick CS. 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol Evol* **1**:3-14.

***Sclerocactus uncinatus* (Galeotti ex Pfeiff.) N.P.Taylor  
(=*Glandulicactus uncinatum* (Galeotti ex Pfeiff. & Otto))**

**Nombre común: biznaga bola uncinada o cactus uña de gato**



Planta simple o cespitosa; tallo cilíndrico-ovoide, de 7.5-30 cm de altura y de 5-12.5 cm de diámetro, de color verde glauco, a veces con tinte rojizo; costillas (generalmente 13) rectas, tuberculadas; tubérculos alargados y separados entre sí por un surco de 2-2.5 cm de altura; aréolas angostas, que se prolongan en un surco hasta la base del tubérculo; espinas radiales 8-20, de 2.5-5 cm de longitud y de 1 mm de anchura, ganchudas de color rojizo o castaño amarillento rojizo; la espina central es ascendente, ganchuda, de 5-7.5 o hasta 11 cm de longitud, todas de color castaño claro con tinte desde amarillento blanquecino hasta pajizo o rosado; flores de 2.5-3 cm de diámetro de color púrpuro oscuro que se mantienen activas durante varios días; fruto carnoso rojo pequeño de 20-25 mm de longitud y de 12-15 mm de diámetro; semillas oblongo-ovoides de 1.5 mm de longitud (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991, *Las cactáceas de México*, vol.II). Se reporta la floración de marzo a mayo y fructificación de mayo a junio (Zimmerman 2003, *Flora of North America*). Se reconocen las siguientes subespecies *S. uncinatus* subsp. *uncinatus* Galeotti ex Pfeiff. & Otto, 1848, *S. uncinatus* subsp. *wrightii* (Engelm.) distribuidas desde San Luis Potosí hasta Texas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada 1991; Guzmán *et al.* 2003, *Catálogo de cactáceas mexicanas*) y *S. uncinatus* subsp. *crassihamathus* distribuida en Guanajuato (Hernández & Gómez Hinostroza 2011, *Mapping the cacti of Mexico*).

Es nativa de la parte norte del Desierto Chihuahuense, en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas, en México (Guzmán *et al.* 2003), Nuevo México y Texas en Estados Unidos (Hernández & Gómez-Hinostroza 2011). Se desarrolla de 900 a 1200 m snm, en laderas y planicies con suelos calizos, principalmente en matorrales xerófilos, frecuentemente los individuos se presentan en densidades bajas (Hernández & Godínez 1994, *Acta Bot Mex* **26**:33-52).

De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 la especie se encuentra en la categoría de riesgo como amenazada. Con base a los criterios de la lista roja de la UICN se considera como de preocupación menor (LC). En CITES se encuentra en el Apéndice II.

---

Guerrero-Eloisa Oscar Sandino

Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco. Departamento de El Hombre y su Ambiente. Laboratorio de Taxonomía y Sistemática Vegetal. C.P. 04960, Ciudad de México, México.

Correo electrónico: osge44@gmail.com