

TIPOS DE SUELO Y GERMINACIÓN *IN VITRO* DE CACTÁCEAS EN CATEGORÍA DE RIESGO DE LA ZONA SEMIÁRIDA DE DURANGO

Monserrat Ibarra-Reyes, Jaime Sánchez, Claudia T. Hornung Leoni, Joel Flores, Gamaliel Castañeda Gaytán y Gisela Muro-Pérez

RESUMEN

*La conservación de flora amenazada como las cactáceas ha tomado gran relevancia en México, debido a su importancia en las zonas semidesérticas y su alta vulnerabilidad. El estudio de la germinación permite crear herramientas para su conservación. La relación entre características edáficas y las especies de cactáceas puede ser un indicador de su distribución y establecimiento, ya que los suelos son altamente variables. Se realizó la colecta de semillas y suelos en cuatro ecorregiones de zonas áridas y semiáridas de Durango; los suelos en su mayoría, muestran una textura franco-arenosa y una ligera tendencia a la alcalinidad. Se colectaron semillas de doce especies de cactáceas que se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010: *Astrophytum coahuilense*, *Coryphantha durangensis*, *Echinocereus longisetus*, *Ephitelantha micromeris*, *Glandulicactus uncinatus*, *Ferocactus hamatacanthus*, *F. herrerae*, *F.**

wislizenii, *Leuchtenbergia principis*, *Mammillaria grusonii*, *M. lenta* y *Thelocactus bicolor*. Se determinó el porcentaje de germinación y el tiempo medio de germinación (*t*₅₀) con un diseño completamente al azar y un arreglo factorial triple: (12 especies en categoría de riesgo) x (sustratos medio de cultivo Murashige y Skoog y arena) x (semillas con y sin desinfección). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de separación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$). La especie con mayor germinación fue *A. coahuilense* con 100 % en desinfección y una germinación nula en *F. wislizenii*. Las semillas desinfectadas mostraron una reducción significativa en la velocidad de germinación (*t*₅₀) con respecto a las semillas sin desinfección y solo sobrevivieron las especies que germinaron en el sustrato de arena. La germinación de cactáceas mostró mejor desarrollo en sustrato de arena y bajo desinfección previa.

Introducción

Las zonas áridas y semiáridas abarcan el 41% del

territorio nacional (Medrano, 2012), donde las cactáceas son emblemáticas por su diversidad y capacidad de adaptación a las

condiciones edafoclimáticas de estas. Sin embargo, debido a procesos biológicos propios, como el lento crecimiento,

ciclos de vida largos y endemismos (Valverde y Zavala Hurtado, 2006), son vulnerables, ya que se distribuyen

PALABRAS CLAVE / Características Edáficas / Condiciones Sépticas y Asépticas / Conservación *Ex Situ* / Sustratos /

Recibido: 22/08/2024. Modificado: 25/11/2024. Aceptado: 27/11/2024.

Monserrat Ibarra Reyes. Ingeniera Bioquímica, Universidad Autónoma de Coahuila, México. Maestra en Ciencias en Suelos, Instituto Tecnológico de Torreón, México. Pasante, Doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Ecología, Universidad Juárez del Estado de Durango, México.

Jaime Sánchez Salas. Doctor en Ciencias, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, Profesor-investigador, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, México. Miembro del SNI de CONAHCYT, México.

Claudia T. Hornung Leoni. Bióloga, Universidad de Los Andes, Venezuela. Doctora en Ciencias, INECOL, A.C. México. Profesora-investigadora, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Profesora Investigadora y curadora Herbario de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Joel Flores. Doctor en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Naturales, Instituto de Ecología, A.C., México. Investigador, División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de

Investigación Científica y Tecnológica, México. Miembro Sistema Nacional de Investigadores, CONAHCYT, México.

José Gamaliel Castañeda Gaytán. Biólogo, Escuela Superior de Biología de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México. Doctor en Ciencias, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, México. Investigador, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, México.

Gisela Muro Pérez (Autora de correspondencia). Doctora en

manejo de recursos naturales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Maestría en Suelos, Instituto Tecnológico de Torreón, México. Profesora-investigadora, Facultad de Ciencias Biológica, Universidad Juárez del Estado de Durango, México. Miembro Sistema Nacional de Investigadores, CONAHCYT, México. Dirección: Av. Universidad s/n Fraccionamiento Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México. C. P. 35010. e-mail: giselamuro@ujed.mx.

TYPES OF SOIL AND *IN VITRO* GERMINATION OF CACTI IN THE RISK CATEGORY OF THE SEMIARID ZONE OF DURANGO

Monserrat Ibarra-Reyes, Jaime Sánchez, Claudia T. Hornung Leoni, Joel Flores, Gamaliel Castañeda Gaytán and Gisela Muro-Pérez

SUMMARY

The conservation of threatened flora such as cacti has gain significant importance in Mexico, due to their importance in semi-desert areas and its high vulnerability. The study of germination provides tools for its conservation. The relationship between soil characteristics and cactus species can be an indicator of their distribution and establishment since soils are variable. Seed and soil collection was carried out in four ecoregions of arid and semi-arid areas of Durango; the soils mostly, show a loamy-sandy texture and with a slight tendency to alkalinity; of the cacti that were obtained seed and are found in the NOM-059-SEMARNAT-2010: *Glandulicactus uncinatus*, *Astrophytum coahuilense*, *Coryphanta durangensis*, *Echinocereus longisetus*, *Ephitelantha micromeris*, *Ferocactus hamatacanthus*, *F. herrerae*, *F. wislizenii*, *Leuchtenbergia principis*, *Mammillaria*

grusonii, *M. lenta* y *Thelocactus bicolor*. Germination percentage and mean germination time (t_{50}) were determined with a completely random design and a triple factorial arrangement: one (12 species in risk category); two (medium substrates *Murashige* and *Skoog* cultivation and sand); three (seeds with and without disinfection). Variance analysis (ANOVA) and Tukey mean separation test ($p \leq 0,05$) were performed. The species with the highest germination was *Astrophytum coahuilense* with 100 % in disinfection and the zero germination in *Ferocactus wislizenii*. Disinfected seeds showed a significant reduction in germination speed (t_{50}) compared to the non-disinfected seed, and only the species that germinated in the sand substrate survived. Cactus germination showed better development in the sand substrate and with prior disinfection.

TIPOS DE SOLO E GERMINAÇÃO *IN VITRO* DE CACTÁCEAS NA CATEGORIA DE RISCO DA ZONA SEMIÁRIDA DE DURANGO

Monserrat Ibarra-Reyes, Jaime Sánchez, Claudia T. Hornung Leoni, Joel Flores, Gamaliel Castañeda Gaytán e Gisela Muro-Pérez

RESUMO

A conservação da flora ameaçada, como as cactáceas, tem ganhado grande relevância no México, devido à sua importância nas zonas semi-desérticas e sua alta vulnerabilidade. O estudo da germinação permite criar ferramentas para sua conservação. A relação entre características edáficas e as espécies de cactáceas pode ser um indicador de sua distribuição e estabelecimento, uma vez que os solos são altamente variáveis. Foi realizada a coleta de sementes e solos em quatro ecorregiões de zonas áridas e semiáridas de Durango; os solos, em sua maioria, apresentam uma textura franco-arenosa e uma leve tendência à alcalinidade. Foram coletadas sementes de doze espécies de cactáceas listadas na NOM-059-SEMARNAT-2010: *Astrophytum coahuilense*, *Coryphanta durangensis*, *Echinocereus longisetus*, *Ephitelantha micromeris*, *Glandulicactus uncinatus*, *Ferocactus hamatacanthus*, *F. herrerae*, *F. wislizeni*, *Leuchten-*

bergia principis, *Mammillaria grusonii*, *M. lenta* y *Thelocactus bicolor*. Foi determinado o percentual de germinação e o tempo médio de germinação (t_{50}) com um desenho completamente aleatório e um arranjo fatorial triplo: (12 espécies em categoria de risco) x (substratos: meio de cultivo *Murashige* e *Skoog* e areia) x (sementes com e sem desinfecção). Foi realizado um análise de variância (ANOVA) e um teste de separação de médias de Tukey ($p \leq 0,05$). A espécie com maior germinação foi *A. coahuilense* com 100% de germinação na desinfecção e uma germinação nula em *F. wislizeni*. As sementes desinfetadas mostraram uma redução significativa na velocidade de germinação (t_{50}) em comparação com as sementes não desinfetadas, e somente as espécies que germinaram no substrato de areia sobreviveram. A germinação das cactáceas apresentou melhor desenvolvimento no substrato de areia e com desinfecção prévia.

sobre sitios sujetos a cambios continuos de uso de suelo, y la colecta indiscriminada las pone en riesgo continuamente (Oldfield, 1997). En la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 se incluyen más de 260 cactáceas, entre especies y subespecies, que se encuentran en alguna categoría de riesgo, algunas de ellas concentración en peligro de extinción (Profepa, 2016).

La cactoflora suele asociarse al relieve, al macroclima, la

topografía y las propiedades físico-químicas del suelo, especialmente a la fertilidad, material de origen del suelo, exposición de ladera, altitud y precipitación pluvial (Sánchez-Soto *et al.*, 2016), por lo que es importante tomar en cuenta los factores edáficos en cactáceas en categoría de riesgo. Uno de los estadios esenciales en el ciclo de vida de las plantas, y por tanto de las cactáceas, son las semillas, ya que de ellas depende la

generación de nuevos individuos (Mascot-Gómez, 2020), por lo que es necesario contar con métodos y técnicas que permitan, de forma *ex situ*, la germinación y establecimiento de las especies que se encuentran en mayor riesgo.

Los factores que afectan la germinación pueden ser intrínsecos, es decir, propios de la semilla, como la madurez, viabilidad y existencia de latencia, y extrínsecos, que son dependientes del ambiente

(Muro-Pérez *et al.*, 2013). Aunque, la germinación en laboratorio establece un indicio de la calidad de las semillas, es importante señalar que los resultados que se obtienen son en condiciones controladas, por lo que pueden diferir a las condiciones de campo, ya que, si bien la proporción de nutrientes y las condiciones óptimas en los laboratorios pueden favorecer la germinación, algunas técnicas de desinfección en algunos casos dañan los tejidos

disminuyendo la capacidad germinativa (Manzo-Rodríguez *et al.*, 2022). Existen diversas técnicas de desinfección de semillas, como las que mencionan Villavicencio *et al.*, 2009, Villegas (1996) y Hernández y Gódinez (1994), que eliminan polvo y microorganismos, sin provocar un daño en la consistencia de la testa. Sin embargo, Rivera *et al.* (2020) mencionan que la técnica de desinfección de semillas para la producción de plántulas es una forma prometedora de obtener plántulas libres de patógenos. Aunque también existen estudios donde el lavado de las semillas puede eliminar la capa de mucílago que cubre las semillas, la cual ayuda a mantener el agua y promueve la germinación (Mascot-Gómez *et al.*, 2020), y que también podría eliminar compuestos químicos que inhiben la germinación de las mismas (Williams y Arias, 1978).

Además, para su establecimiento hay que considerar la relevancia del microhábitat de los individuos, incluyendo las modificaciones producidas por los arbustos en el suelo y la protección que les brindan contra la radiación, ya que esto podría ser crucial en su

supervivencia (Castro-Cepero *et al.*, 2006). En el presente estudio, se evaluó el porcentaje de germinación de *G. uncinatus*, *A. coahuilense*, *C. durangensis*, *E. longisetus*, *E. micromeris*, *F. hamatacanthus*, *F. herrerae*, *F. wislizenii*, *L. principis*, *M. grusonii*, *M. lenta* y *T. bicolor* con y sin desinfección de semillas en medio MS y arena. Además, se realizó colecta de suelo de las ecorregiones donde se distribuyen las especies, para la realización de los análisis físico-químicos.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El experimento se realizó de septiembre 2021 a octubre de 2022 en el laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Se colectó suelo y semilla de las ecorregiones de la zona semiárida de Durango propuestas por Sánchez-Salas *et al.* (2014), las cuales fueron: Planicies del centro del Desierto Chihuahuense (PCDC), lomeríos y sierras bajas del Desierto Chihuahuense Norte (LSBDCN), lomeríos y sierras bajas del Desierto Chihuahuense Sur

(LSBDCS) y planicies del Altiplano Zacatecano-Potosino (PAZ-P).

Evaluación edáfica

El suelo se colectó en cada municipio de las ecorregiones que forman la zona árida y semiárida del estado de Durango, a partir del sustrato estratificado de cero a 30cm. Cada muestra colectada fue de aproximadamente 2kg y transportada en bolsa plástica, secada a temperatura ambiente y tamizada previo a la realización de los análisis físico-químicos, como lo establece la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-2000 para colecta, transporte y análisis de suelo.

Se realizaron análisis físicos y químicos del suelo según la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-2000, determinando textura (Bouyoucos), pH (AS02 NOM-021-2000), conductividad eléctrica $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (AS18 NOM-021-2000) y contenido de materia orgánica (Walkley y Black, 1934) en el laboratorio de suelos del departamento de posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

Diseño experimental

a) Germinación de semillas

Las semillas utilizadas en el experimento se colectaron en campo bajo el permiso de colecta Número SGPA/DGVS/04321/22 de las cuatro ecorregiones (Tabla I), y del Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico CIJE de la Universidad Autónoma de Coahuila (UMA-clave: SMA-UMA-JB-0006-COA). Se utilizó un diseño completamente al azar con una factorial de $12 \times 2 \times 2$, donde 12 equivale a las especies evaluadas, 2 a las condiciones de desinfección de las semillas (con y sin desinfección) y 2 los sustratos (medio MS y arena previamente esterilizada). Se utilizaron estos dos sustratos, ya que el medio MS es un medio ampliamente utilizado para la germinación de semillas de cactáceas (Gómez-Serrano *et al.*, 2021); por otro lado, Bunt (1988) señala que la calidad de las plántulas depende del tipo de sustrato donde se desarrollan, en particular de las características físico-químicas del sustrato, ya que el desarrollo y el funcionamiento de las raíces están directamente ligados a

TABLA I
CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS Y TIPOS DE SUELO DE LOS MUNICIPIOS DE LAS ECORREGIONES DE LA ZONA SEMIÁRIDA DE DURANGO

Municipio	pH	Conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Textura (%)	Materia orgánica (%)	Tipo de suelo
Cuencamé	8,40	1,49	26-limo, 32-arcilla, 42-arena	0,5960	Leptosol
Mapimí	8,03	1,41	28-limo, 54-arcilla, 18-arena	1,6779	Leptosol
Nazas	7,76	2,82	24-limo, 40-arcilla, 36-arena	3,1050	Leptosol
Tlahualilo	8,89	2,50	30-limo, 42-arcilla, 28-arena	1,1103	Leptosol
Santa Clara	8,12	1,33	36-limo, 48-arcilla, 16-arena	1,5227	Calcisol
Lerdo	8,05	2,72	24-limo, 44-arcilla, 32-arena	1,2224	Calcisol
Ocampo	8,71	1,42	13-limo, 66-arcilla, 21-arena	2,5814	Calcisol
San Juan de Gpe	8,98	6,896	18-limo, 24-arcilla, 58-arena	0,2494	Calcisol
San Pedro del Gallo	7,60	1,34	20-limo, 57-arcilla, 23-arena	2,1024	Calcisol
San Luis del Cordero	8,52	2,31	25-limo, 34-arcilla, 41-arena	1,1048	Calcisol
Hidalgo	7,62	2,55	39-limo, 44-arcilla, 17-arena	4,4169	Calcisol
Simón Bolívar	8,22	2,47	13-limo, 48-arcilla, 39-arena	0,3601	Calcisol
Gómez Palacio					Calcisol
Rodeo	8,04	1,43	43-limo, 47-arcilla, 10-arena	1,8816	Solonchak
Indé	7,73	2,96	24-limo, 70-arcilla, 6-arena	4,0861	Solonchak
Peñón Blanco	8,50	2,59	12-limo, 45-arcilla, 43-arena	1,4101	Solonchak

las condiciones de aireación, contenido de agua, además de tener influencia directa sobre la disponibilidad de nutrientes. Los sustratos son importantes para los estudios de germinación y normalmente se recomiendan aquellos que deben ser porosos y tener buen drenaje, ya que sirven para la ventilación y secado del sustrato, evitando la pudrición por exceso de agua. Un aspecto importante para el uso de dichos sustratos es que deben ser materiales que se encuentren en el área (ASYCS, 2010), además deben ser esterilizados para reducir el ataque de fitopatógenos (Salas-Cruz *et al.*, 2011). Por su parte, Andrade *et al.* (2008), consideran necesario usar en los sustratos algún componente que aporte nutrientes para el crecimiento de las plantas, además del soporte adecuado, por lo que se decidió utilizar como medio el sustrato donde se distribuyen de manera natural las especies.

Las semillas de cada tratamiento (con tres repeticiones) se colocaron en cajas Petri 10 semillas por unidad experimental. Se registró la germinación acumulada diariamente durante un mes. La desinfección de semillas se llevó mediante inmersión en 20ml de agua destilada, para posteriormente pasarlas a 20ml de agua destilada, adicionando tres gotas de detergente y tres gotas de Tween, regresando nuevamente a inmersión en agua destilada, seguido de inmersión en solución de hipoclorito de sodio al 5% y finalizando con un lavado en agua destilada. Villarreal-Garza *et al.*, 2013, mencionan que el tiempo de inmersión de las semillas de *Prosopis sp.* y *Acacia sp.* en HCl, obtienen entre el 13 y 35-46% de germinación. Si *et al.*, 2022, mencionan que las semillas de alta calidad se ven afectadas por varios factores, como el tipo de desinfectante, el tiempo de duración de la esterilización, pH del medio, entre otros. Ahmadi *et al.*, 2012 mencionan que las semillas que son recolectadas en campo y almacenadas de forma inadecuada suelen estar

gravemente infectadas por diversos hongos, en contraste con las semillas almacenadas en un entorno controlado. Por su parte; Kamnoon y Kantamaht (2000), demuestran la efectividad en la desinfección del material con yemas apicales de *Maesa rametacea*, donde utilizan una solución acuosa de cloro y bicloruro de mercurio. Las semillas duraron en promedio un minuto en cada solución mencionada (Mayo-Mosqueda *et al.*, 2017). Se procedió a la siembra y desinfección de semillas dentro de una campana de flujo laminar, el sustrato fue esterilizado previamente en autoclave. Las semillas se colocaron en una cámara de germinación por 30 días con un fotoperiodo de 12 horas luz/12 horas oscuridad a una temperatura constante de 25°C, con una humedad relativa entre el 50% y 70%. Se determinó el porcentaje de germinación diario y la velocidad de germinación media (t50).

Análisis estadísticos

Se llevó el registro diario de la germinación de semillas, durante 30 días. El registro diario de la germinación se transformó mediante el arcoseno de la raíz cuadrada (Sokal y

Rohlf, 1995). Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial: 12 especies en categoría de riesgo (Factor A), con y sin desinfección (Factor B), sustrato arena y medio MS (Factor C) se realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una comparación de medias mediante una prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) (Sánchez y Ramírez, 2006; Saucedo *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2018).

Resultados

Evaluación edáfica

Las características edáficas que resultaron del muestreo de suelo (Tabla I) indican diferentes tipos de suelos, en su mayoría leptosoles con poca profundidad y alta pedregosidad, presentes en los lomeríos y sierras bajas, así como también calcisoles (con alto contenido de carbonatos de calcio) presentes en estas zonas. En las planicies predomina el solonchak (suelo con alto contenido de sales solubles) y los cambisoles, con una alta porosidad y mayor contenido de arena (suelo con tendencia a la alcalinidad y bajo contenido de materia orgánica, con textura franco arcilloarenosa). Los suelos de las ecorregiones quedaron de la

siguiente forma: A) Municipios de Cuencamé, Mapimí, Nazas y Tlahualilo corresponden al tipo de suelo leptosol; B) Municipios de Gómez Palacio, Hidalgo, Lerdo, Ocampo, San Juan de Guadalupe, San Luis del Cordero, San Pedro del Gallo, Santa Clara y Simón Bolívar corresponden al tipo de suelo calcisol; C) Municipios de Indé, Rodeo y Peñón Blanco corresponden al tipo de suelo solonchak.

Germinación de semillas

La germinación de semillas fue mayor en *A. coahuilense* y *F. herrerae* debido a la desinfección ($F= 18,99$, $p < 0,0001$) a diferencia de *F. wislizeni* que no germinó (Figura 1). Respecto a la desinfección de semillas, la germinación se incrementó un 25% en medio MS y arena (Figura 2). Por otra parte, en el sustrato de arena mostró un aumento de 16% en la germinación de semillas a comparación de las semillas germinadas en medio MS (Figura 2), el sustrato ($F= 5,99$, $p < 0,0001$), la desinfección por sustrato ($F= 7,49$, $p < 0,0074$), la desinfección por especie ($F= 2,03$, $p < 0,0332$), obteniendo un mayor porcentaje en arena *A. coahuilense* (Tabla II).

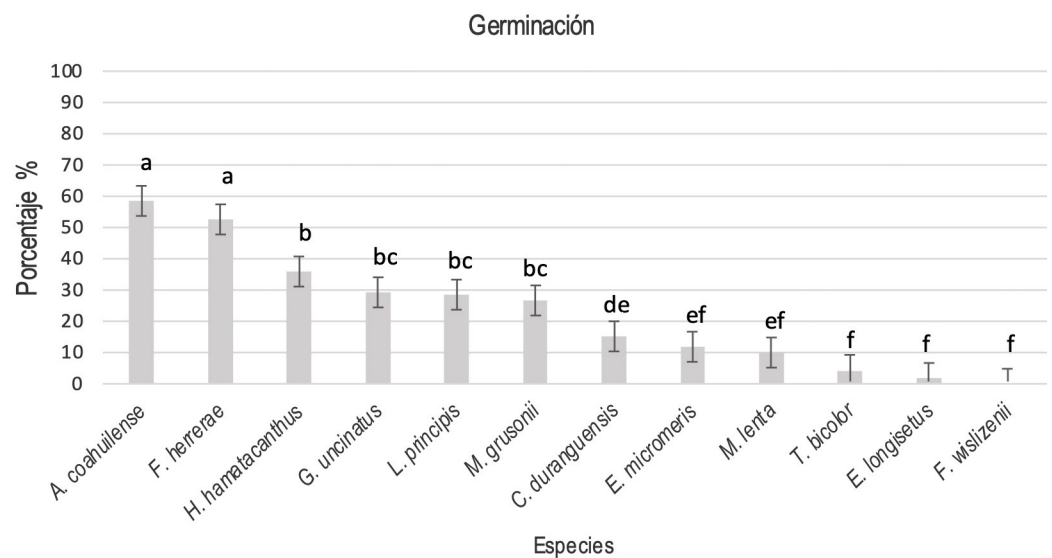


Figura 1. Porcentaje de germinación del factor especie con 12 especies de cactáceas ($F= 31,39$; $p < 0,0001$). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, $p \leq 0,05$.

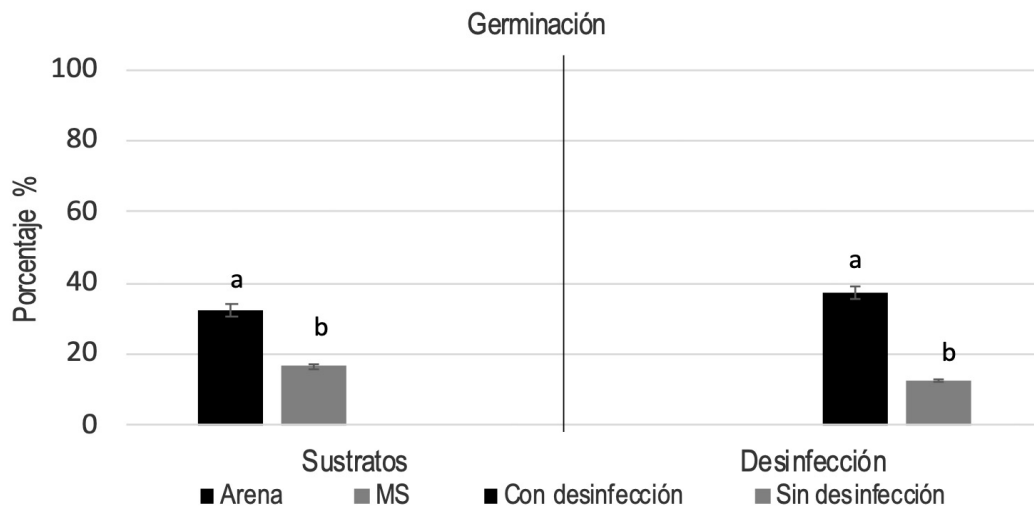


Figura 2. Porcentaje de germinación del factor sustratos (arena y medio MS) con un valor de $F= 54,31$, $p < 0,0001$ y porcentaje de germinación del factor desinfección (con y sin desinfección) con un valor de $F= 11,32$, $p < 0,0001$. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, $p \leq 0,05$.

TABLA II
PORCENTAJES DE GERMINACIÓN DE CACTÁCEAS EN CATEGORÍA DE RIESGO EN LA INTERACCIÓN DE ESPECIE-DESINFECCIÓN-SUSTRATO. VALOR DE $F= 2,03$ Y $p < 0,0332$

Especies	Germinación (%)			
	Sin desinfección		Con desinfección	
	MS	A	MS	A
<i>A. coahuilense</i>	NG	33	100	100
<i>C. durangensis</i>	NG	27	10	24
<i>E. longisetus</i>	NG	NG	4	4
<i>E. micromeris</i>	10	20	10	7
<i>G. uncinatus</i>	NG	37	10	70
<i>F. hamatacanthus</i>	NG	33	50	60
<i>F. herrerae</i>	NG	37	83	90
<i>F. wislizenii</i>	NG	NG	NG	NG
<i>L. principis</i>	NG	27	30	57
<i>M. grusonii</i>	10	43	3	20
<i>M. lenta</i>	NG	3	37	NG
<i>T. bicolor</i>	NG	NG	NG	17

NG: No hubo germinación.

Respecto al tiempo medio de germinación las tres especies con menos de 5 días fueron: *E. longisetus*, *T. bicolor* y *E. micromeris* (Figura 3), las semillas desinfectadas tuvieron significativamente menor velocidad de germinación (t_{50}) que las semillas sin desinfectar con una diferencia de tres días entre ellas, para el factor sustrato fue menor la t_{50} en medio MS que en arena con 3 y 11 días respectivamente (Figura 4). La interacción de los factores es significativa de

acuerdo con la siguiente combinación: especie*desinfección ($F= 2,61$, $p < 0,060$), especie*sustrato ($F= 4,68$, $p < 0,0001$), desinfección*sustrato ($F= 61,70$, $p < 0,0001$), especie*desinfección*sustrato ($F= 6,69$, $p < 0,0001$).

Discusión

Evaluación edáfica

Bolaños *et al.* (2015) demostraron que las propiedades físicas y químicas del suelo

condicionan el tipo de ambiente donde se desarrolla una especie nativa. La distribución de estas cactáceas en categoría de riesgo (Tabla III) y las diferentes condiciones de suelos que se encontraron en el presente estudio (Tabla I) muestran los posibles requerimientos edáficos para su desarrollo y con ello lograr la conservación *ex situ* de manera más eficiente, debido a que, como menciona Mamani Sánchez *et al.* (2021) la textura del suelo incide en la disponibilidad del agua

evitando el establecimiento de ciertas especies y favoreciendo la de otras, dependiendo de los requerimientos particulares, así como la tolerancia a la salinidad del suelo para su establecimiento. Aunque el contenido de materia orgánica en el suelo es significativo en el proceso de establecimiento de plántulas, en esta investigación se obtuvo valores bajos de materia orgánica, como indica Castro Cepero *et al.* (2006) en los cactus su requerimiento es mínimo ya que han evolucionado en suelos de zonas áridas que se caracterizan por tener un bajo contenido de materia orgánica. Si bien, Alanís Rodríguez *et al.* (2015) mencionan que las cactáceas prefieren los suelos de tipo regosol calcárico, en el presente estudio se encontró suelos tipo leptosoles, calcisoles, solonchak y cambisoles, que aunque algunas características edáficas son similares por presentar elevadas concentraciones de carbonatos de calcio, estos poseen un mayor porcentaje de arcilla que aunado a la alta pedregosidad beneficia al establecimiento de las cactáceas, por tanto, estos tipos de suelo también se pueden tomar en cuenta para el establecimiento de cactáceas de forma *ex situ*.

Germinación de semillas

Los resultados sugieren que las semillas de las 12 cactáceas deben ser sometidas a desinfección previa; sin embargo, Manzo-Rodríguez *et al.* (2022) mencionan que el agente desinfectante puede dañar los tejidos y disminuir la germinación, por lo que no exceder la concentración de hipoclorito de sodio al 5% es una opción viable para evitar el daño al tejido y lograr una desinfección exitosa. Así como el no exceder la concentración del agente desinfectante, también es importante el tiempo en que las semillas estén sumergidas en el mismo para evitar daños a la semilla o embrión.

En el presente estudio, la desinfección mostró una reducción significativa en el tiempo en días para alcanzar el 50%

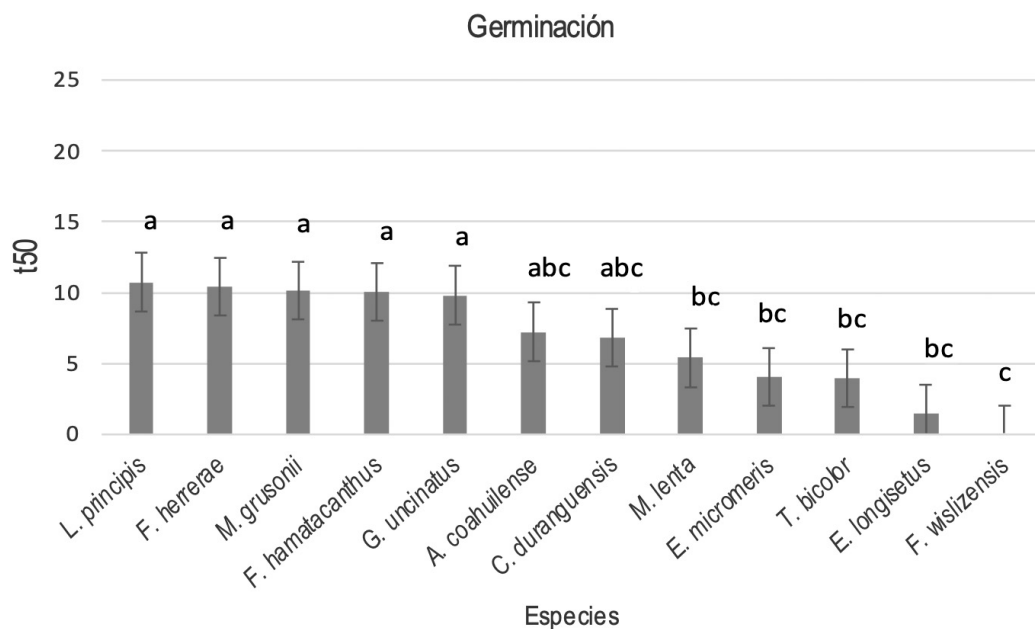


Figura 3. Velocidad de germinación (t_{50}) del factor especie con 12 especies de cactáceas bajo una categoría de riesgo ($F= 7,23$, $p < 0,0001$). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, $p \leq 0,05$.

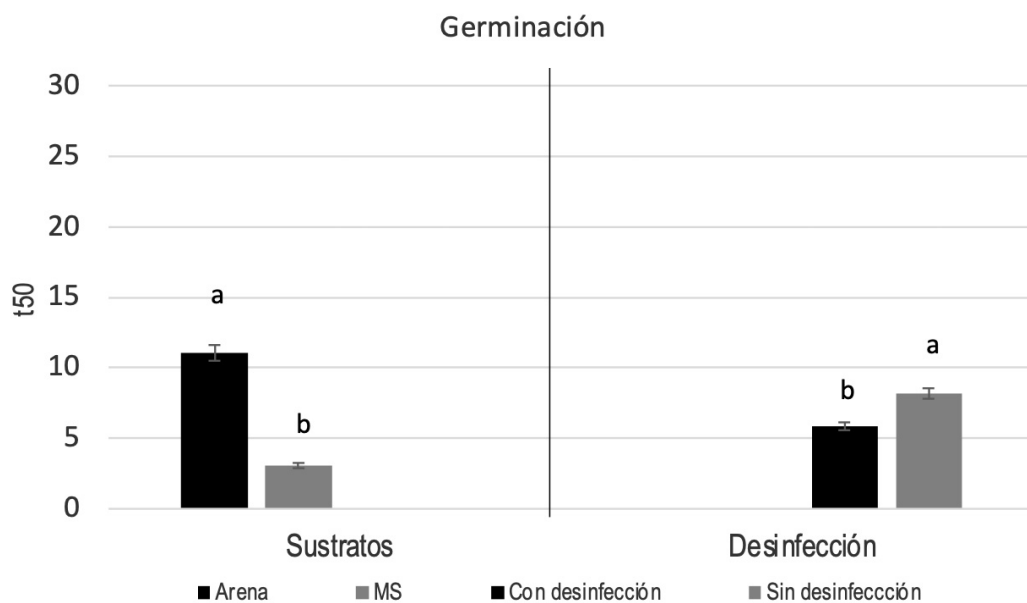


Figura 4. Velocidad de germinación (t_{50}) en el factor sustrato (arena y medio MS) con un valor de $F= 76,66$, $p < 0,0001$ y t_{50} en el factor desinfección (con y sin desinfección) con un valor de $F= 4,07$, $p < 0,0464$). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, $p \leq 0,05$.

de germinación (t_{50}) a diferencia de las semillas que no fueron desinfectadas. Tal como el género *Mammillaria* sin desinfectar, el tiempo fue de 5 a 21 días, y con desinfección de 4 a 11 días. Ramírez-González *et al.* (2019) obtuvieron entre 9 y

15 días de tiempo medio de germinación (t_{50}) para cinco especies de *Mammillaria*, valores mayores a los obtenidos en la presente investigación. Por lo que, una mayor velocidad de germinación (t_{50}) puede atribuirse a que las semillas

desinfectadas estuvieron expuestas a químicos como el hipoclorito de sodio e hidratación, lo que pudo facilitar y acelerar los procesos fisiológicos previos a la germinación, influyendo en el periodo de latencia de la semilla y, a

su vez, contribuyendo en el desarrollo de la plántula, evitando lesiones por alguna infección bacteriana (Villanueva *et al.*, 2016).

En las especies del género *Mammillaria*, la germinación de *M. grusonii* fue de 27% y la de *M. lenta* fue de 10%, porcentajes de germinación menores al 50%, al igual que los valores máximos reportados por Villanueva *et al.* (2016) para *M. pectinifera* que fueron de 35%, mientras que Ramírez-González *et al.* (2019), adicionando suplementos al medio MS como tiamina, Myo-inositol y sacarosa, reportaron porcentajes de germinación de 48% a 92% en cinco especies del género *Mammillaria* (valores más altos a los obtenidos en la presente investigación). Por otra parte; existen diversos estudios donde evalúa la germinación de diferentes especies del género *Mammillaria*. Dicho género se caracteriza por presentar el tipo de latencia física en sus semillas, la cual consiste en que la testa o partes endurecidas de esta son completamente impermeables. Rojas-Aréchiga *et al.* (2013) reportan los porcentajes de germinación con respecto al tamaño de semillas, sin documentar las edades. Sánchez-Salas *et al.* (2006) encontraron para *Astrophytum myriostigma* que las semillas pequeñas y grandes obtuvieron el 90% y 58% de germinación respectivamente; por lo que se sugiere que el tamaño y la edad de la semilla están relacionados con el porcentaje de germinación. Sin embargo, Uribe-Salazar *et al.* (2022) encontró en semillas de *M. paskinsonii* (tamaño pequeño) una germinación de 74,3%, similar a lo reportado para especies del mismo género por Barthlott y Hunt (2000) y Zamudio y Guzmán (2017). Por otro lado, Ramírez-González *et al.* (2019) realizaron un estudio con cinco especies del género *Mammillaria* en condiciones *in vitro* y *ex vitro*. Los resultados de este estudio coinciden con los reportados para algunas especies del género *Mammillaria* bajo condiciones *ex vitro*, como mencionan

ACTÁCEAS EN CATEGORÍA DE RIESGO DE LA ZONA SEMIÁRIDA DE DURANGO

Especie	Categoría de Riesgo	Ecorregión
<i>Astrophytum coahuilense</i>	A	LSBDCN, LSBDCS, PCDC y PAZ-P
<i>Coryphanta durangensis</i>	Pr	LSBDCN, LSBDCS, PCDC y PAZ-P
<i>Echinocereus longisetus</i>	Pr	LSBDCN, LSBDCS, PCDC y PAZ-P
<i>Ephitelantha micromeris</i>	A	LSBDCN y PCDC
<i>Glandulicactus uncinatus</i>	A	
<i>Ferocactus hamathacanthus</i>	Pr	LSBDCN, LSBDCS, PCDC y PAZ-P
<i>Ferocactus herrerae</i>	A	
<i>Ferocactus wislizeni</i>	V	
<i>Leuchtenbergia principis</i>	A	LSBDCN, LSBDCS y PCDC
<i>Mammillaria grusonii</i>	Pr	LSBDCN, LSBDCS, PCDC y PAZ-P
<i>Mammillaria lenta</i>	A	
<i>Thelocactus bicolor</i>	A	

A: amenazada, Pr: protección especial, V: vulnerable, PCDC: planicies del centro del Desierto Chihuahuense lomeríos. LSBDCN: sierras bajas del Desierto Chihuahuense Nortelomeríos, LSBDCS: sierras bajas del Desierto Chihuahuense Sur, PAZ-P : planicies del Altiplano Zacatecano-Potosino.

Flores y Jurado (2011), quienes reportan para *M. bocasana* porcentajes de germinación de 83% y para el resto de las especies (*M. aurelianata*, *M. plumosa*, *M. ocutti* y *M. longimamma*) alcanzaron valores de 42% hasta 75%. En el mismo estudio, Ramírez-González *et al.* (2019), registraron una germinación *in vitro* con valores que sobrepasa el 90%, lo cual coincide con lo reportado por Ruedas *et al.* (2019). Una propuesta o recomendación que sugieren este tipo de estudios es que la germinación *in vitro* es una forma viable de conservar especies en alguna categoría de riesgo, y posiblemente ahora las plantulas pasen a estudios de sobrevivencia *ex situ* y, a su vez, se tenga la creación de un banco de germoplasma que podrían mantener las semillas por viables por más tiempo bajo condiciones controladas.

Aunque el medio MS ha sido utilizado en diversos ensayos de germinación *in vitro* (Cuellar-Chávez *et al.*, 2006; Salas-Cruz *et al.*, 2011; Ramírez-González *et al.*, 2019), Manzo-Rodríguez *et al.* (2022) mencionan que es un medio rico en nutrientes y sales, lo que puede disminuir el potencial hídrico afectando la germinación, por lo que es recomendable explorar el uso de otros sustratos alternativos, ya que

se registró un 36% de germinación en medio MS. En el presente estudio, las especies de *E. micromeris* y *M. grusonii* (semillas sin desinfectar) germinaron en medio MS, a diferencia de una nula germinación de *F. wislizeni* y *T. bicolor* (Tabla II) en el sustrato de arena. Por consiguiente, la utilización de arena como sustrato alternativo para la germinación de cactáceas es una opción factible y económica.

Conclusiones

Las especies evaluadas mostraron una distribución en suelos con textura franco-arenosa, por lo que el uso de sustratos con estas condiciones edáficas es imprescindible para su germinación y reproducción. La desinfección previa de semillas puede ser utilizada como técnica para aumentar el porcentaje de germinación y reducir la mortalidad por contaminación, lo que contribuye a incrementar la supervivencia de las especies en estudio. La germinación de cactáceas es un proceso complejo; por lo tanto, es recomendable utilizar suelos nativos como sustratos para su germinación. Bajo esta consideración, se recomienda el uso de suelos con textura franco-arenosa para germinar y reproducir especies de la región semiárida de Durango. Por otro

lado, queda demostrado que las propiedades físicas y químicas del suelo condicionan el establecimiento *in situ* de las cactáceas para su desarrollo, así como, potencializan su conservación futura.

REFERENCIAS

- Ahmadi E, Nasr SMH, Jalilvand H, Savadkoobi SK (2012) Contamination control of microbe *Ziziphus spina* [christti] seed in vitro culture. *Trees-Structure and Function* 26: 1299-1304. <https://doi.org/10.1007/S00468-012-0705-8>
- Andrade RM, Ayala HJJ, Alia TI, Rodríguez MH, Acosta DCM, López, MV (2008) Efecto de promotores de la germinación y sustratos en el desarrollo de plantulas de papayo. *Rev. Fac. Agron.* 25: 617635.
- Alanís-Rodríguez E, Mora-Olivo A, Jiménez-Pérez J, González-Tagle MA, Yerena JI, Martínez JG, González-Rodríguez LE (2015). Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Act. Bot. Mex.* 110: 105-117. <https://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n110/n110a5.pdf>
- ASYCS (Asociación Yucateca de Cactáceas y Suculentas, México) (2010) *Manual básico para cultivo de cactáceas y suculentas*. Yucatán, México. 10 pp.
- Barthlott W, Hunt D (2000) Seed diversity in the Cactaceae subfamily Cactoideae. *Succ. Pl. Res.* 5: 1-173.
- Bolaños VA, Vecchio MC, Golluscio RA (2015) Dormición y tipo de

suelo como determinantes en la germinación y establecimiento de *Chloris berroi* en la Pampa Deprimida. *Ecología Austral* 25: 75-80. <https://doi.org/10.25260/EA.15.25.1.0.57>

Bunt AC (1988) Media and mixes for container-grown plants. In: *A manual on the preparation and use of growing media for pot plants*. Hyman, U. (ed.). Londres, RU. 309 pp

Castro-Cepero V, Eyzaguirre Pérez R, Ceroni Stuva A (2006) Supervivencia de plántulas de *Melocactus peruvianus* (Vaupel) y *Haageocereus pseudomelanostele* subsp. *aureispinus* (Rauh y Backeberg) Ostolaza, en condiciones experimentales. Cerro Umareca, Valle del Río Chillón, Lima. *Ecología Aplicada* 5: 61-66.

Cuellar Chávez L, Rubio EM, Fco J, Neavez T (2006) La germinación *in vitro* una alternativa para obtener explantes en cactáceas. *Zonas Áridas* 10: 129-133. <http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS33/semilla33>.

Flores J, Jurado E (2011) Germinación de especies de cactáceas en categoría de riesgo del desierto chihuahuense. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2: 59-70. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i8.539>

Gómez-Serrano, Martínez J, Arreguín-Sánchez ML, García-Ochoa F (2021) Germinación y crecimiento de *Echinocactus platyacanthus* Link y Otto (Cactaceae). *Polibotánica* 52: 117-133. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.9>.

Hernández HM, Godínez HA (1994) Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Herbario Nacional. Instituto de Biología, UNAM. *Acta Botánica Mexicana* (26): 33-52. [http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumenes/ABM/ABM.26.1994/acta.26\(33-52\).pdf](http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumenes/ABM/ABM.26.1994/acta.26(33-52).pdf). (2 Mayo 2009).

Kamnoon K, Kantamath B (2000) A protocol towards micropropagation of the psoidal Plant. *Maesa ramentacea* A.D.C. *Science Asia* 26: 201-205.

Mamani Sánchez B, Villegas Alvarado N, Quezada Portugal J, Nova Pinedo M (2021) Germinación y descripción morfológica de *Orocereus pseudofussulatus* (Cactaceae) especie endémica de los Valles Xéricos Interandinos de la Puna del Norte de Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 8: 30-37. <https://doi.org/10.53287/cpoc6464nu83h>

- Manzo-Rodríguez SM, González-Rosas H, De los Santos GG, Moya EG, Espinosa-Hernández V, Corona-Torres T, Paz AR (2022) Viabilidad y germinación de semillas de cuatro especies amenazadas de cactáceas. *Caldasia* 44: 2. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.86192>
- Mascot-Gómez E, Flores J, López-Lozano NE, Yáñez-Espinosa L (2020) Seed germination of Southern Chihuahuan desert cacti: Effect of mucilage, light and phytohormones. *Flora* 263: 151528. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151528>
- Mayo-Mosqueda A, Espinoza-Moreno J, Centurion-Hidalgo D, Cazares-Camero JG (2017) Estrategias para mejorar la germinación de semillas de *Calyptrogyne ghiesbreghtiana* (Linden y Wendland). *Polibotánica* 43: 1-10. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.11>
- Medrano FG (2012) *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación*. Instituto Nacional de Ecología. Primera edición. México. 173 pp.
- Muro-Pérez G, Jurado E, Flores J, Sánchez-Salas J (2013) Efecto de la densidad de semillas en la germinación de tres especies del género *Astrophytum* (Cactaceae). *Gayana Botánica* 70: 26-30. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432013000100003>
- Oldfield S (1997) *Cactus and succulent plants: status survey and conservation action plan*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) Gland, Suiza. 222 pp.
- Profepa (2016) Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-2010>. (Cons. febrero 2023).
- Ramírez-González G, Martínez-Solis J, Colinas-León MT (2019) Germinación y crecimiento ex vitro e in vitro de cinco especies de cactáceas del género *Mammillaria*. *Polibotánica* 48: 99-110. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.8>
- Rivera JC, Cabrera RM, Bulnes F (2020) Micropropagación de *Prosopis pallida* (Humb & Bonpl. Ex Willd.) Kunth a partir de yemas apicales. *Revista Colomb. Biotecnol. XXII*: 18-26. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.70949>
- Rojas-Aréchiga M, Mandujano MC, Golubov JK (2013) Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cactaceae (Cactaceae). *Journal of Plant Research* 126: 373-386. <https://doi.org/10.1007/s10265-012-0526-2>
- Ruedas M, Valverde T, Castillo AS (2019) Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Botanical Sciences* 66: 25-35. <https://doi.org/10.17129/botsci.1608>
- Salas-Cruz LR, Foroughbackch-Pournabav R, Díaz-Jiménez M de L, Cárdenas-Ávila ML, Flores-Valdes A (2011) Germinación in vitro de cactáceas, utilizando zeolita como sustrato alternativo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 565-575.
- Sánchez-Salas J, Estrada AE, Arias S, Muro G, Aranda MG, Morales LJG (2014) Diversidad catoflorística de la zona árida y semiárida de Durango, México. *Interciencia* 39: 794-802.
- Sánchez-Salas J, Flores J, Martínez-García E (2006) Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire (Cactaceae), especie amenazada de extinción. *Interciencia* 31: 371-375. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33911610>
- Sánchez-Soto BH, García-Moya E, Reyes-Olivas Á, Romero-Manzanares A, Luna-Cavazos M (2016) Factores topográficos y edáficos que influyen en la estructura de especies perennes de islas de la costa de Sinaloa, México. *Botanical Sciences* 94: 63-73. <https://doi.org/10.17129/botsci.219>
- Sánchez J, Sáenz Mata J, Flores J, Jurado E, Estrada E, Aguirre O, Muro G (2018) Does seed aggragation and substrate type affect the germination on three native species of Durango, Mexico? *Phyton-International Journal of Experimental Botany* 87: 252-259. <https://doi.org/10.32604/phyton.2018.87.252>
- Sánchez Y, Ramírez M (2006) Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 23: 257-272. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037878182006000300001&lng=es&ynrm=iso
- Saucedo C, Margarita S, Arredondo S, Huber E y Flores J (2009) Comparación en la germinación de semillas y crecimiento de plántulas entre gramíneas nativas y exóticas del pastizal semiárido. *Técnica Pecuaria en México* 47: 299-312. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61312111006>
- Si Y, Haxim Y, Wang L (2022) Optimum Sterilization Method for In Vitro Cultivation of Dimorphic Seeds of the Succulent Halophyte *Suaeda aralocaspica*. *Horticulturae* 8: 289. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8040289/S1>
- Sokal RR, Rohlf FJ (1995) *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman and Company. Nueva York, EE.UU. 887 pp.
- Uribe-Salazar Y, Quintanar-Isaías A, Barbosa-Martínez C, Flores J, Jiménez-Sierra CL (2022) Morfoanatomía, histoquímica y germinación de las semillas de *Mammillaria parkinsonii* Ehrenb. (Cactaceae). *Polibotánica* 1: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.53.8>
- Valverde PL, Zavala-Hurtado JA (2006) Assessing the ecological status of *Mammillaria pectinifera* Weber (Cactaceae), a rare and threatened species endemic of the Tehuacán-Cuicatlán Region in Central Mexico. *Journal of Arid Environments* 64: 193-208. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.001>
- Villanueva RM, del Carmen Navarro M y Eliosa, HR. 2016. Germinación de tres especies de cactáceas endémicas de México en condiciones asépticas. *Zonas Áridas* 16: 1-16. <https://doi.org/10.21704/za.v16i1.633>
- Villarreal-Garza JA, Rocha Estrada A, Cárdenas Ávila ML, Moreno Limón S, González Álvarez M, Vargas López V (2013) Caracterización morfológica, viabilidad y germinación de semillas de mezquite y huizache en el noreste de México. *Phyton* 82: 169-174. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572013000200003&lng=es&ytlng=pt
- Villavicencio EEE, Cano AP, Juárez AS (2009) *Micropropagación producción de plantas del bonete o birrete de obispo, cactácea ornamental amenazada de extinción del Desierto Chihuahuense*. Campo Experimental Saltillo. INIFAP-CIRNE. Folleto Técnico. Núm 39. ISBN 978-607-425-130-2 Coahuila, México. 42 pp.
- Villegas MA (1996) *Desinfección y establecimiento in vitro del explante*. Laboratorio de Biotecnología Especialidad Fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México 5 pp.
- Walkley A, Black IA (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Williams PM, Arias I (1978) Physiological studies on plant species from the arid and semi-arid regions of Venezuela. I. The role of endogenous inhibitors in the germination of the seeds of *Cereus griseus* (Haw.) Br. y R. (Cactaceae). *Acta Científica Venezolana* 29: 93-97.
- Zamudio S, Guzmán U (2017) Dos especies nuevas de *Mammillaria* (CACTACEAE) del centro de México. *Polibotánica* 44: 1-10. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.44.1>