

SEP

# POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768



Enero 2022

Núm. 53

POLIBOTÁNICA



CONACYT



Núm. 53

CONACYT  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Enero 2022

## PÁG.

## CONTENIDO

- 1 Fabáceas del Área de Protección de Flora y Fauna Médanos de Samalayuca, Chihuahua, México  
*Fabaceae of the Flora and Fauna Protection Area Médanos de Samalayuca, Chihuahua, Mexico*  
J.R. Rueda-Torres | L. De León Pesqueira | A.B. Gatica Colima
- 13 Estudio de la flora presente en apiarios de tres municipios en el estado de Yucatán, México  
*Study of flora present in apiaries of three municipalities in the state of Yucatan, Mexico*  
C.I. Briceño Santiago | J. Cano Sosa | A.L. Ramos Díaz | R. Noriega Trejo | D.I. Couoh May
- 35 Relaciones filogenéticas de especies de *Phaseolus* de México con base en marcadores de ADN cloroplástico  
*Phylogenetic relationships of Phaseolus species from México based on chloroplastic DNA markers*  
V.H. Villarreal Villagrán | J. S. Muruaga Martínez | M.L.P. Vargas Vázquez | N. Mayek Pérez | S. Hernández Delgado
- 53 Las ingresiones e islas de los bosques espinosos del Caldenal dentro de los pastizales Austral Pampeanos  
*The Caldenal thorny forests ingressions and islands inside the Austral Pampean grasslands*  
E.L. Guerrero
- 69 Diversidad de especies de plantas arvenses en tres monocultivos del Bajío, México  
*Diversity of weed species in three monocultures from Bajío, Mexico*  
R. Guzmán Mendoza | V. Hernández Hernández | M.D. Salas Araiza | H.G. Núñez Palenius
- 87 Genetic diversity and genetic structure of *Capsicum annuum* L., from wild, homegarden and cultivated populations in a heterogeneous environment in Oaxaca, Mexico  
*Diversidad genética y estructura genética de Capsicum annuum L., de poblaciones silvestres, de traspatio y cultivadas en un ambiente heterogéneo en Oaxaca, México*  
R.T. Tapiaez | J.M. Peñaloza Ramírez | A.P. Olvera | A.L. Albarran Lara | K. Oyama
- 105 Morfología polínica de *Neomillspaughia* y *Podopterus* (Polygonaceae: Eriogonoideae: Cocolobeae)  
*Pollen morphology of Neomillspaughia and Podopterus (Polygonaceae: Eriogonoideae: Cocolobeae)*  
K.C. Durán Escalante | J.J. Ortiz Díaz | M. M. Ferrer | J. Tun Garrido
- 119 Morfoanatomía, histoquímica y germinación de las semillas de *Mammillaria parkinsonii* Ehrenb. (Cactaceae)  
*Morphoanatomy, histochemistry and germination of the seeds of Mammillaria parkinsonii Ehrenb. (Cactaceae)*  
Y. Uribe Salazar | A. Quintanar Isaías | C. Barbosa Martínez | J. Flores | C.L. Jiménez Sierra
- 135 Asymbiotic germination, *ex situ* conservation and *in vitro* plant regeneration of *Catasetum integerrimum* Hook  
*Germinación asimbiótica, conservación ex situ e in vitro regeneración de plantas de Catasetum integerrimum Hook*  
G. López Puc | G.J. Herrera Cool
- 151 Fitoquímicos y propiedades nutraceuticas de durazno (*Prunus persica* L.) cultivado en Zacatecas  
*Phytochemicals and nutraceutical properties of peach (Prunus persica L.) harvested in Zacatecas*  
J. Aguayo Rojas | S. Mora Rochín | X. Tovar Jiménez | J.J. Rochín Medina | R.O. Navarro Cortez
- 167 Evaluation of extracts of endemic trees (*Magnolia* spp.) in Mexico against the fruit fly pest and preliminary phytochemical study  
*Evaluación de extractos de árboles endémicos (Magnolia spp.) de México contra la plaga de la mosca de la fruta y estudio fitoquímico preliminar*  
S.G. Vásquez Morales | E.A. Alvarez Vega | D.A. Infante Rodríguez | J.P. Huchin Mian | M. Pedraza Reyes
- 183 Características fenotípicas, nutricionales y nutraceuticas de frutos de chile x'catik, dulce y su híbrido fl (*Capsicum annuum* L.)  
*Phenotypic, nutritional and nutraceutical traits of x'catik chili fruits, sweet and its fl hybrid (Capsicum annuum L.)*  
Y.A. Mís Valdez | M.J. Hernández Pinto | R. Garruña | K.B. Medina Dzul | R.H. Andueza Noh
- 197 Mecanismos de infección endógena en frutos de cacao con *Moniliophthora roreri*  
*Mechanisms of endogenous infection in cocoa fruits with Moniliophthora roreri*  
V. Flores | L. Gómez Rodríguez | J.A. López García | J. Grajales Conesa
- 211 Efectos de *Bacillus subtilis* cepas GBO3 y IN937b en el crecimiento de maíz (*Zea mays* L.)  
*Effects of Bacillus subtilis strains GBO3 and IN937b on the growth of corn (Zea mays L.)*  
A.E. Gutiérrez Calvo | A. Gutiérrez Estrada | C.L. Miceli Méndez | M.A. López Miceli
- 219 Conhecimentos etnobotánicos de mateiros em comunidades rurais da região da Serra das Almas, Paraná - Brasil  
*Conocimiento etnobotánico de los silvicultores en comunidades rurales de la región Serra das Almas, Paraná - Brasil*  
*Ethnobotanical knowledge of foresters in rural communities in the Serra das Almas region, Paraná - Brazil*  
M. Ferreira Clarindo | A. Staniski | J. Strachulski
- 239 Valor cultural de los recursos forestales no maderables en comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca  
*Cultural value of non-timber forest resources in Zapotec communities of the Sierra Juarez de Oaxaca*  
J. Martínez López | N.G. Molina Luna | S. Rangel Landa | C. Aquino Vázquez | A. Acosta Ramos

## Portada

*Podopterus mexicanus* Humb. & Bonpl. Polygonaceae. "Rompe capa". Árboles o arbustos de 1.5-6.0 m de altura, ramas con espina terminal, braquiblastos, hojas fasciculadas, flores blancas a verdosas en fascículos, y frutos cubiertos por el perianto externo que forma alas delgadas y largamente decurrentes hacia el pedicelo. Crece en bosques tropicales caducifolios y bosques espinosos, sobre suelo rocoso negro derivado de rocas ígneas. En elevaciones de 550-760 m. Florece de abril a mayo y fructifica de junio a septiembre. Se distribuye desde México hasta Centroamérica. En México se encuentra en los estados de Colima, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán. Se utiliza como planta melífera y para leña.



*Podopterus mexicanus* Humb. & Bonpl. Polygonaceae. "Rompe capa". Trees or shrubs 1.5-6.0 m tall, branches with a terminal spine, brachyblasts, fasciculate leaves, white to greenish flowers in fascicles, and fruit covered by the external perianth that forms thin wings and longly decurrent towards the pedicel. It grows in tropical deciduous forests and thorny forests, on black, rocky soil derived from igneous rocks. At elevations of 550-760 m. Blossoms from April to May and bears fruit from June to September. It is distributed from Mexico to Central America. In Mexico it is found in the states of Colima, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tamaulipas, Veracruz and Yucatán. It is used as a melliferous plant and for firewood.

por/by **Rafael Fernández Nava**



## INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*

Secretario General: *Mtro. Juan Manuel Cantú Vázquez*

Secretario Académico: *Dr. David Jaramillo Viguera*

Secretario de Extensión e Integración Social: *Dr. Luis Alfonso Villa Vargas*

Secretario de Investigación y Posgrado: *Dra. Laura Arreola Mendoza*

Secretario de Servicios Educativos: *Dra. Ana Lilia Coria Páez*

Secretario de Administración: *M. en C. Javier Tapia Santoyo*

Director de Educación Superior: *Mtro. Mauricio Igor Jasso Zaranda*

## ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Directora:

*Dra. Yadira Rivera Espinoza*

Subdirectora Académica:

*M. en C. Martha Patricia Cervantes Cervantes*

Subdirector Administrativo:

*Ing. Raúl Chávez Alvircio*

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

*Dr. Gerardo Aparicio Ozores*

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

*Dr. Felipe Neri Rodríguez Casasola*

---

**POLIBOTÁNICA**, Año 27, No. 53, enero-junio 2022, es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F. Teléfono 57296000 ext. 62331. <http://www.herbario.encb.ipn.mx/>, Editor responsable: Rafael Fernández Nava. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-011309001300-203. ISSN impreso: 1405-2768, ISSN digital: 2395-9525, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la ENCB del IPN, Rafael Fernández Nava, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

# REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## EDITOR EN JEFE

*Rafael Fernández Nava*

## EDITORA ASOCIADA

*María de la Luz Arreguín Sánchez*

## COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

*Christiane Anderson*  
University of Michigan  
Ann Arbor, Michigan, US

*Edith V. Gómez Sosa*  
Instituto de Botánica Darwinion  
Buenos Aires, Argentina

*Heike Vibrans*  
Colegio de Postgraduados  
Estado de México, México

*Jorge Llorente Bousquets*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

*Graciela Calderón de Rzedowski*  
Instituto de Ecología del Bajío  
Pátzcuaro, Mich., México

*Delia Fernández González*  
Universidad de León  
León, España

*Theodore S. Cochrane*  
University of Wisconsin  
Madison, Wisconsin, US

*Jerzy Rzedowski Rotter*  
Instituto de Ecología del Bajío  
Pátzcuaro, Mich., México

*Hugo Cota Sánchez*  
University of Saskatchewan  
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

*Luis Gerardo Zepeda Vallejo*  
Instituto Politécnico Nacional  
Ciudad de México, México

*Fernando Chiang Cabrera*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

*Claude Sastre*  
Muséum National d'Histoire Naturelle  
Paris, Francia

*Thomas F. Daniel*  
California Academy of Sciences  
San Francisco, California, US

*Mauricio Velayos Rodríguez*  
Real Jardín Botánico  
Madrid, España

*Francisco de Asis Dos Santos*  
Universidad Estadual de Feira de Santana  
Feira de Santana, Brasil

*Noemi Waksman de Torres*  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Monterrey, NL, México

*Carlos Fabián Vargas Mendoza*  
Instituto Politécnico Nacional  
Ciudad de México, México

*Julieta Carranza Velázquez*  
Universidad de Costa Rica  
San Pedro, Costa Rica

*José Luis Godínez Ortega*  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México

*Tom Wendt*  
University of Texas  
Austin, Texas, US

*José Manuel Rico Ordaz*  
Universidad de Oviedo  
Oviedo, España

## DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

*Luz Elena Tejeda Hernández*

## OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

*Pedro Aráoz Palomino*

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

**Dr. Rafael Fernández Nava**  
Editor en Jefe de

## POLIBOTÁNICA

Departamento de Botánica  
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional  
Apdo. Postal 17-564, CP 11410, Ciudad de México

Correo electrónico:  
*polibotanica@gmail.com*  
*rfernan@ipn.mx*

Dirección Web  
*http://www.polibotanica.mx*

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

CONACYT, índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico.

LATINDEX, Sistema regional de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.



**Mammillaria parkinsonii**

**Mammillaria parkinsonii**

MORFOANATOMÍA, HISTOQUÍMICA Y GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE  
Ehrenb. (CACTACEAE).  
MORPHOANATOMY, HISTOCHEMISTRY AND GERMINATION OF THE SEEDS OF  
Ehrenb. (CACTACEAE).





• • M am millaria parkinsonii • •

• • M am millaria parkinsonii • •

• • ceci\_jsierra@hotmail.com • •

• ESUMEN • es una especie endémica de México protegida por la NOM-059-SEMARNAT-2010 en categoría especial (Pr), por lo que el presente estudio es una contribución al conocimiento de su morfoanatomía, histoquímica y germinación de las semillas procedentes de una población de Tolimán, Querétaro, localidad que se caracteriza por una alta diversidad de cactáceas. Las descripciones anatómicas e histoquímicas se hicieron en 20 semillas seleccionadas al azar, las que se procesaron usando los protocolos estándares para los estudios de microscopía electrónica de barrido y de luz y para obtener laminillas permanentes y semipermanentes. Para el estudio de germinación se sembraron 210 semillas en cajas Petri en agar, distribuidas en seis réplicas y para la obtención de peso y tamaño 50 semillas al azar. Los resultados muestran una cubierta seminal formada por una cutícula no estriada, con sustancias pécticas y proteicas. La exotesta ocupa 6.8% del volumen total de la semilla, presenta paredes anticlinales lignificadas, suberizadas y con proteínas, formando ondulaciones tipo U y con protuberancias. El endotegmen es suberizado y una membrana embrionaria sin contenidos ergásticos envuelve al embrión. El endospermo está confinado a la cresta dorsal. El embrión es globoso, con los cotiledones reducidos y el hipocótilo asume la función de reserva con una asociación “cristales globoides/cuerpos proteicos”. La región del hilo micropilar es pequeña y oval, formada por parénquima. La germinación inició el día cinco y concluyó el día 29, con un tiempo medio de germinación en el día 8.9. El porcentaje final de germinación fue del 74.3%. La edad, el tamaño de la semilla, el tipo de reservas minerales y proteicas, los tiempos y el porcentaje de germinación de • • • • • • • • • • sugieren un potencial comportamiento ortodoxo o intermedio para formar bancos de semillas de suelo en un hábitat desértico.

• • • • • • • • • •: cactaceae, cresta dorsal, embrión, exotesta, cristales globoides y cuerpos proteicos.



• BSTRACT... is a mexican endemic species protected by NOM-059-SEMARNAT-2010 in the special category (Pr), thus the present study is a contribution to the knowledge of the morpho-anatomy, histochemistry and germination of ... seeds from a population in Tolimán, Querétaro which is characterized by a high diversity of cacti. The anatomical and histochemical descriptions were made on 20 randomly selected seeds, which were processed using standard protocols for scanning electron and light microscopy studies and to obtain permanent and semi-permanent slides. For germination study 210 seeds were sown in Petri dishes on agar, using six replicas; weight and size were obtained using 50 seeds randomly selected. The results show that the seed coat is formed by a non-striated cuticle with pectics and proteinaceous substances. The exotesta occupies 6.8% of the total volume of the seed, it has lignified-suberized and protein-containing anticline walls, forming U-type undulations with protrusions. The endotegmen is suberized and an embryonic membrane lacking ergastic contents surrounds the embryo. The endosperm is confined to a dorsal ridge. The embryo is globose, with two cotyledonous protrusions, and the hypocotyl assumes the reserve function with a "globoid crystals/protein bodies" association. The micropylar hilum region is small and oval, filled with parenchyma. Germination started on day 5th and ended on day 29<sup>th</sup>, with a mean germination time on day 8.9. The final germination percentage was 74.29%. The age, seed size, crystal and protein reserve as well as germination percentage of the ... suggest a potential orthodox or intermediate behavior to form soil seed banks in a desert habitat.

• ...cactaceae, dorsal ridge, embryo, exotestal seed coat, globoid crystal and protein bodies.

• NTRODUCCIÓN

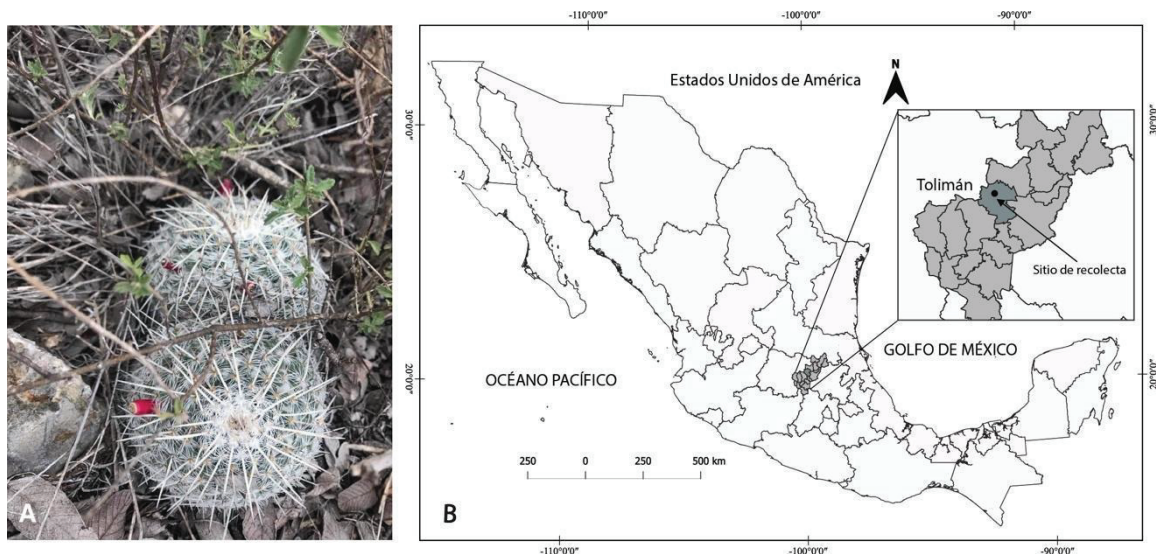
Las semillas de las cactáceas presentan una gran variedad en formas, tamaños y colores (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991). Así mismo se distinguen tres estructuras principales: cubierta seminal o testa, embrión y tejido de reserva (Barthlott & Voit, 1979) y la presencia de atributos morfológicos con valor taxonómico asociados a la dispersión con posibles implicaciones evolutivas (Rojas-Aréchiga, 2012). Esto se ha podido precisar con imágenes de microscopía estereoscópica, óptica y de barrido (MEB) (Rojas-Aréchiga, 2012; Singh, 1999). Barthlott & Hunt (2000) desarrollaron un catálogo de micrografías con las descripciones de la estructura de la testa de las semillas de 1050 especies pertenecientes a 230 géneros de la familia Cactaceae, trabajo que resulta una aportación fundamental para la taxonomía (Arias & Terrazas, 2004; Arroyo-Cosultchi ..., 2006, 2007; Zamudio & Guzmán, 2017) e ulteriores hipótesis sobre la relación con la germinación y la dispersión (Barrios ..., 2020; Bregman, 1988). Al respecto, Sánchez-Salas ..., (2015) estudiaron la morfometría de las semillas de la cactácea ... Lem. usando imágenes de microscopía estereoscópica; sus resultados los llevaron a concluir que la forma navicular de las semillas está relacionada con la hidrodispersión. Bregman (1988) y Sánchez-Salas ..., (2012) estudiaron la relación de la morfología de las semillas de cactáceas con los mecanismos de dispersión utilizando MEB y aunque sus resultados no son concluyentes sugieren relaciones con la hidrocoria. Por otro lado Maiti ..., (1994) estudiaron con MEB la morfología de cinco especies de semillas de cactáceas, sin encontrar relación con el proceso de germinación, sin embargo, sólo sugieren que la presencia de testas de paredes delgadas, de gránulos de almidón y el alto porcentaje de germinación están asociados. Uribe Salazar (2016) estudió la germinación de semillas ... Lem y de ... Link & Otto, sin encontrar relación entre la morfometría y el peso de las semillas con el tiempo de inicio de germinación y la probabilidad de germinación. Con respecto a los estudios histoquímicos, Núñez-Mariel ..., (2001) describen la embriología de ... (Audot) D.R.Hunt, reportando presencia de proteínas en el embrión. En este sentido Alencar ..., (2012) señalan que las reservas más abundantes en semillas de ... DC. son lípidos y proteínas. Por otro lado, en el caso de semillas del género ... Link & Otto, Lux ..., (1994) señalan que las sustancias de reserva del embrión maduro se localizan en cuerpos lipídicos y cuerpos

proteicos. A pesar de la importancia que tiene el género *Haw.* la información sobre la morfoanatomía de las semillas es escasa. En este sentido sólo se conocen las descripciones morfológicas de la testa de 52 especies de este género, incluyendo a *Barthlott & Hunt* (2000) y el trabajo de *Hernández-García & García-Villanueva* (1991) en el que describen la escultura de la testa, el tamaño, la forma y la posición del embrión, así como su desarrollo y la identificación de proteínas y almidón en *Link & Otto* (1997) y *DC*. En México se han registrado 164 especies de 560 para este género, de las cuales 85 % son endémicas y 113 están en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) debido al saqueo intensivo de sus ejemplares ya que son muy apreciadas como plantas de ornamento, por sus flores llamativas y por su facilidad para cultivar (*Hernández-García & García-Villanueva*, 1991). Para este género se reconocen seis áreas de distribución geográfica: una en el desierto sonorenses, cuatro en el desierto chihuahuense y la última en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán (*Hernández & Gómez-Hinostrosa*, 2015).

*Ehrenb.* es endémica de México y se distribuye en los estados de Guanajuato, Hidalgo y Querétaro. Actualmente se encuentra en la categoría de Protección especial (Pr) en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) se enlista en el Apéndice II de (CITES) y en peligro (EN) en la (UICN). Al igual que muchas especies del género, por su forma, sus flores llamativas y el arreglo de sus espinas tiene un alto valor ornamental por lo que el saqueo intensivo ha menguado sus poblaciones silvestres. Es una planta de color verde-azulado que en etapa temprana el tallo presenta un crecimiento solitario globoso, en estadio juvenil se ramifica poco a muy abundantemente (*Solórzano*, 2017) y cuando no se ramifica su forma de crecimiento es columnar de hasta 15 cm de altura y 8 cm de diámetro. Las areolas al surgir son redondas y presentan lana, posteriormente son desnudas, se sitúan ventralmente en los ápices de los tubérculos. Las espinas son radiales, aciculares, lisas y blancas. Las flores son de color rosa, en forma de campana de 1.2 a 1.5 cm de largo. Los frutos son carnosos (baya) de color rojo escarlata, claviforme de 1 cm de longitud (Fig. 1A). Las semillas son de color marrón, piriformes, con testa lisa, de 1.8 mm de longitud y 0.8 mm de diámetro (*Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada*, 1991). Generalmente crece en altitudes de 1400 msnm cerca de rocas calcáreas (*Gómez-Sánchez*, 2001). Para esta especie sólo se conoce el estudio demográfico en una población ubicada en Peñamellier, Qro. (*Jiménez*, 2016). Esta autora encuentra que la población está mayormente representada por dos categorías: juveniles y adultos 1 y se asocia con plantas nodrizas; así mismo sugiere que por el tamaño de la semilla, el fotoblastismo positivo y la viabilidad es potencial formadora de bancos de semillas de suelo. Por lo anterior los objetivos de este estudio se enfocaron en la descripción morfoanatómica, la identificación y la ubicación de los tipos de sustancias ergásticas, así como el registro del proceso de germinación de semillas maduras de *Ehrenb.*

## • MÉTODOS

Los frutos maduros recolectados de *Ehrenb.* proceden de una población de la región sur del desierto chihuahuense en Tolimán, Querétaro, México (latitud 20° 52' N; longitud 99° 57' W), altitud de 1200 msnm (Fig. 1B). La temperatura media anual es de 19.2 °C y con precipitación media anual de 361.4 mm (CONAGUA, 2010). La vegetación es un matorral xerófilo (*González-Medrano*, 2012). El tipo de suelo es calizo intercalado con afloramientos de lutitas (*Bayona*, 2016). Se elaboró un mapa de localización de la zona de procedencia con el software QGIS (QGIS Development Team, 2020).



A. B. Localización del sitio de recolecta: Toluán, Querétaro.  
 Mapa elaborado por Arroyo-Pérez E. modificado por E. Ruíz.

Los frutos de *...* fueron recolectados en julio de 2017, cada uno de diferente planta (N=15), los que se depositaron en una bolsa individual de papel estraza y se dejaron secar durante 40 días a temperatura ambiente. Posteriormente las semillas de cada fruto se extrajeron, contaron y limpiaron con toallas de algodón húmedas para retirar los residuos de la pulpa del fruto. El total de semillas de todos los frutos (N = 252) se guardaron en una bolsa de papel de estraza y se conservaron a temperatura ambiente. Para obtener el peso y el tamaño se tomaron 50 semillas al azar. El peso de cada semilla se obtuvo con una balanza analítica (OHAUS, analytical standard AS 120). Los valores obtenidos se registraron en una base de datos y se hizo la estadística descriptiva empleando Microsoft Excel 365.

Para obtener el tamaño de la semilla, primero se obtuvo una imagen escaneada del lote de 50 semillas, empleando el Escaner Epson perfection V370 photo. Esta imagen se corrió en el programa Fiji, versión 2.1 (Schindelin *et al.*, 2012) con el que se obtuvieron las variables: largo y ancho y la proporción largo/ancho de cada semilla, así como la estadística descriptiva. Con esta información y utilizando como referencia las escalas propuestas por Barthlott & Hunt (2000) se definió el tamaño y la forma de la semilla.

La preparación y siembra de las semillas de 14 meses de edad de cosecha se realizó en septiembre de 2018, siguiendo el protocolo de Reyes (2009). Se inició con un choque térmico sumergiendo el lote completo de semillas (N=210) en agua destilada a 50 °C donde permanecieron por 24 horas. Las semillas posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio (Cloralex) al 10% durante 10 minutos y con fungicida (Captan Bayer (PH 50) 1g/100 ml en agua destilada) por 10 minutos. La siembra se realizó colocando 35 semillas/caja Petri en agar bacteriológico (Bioxon) al 1% con seis réplicas y se mantuvieron en una cámara de crecimiento (Lumistell, modelo ICP-19) a temperatura constante de 25 °C, con un fotoperiodo de 12 h luz/12 h oscuridad. Al emerger la radícula con al menos 2 mm de longitud se consideró como semilla germinada. El registro de datos se realizó diariamente por 40 días. Los datos obtenidos fueron: día de inicio y término de germinación; porcentaje final de germinación y tiempo medio de germinación, el que se calculó con la siguiente ecuación;  $TMG = \frac{\sum(Dn)}{\sum n}$  donde; TMG= tiempo medio de germinación, n= número de semillas que germinan el día D, y

D= es el número de días a partir de la fecha de siembra (Ellis & Roberts, 1981) y se obtuvo la gráfica de la curva de germinación acumulada empleando Microsoft Excel 365.

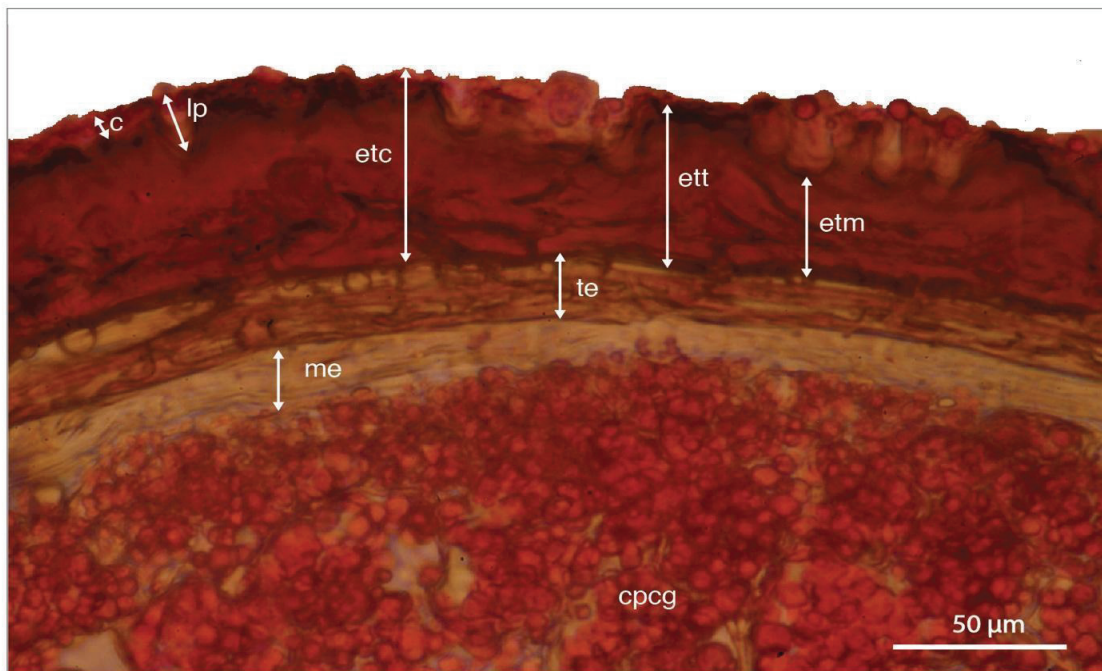
Microscopía Electrónica de Barrido. • Para la fijación y procedimientos de secado y montaje para microscopía electrónica de barrido (MEB) se emplearon seis semillas y los protocolos estándares (Bozzola & Russell, 1999). Para la desecación al punto crítico se empleó un desecador (Samdri-780B, marca Toumisii) y para cubrir con oro un recubridor por pulverización (Desk III, marca Denton Vacuum). Las observaciones y las micrografías se realizaron bajo un microscopio electrónico de barrido (JMS-5900 LV, marca JEOL). Se describieron las siguientes características en la superficie de la exotesta de las semillas: microrelieve de la testa, contorno, patrón celular de la región lateral y dorsal, límites celulares anticlinales y periclinales y características de la región hilo micropilar (RHM).

Histoquímica. • Para los protocolos histoquímicos y elaboración de laminillas permanentes se emplearon 15 semillas fijadas en FAA (formaldehído (10v): ET-OH 96% (50v): ácido acético glacial (5v): agua destilada (35v)) (Ruzin, 1999). Se lavaron con agua destilada por 48 horas. Las semillas se montaron en platinas para criostato usando el medio Tissue Tek<sup>®</sup> OCT Compound. Se elaboraron cortes medianos longitudinales y transversales de hasta 15  $\mu$ m, empleando un criostato (marca Leica) a -20°C (Krishnamurty, 1988; Ruzin, 1999).

Para la localización de sustancias ergásticas se usaron usó: azul de toluidina (1% acuoso) para ubicar lignina y taninos; sudán IV (0.2% alcohólico acidificado) para lípidos (aceites y ceras); lugol (yoduro de potasio al 1.5% y yodo al 0.3%, madurado) para carbohidratos no estructurales (almidones y pectinas); eosina amarilla (1%) y azul de Coomasi (0.02%) para proteínas (cuerpos proteicos) (Johansen, 1940; Krishnamurty, 1988; Ruzin, 1999).

Anatomía. Se elaboraron laminillas permanentes usando un tren de deshidratación alcohólica (60°-100° EtOH). En el cambio a 70° EtOH se tiñó con safranina alcohólica (1% en 70° EtOH) por 20 minutos, lavado con 70° EtOH tres cambios continuos. Previo al cambio a 100° EtOH se tiñó con verde rápido (0.05% 100 EtOH) por media hora; se hicieron tres lavados con 100° EtOH. Posteriormente se usó un tren con soluciones alcohólicas (EtOH absoluto/Alcohol terbutílico absoluto (TBA)) de 75° EtOH/25°TBA, 50° EtOH/50°TBA, 100°TBA, se hicieron dos cambios por concentración alcohólica, cada cambio con 3 minutos. Se montaron en resina Entellán<sup>®</sup>. El protocolo empleado se ajustó siguiendo a Ruzin (1999). La descripción y toma de fotografías se realizó con un par de microscopios ópticos compuestos Zeiss modelo K7 con cámara Nikon D-50, y Leica modelo DM 500 con cámara integrada ICC50W.

Las características anatómicas que se midieron en las secciones transversales fueron: grosor de la cutícula, grosores de la exotesta: mayor, menor y total; grosor total de la exotesta + grosor de la cutícula; longitud de las protuberancias, grosor del endotegmen, grosor de la membrana embrionaria y el largo y ancho de los cuerpos proteicos (Fig. 2). En sección longitudinal se midieron: el largo y ancho del embrión en la zona media de la semilla, la longitud total de la semilla, grosor del endospermo en cresta dorsal, largo y ancho de las células corticales, medulares, del procambium, de la caliptra y del ápice caulinar y radicular, empleando un ocular micrométrico calibrado. Con los datos obtenidos se obtuvieron las medias y desviaciones estándar, empleando Microsoft Excel 365.



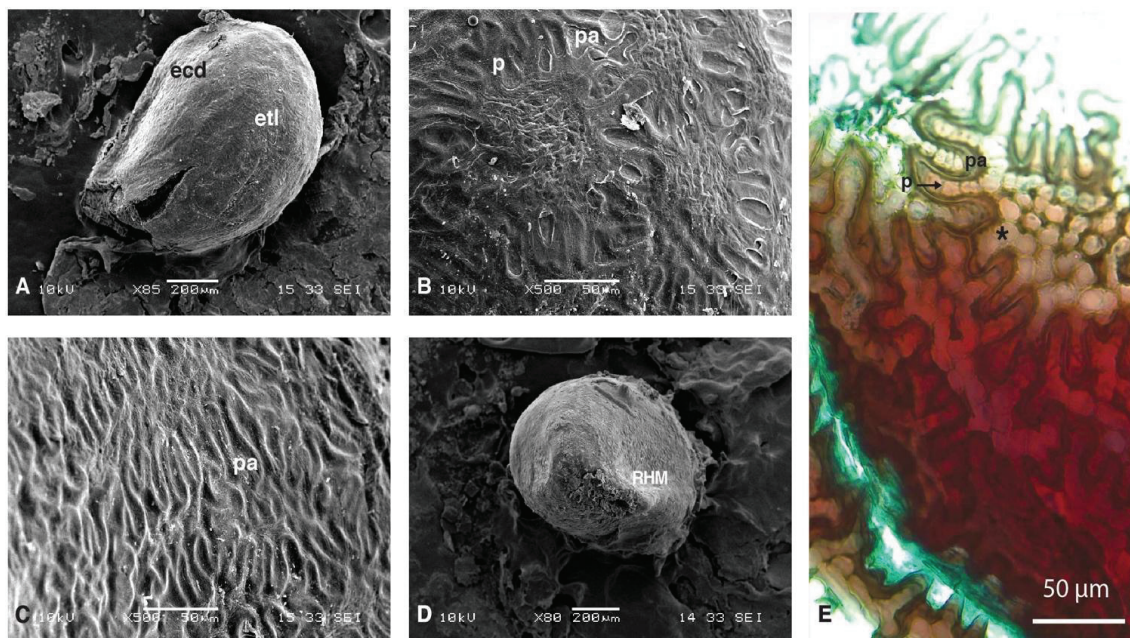
• • • • • Características anatómicas empleadas en la descripción de la semilla de • • • • •  
 c = cutícula; cpcg = cuerpos proteicos y cristales globoides en el embrión; etc = exotesta con cutícula; etm = exotesta total menor; ett = exotesta total sin cutícula; lp = longitud de las protuberancias; me = membrana embrionaria; te = endotegmen.

• RESULTADOS

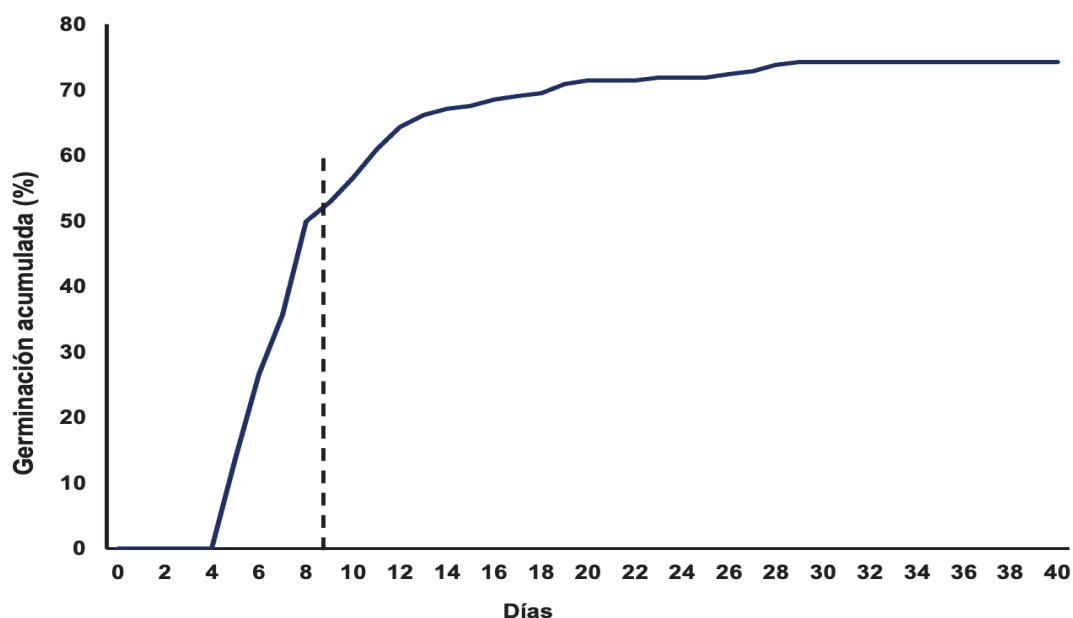
• • • • •

Los frutos de • • • • • pueden contener entre 7 y 41 semillas y en promedio  $18 \pm 9.2$  semillas/fruto. Las semillas pesan  $0.4 \pm 0.1$  mg; miden  $0.98 \pm 0.11$  mm de largo y  $0.62 \pm 0.07$  mm de ancho. Las semillas son de tamaño pequeño y presentan una proporción largo/ancho de  $1.58 \pm 0.18$  por lo que se consideran de forma oval. La cubierta seminal tiene color castaño rojizo, apariencia semi-mate y aspecto rugoso. Las paredes anticlinales y periclinales observadas en superficies paradermales con MEB, se aprecian elevadas con apariencia alargada y ondulada (Fig. 3B, 3C y 3E). En la periferia lateral de la semilla destaca una cresta dorsal sin dehiscencia y en la región apical la forma es redonda (Fig. 3A).

La curva de germinación acumulada muestra que a partir del día 5 y hasta el día 8 el incremento es lineal y germinó 50% que equivale a 105 semillas. Del día 9 al 15 germinó otro 15% y a partir del día 16 solo el 6%. Después de los 30 días ya no se registraron semillas germinadas. El porcentaje final de germinación fue de 74.3% y el tiempo medio de germinación se observó al día 8.9 (Fig. 4).

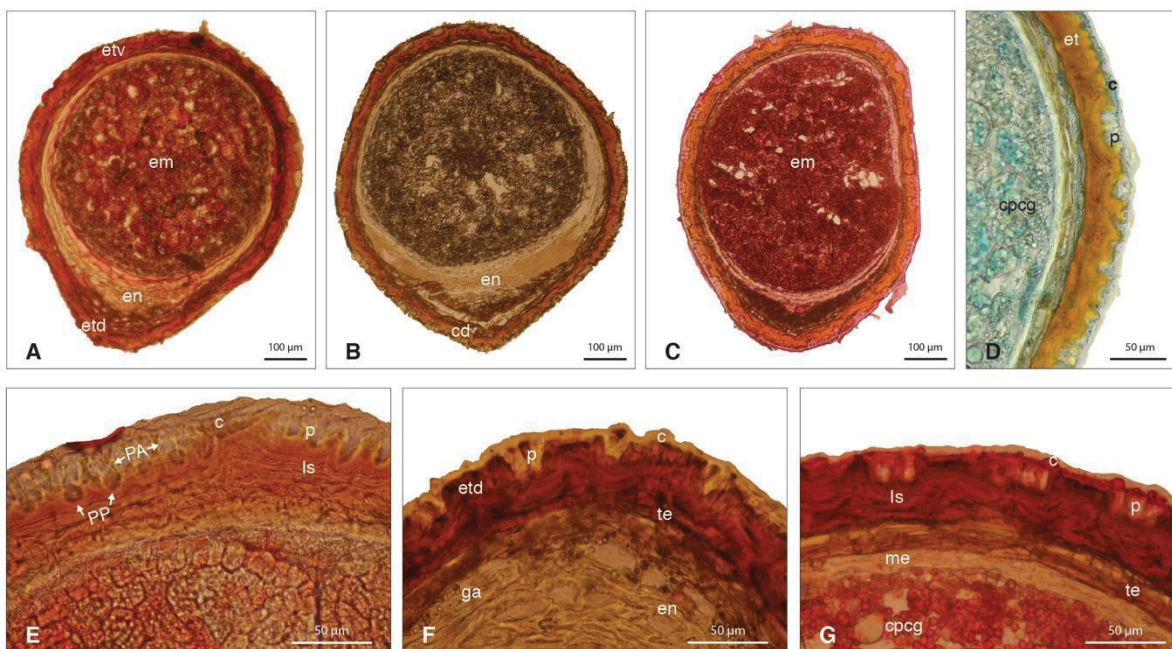


••••• A-D, micrografías en Microscopio electrónico de barrido. A) Región lateral de la semilla. B) Detalle de la superficie lateral de la semilla. C) Detalle de la superficie de la región de la cresta dorsal. D) Región hilo-micropilar. E) Microscopía de luz. Sección paradermal de la red de paredes anticlinales y periclinales que conforman la cubierta seminal. ecd = exotesta cresta dorsal; etl = exotesta lateral; p = protuberancias; pa = paredes anticlinales en vista paradermal; RMH = Región Hilo Micropilar; \*material péctico y proteico.



••••• Curva de germinación acumulada de las semillas de ••••• a través del tiempo. La línea punteada indica el TGM.

En vista superficial, las células de la exotesta de la cara lateral muestran un patrón profundamente lobulado (Fig. 3B, 3C y 3E); las paredes periclinales (PP) y anticlinales (PA) forman una “U”. Entre ellas se aprecia una red de membranas anticlinales (protuberancias), sobre la pared periclinal de la exotesta (Figs. 3E, 5D-5G, 6G). En la región de la cresta dorsal las PA de las células de la exotesta son más alargadas con lóbulos más cerrados (Fig. 3C) y entre sus PA también se aprecian las protuberancias (Figs. 3E y 5E). En secciones transversales, la exotesta con cutícula mide  $38.7 \mu\text{m} \pm 4.79$ , se observa que la cutícula es uniforme superficialmente y hacia el interior en algunas zonas forma domos pequeños (Fig.s 5E); en grosor mide  $4.75 \mu\text{m} (\pm 0.92)$ , presenta lípidos y proteínas (Fig. 5A, 5C-5E y 5G). La exotesta es irregular, la superficie periclinal más gruesa sin cutícula mide  $30.56 \mu\text{m} \pm 2.52$ , y la menos gruesa  $17.05 \pm 2.62$  (Fig. 2), con engrosamientos laminares de las PP que cierran el lumen celular, con presencia de proteínas (Fig. 5C, 5D y 5G), ceras (Fig. 5E) y lignina (Fig. 6H). Las protuberancias de la exotesta miden aproximadamente  $13.39 \mu\text{m} \pm 2.87$  de alto (Fig. 2). Entre la cutícula y la exotesta se aprecia un espacio irregular que mide  $2.98 \mu\text{m} \pm 0.59$  con presencia de sustancias de origen péctico y proteico (Figs. 3E, 5G y 6H).

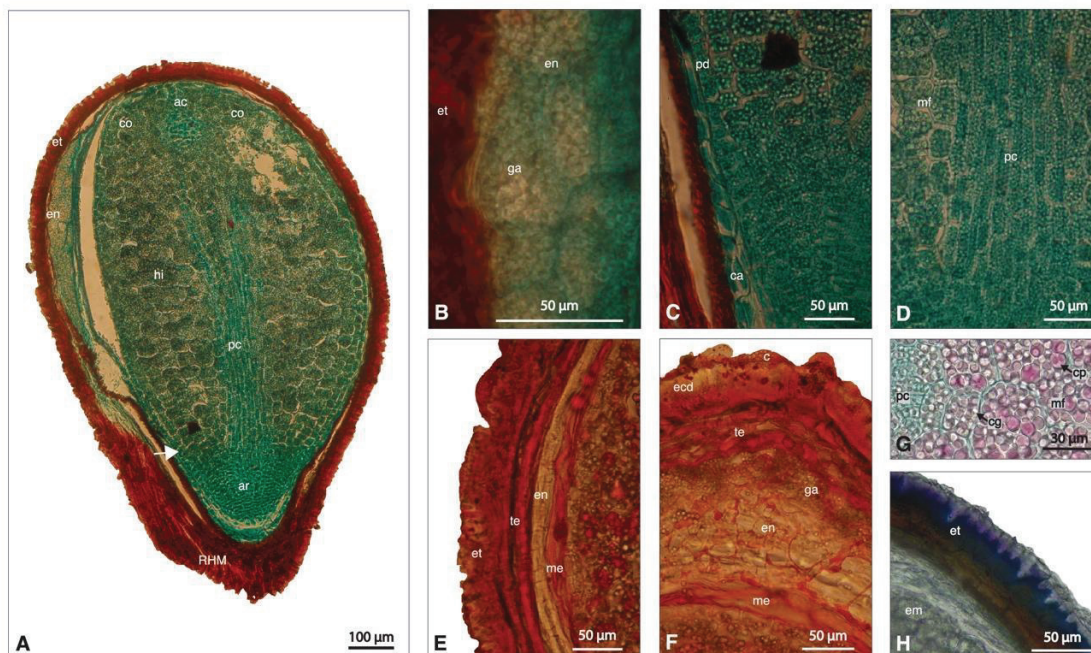


••••• Sección media transversal de la semilla de •••••. D, E y G. Detalles de la exotesta. A-C y F. Detalle de la cresta dorsal. c= cutícula; cd= cresta dorsal; cpcg= cuerpos proteicos y cristales globoides; em= embrión; en= endospermo; etd= exotesta dorsal; etv= exotesta ventral; ga= granos de almidón; ls= láminas de suberina; me= membrana embrionaria; p= protuberancias; PA= pared anticlinal; PP= pared periclinal; te= endotegmen. A y D. Sudán IV. B y F. Lugol. C y G. Eosina amarilla. D. Azul de Coomasi

El endotegmen es una estructura que está formada por una capa de células de paredes gruesas, aplanadas en dirección anticlinal, con lumen reducido, tiene un grosor de  $11.42 \mu\text{m} \pm 1.23$  (Figs. 5G y 6E). Las paredes muestran ceras, posiblemente suberina (Fig. 5E).

La cresta dorsal presenta un grosor máximo de aproximadamente  $67 \mu\text{m}$ . Formada por un estrato de células de la exotesta y tres o cuatro hileras de células aplanadas del endotegmen, seguidas de varios estratos de células del endospermo que presentan granos de almidón (Fig. 5A-5C y 5F).

El endospermo está localizado en posición lateral y longitudinal en la zona de la cresta dorsal (Fig. 5A y 5B). Las células de paredes primarias, delgadas y aplanadas con pequeños granos de almidón casi esféricos que miden  $4.16 \mu\text{m} \pm 0.88$  (Figs. 5F y 6B y 6F). Fuera de la cresta dorsal continúa como una lámina delgada hasta antes del diámetro medio de la semilla y se ubica claramente entre el endotegmen y la membrana embrionaria (Figs. 5A-5C y 6E).



• • • • • Secciones longitudinales A-D y transversales E-H de la semilla de • • • • •. A. Semilla completa. B y E. Detalle de exotesta y endospermo. C y D. Detalle de la zona basal del hipocótilo. F. Detalle de la cresta dorsal. G. Detalle de la zona del meristemo fundamental y procambium con cristales globoides y cuerpos proteicos. H. Detalle de la cutícula y exotesta. ac = ápice caulinar; ar = ápice radicular; c = cutícula; ca= células de la caliptra; cg = cristal globoso; co = cotiledón; cp = cuerpo proteico; ecd = exotesta dorsal; en = endospermo; em = embrión; et = exotesta; ga = granos de almidón; hi = hipocótilo; me = membrana embrionaria; mf = meristemo fundamental; pc = procambium; pd = protodermis; RHM = región hilo micropilar; tg = endotegmen; flecha: indica el límite superior de la radícula y el límite inferior del hipocótilo. A-D y G Safranina-Verde Rápido, E y F Sudán IV. H. Azul de Toluidina.

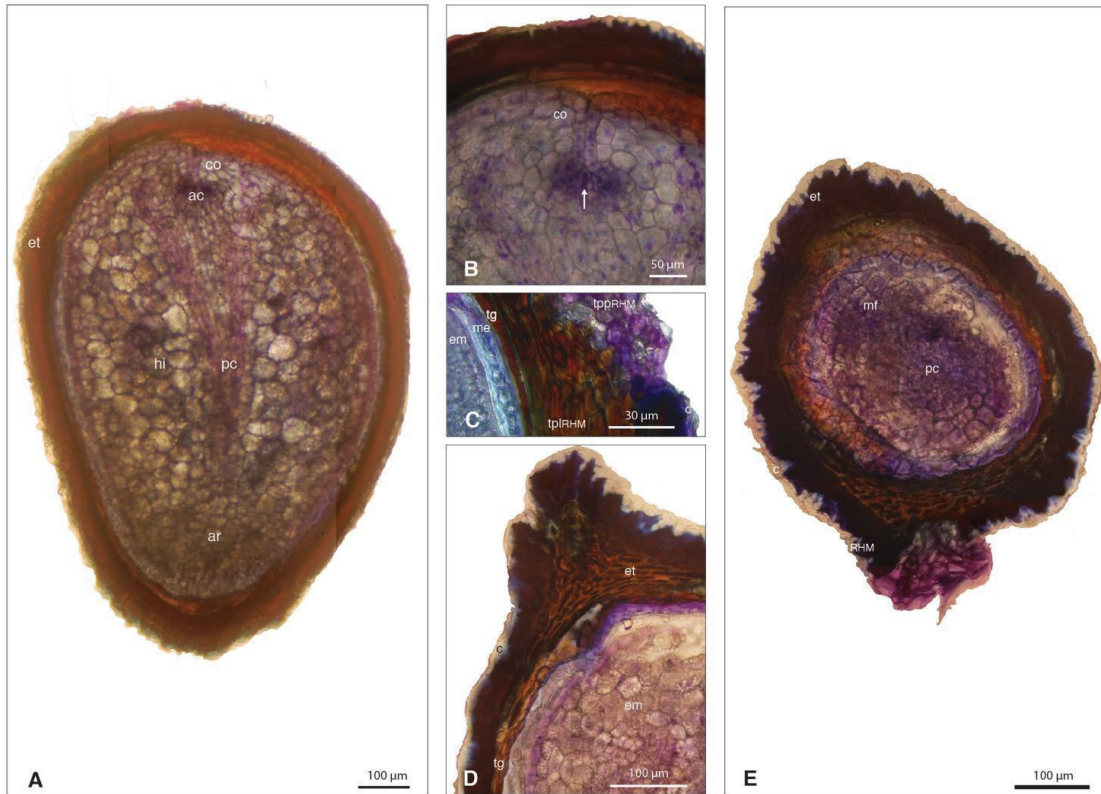
El embrión tiene forma globular, es recto, con una longitud de aproximadamente  $850 \mu\text{m}$  y un ancho de  $596 \mu\text{m}$ . Con una membrana embrionaria rodeándolo de  $8.35 \mu\text{m} \pm 1.74$  de grosor, sin contenidos ergásticos y reacciona intensamente a lípidos (Figs. 5G y 6E y 6F). El hipocótilo ocupa la mayor parte del volumen de la semilla (Figs. 6A y 7A). Los cotiledones son apenas dos protuberancias apicales (Figs. 6A y 7B). El ápice caulinar mide aproximadamente  $38.46 \mu\text{m}$  de alto y  $53 \mu\text{m}$  de ancho, formado por una sola capa de células (dermatógeno) y dos o tres iniciales (Fig. 7A y 7B). El meristemo fundamental ocupa la región cortical y medular del hipocótilo (Fig. 7A); estas últimas son pequeñas y ovaladas, miden  $26 \mu\text{m} \pm 0.73$  de alto y  $36 \mu\text{m} \pm 0.42$  de ancho; las corticales son isodiamétricas y miden  $36 \mu\text{m} \pm 0.83$  de largo y  $46 \mu\text{m} \pm 1.95$  de ancho (Figs. 6A y 7A), con cristales globoides y cuerpos proteicos que en conjunto miden  $8.4 \mu\text{m} \pm 0.96$ , los que aumentan de tamaño al incrementar el volumen celular (Fig. 6G).

El procambium tiene aproximadamente  $650 \mu\text{m}$  de largo; en la parte media del embrión se observan dos ramificaciones de este que entran a los cotiledones (Figs. 6A y 7A). Estas células derivadas son pequeñas y rectangulares de  $46 \mu\text{m} \pm 1.17$  de alto y  $10 \mu\text{m} \pm 0.60$  de ancho;



contienen cuerpos proteicos y cristales globoides que en conjunto miden  $4.67 \mu\text{m} \pm 0.96$  (Fig. 6A, 6C-6D y 6G).

La radícula se orienta hacia la región hilo-micropilar (Figs. 6A y 7A). El ápice radicular de  $137.8 \mu\text{m}$  de largo y  $148.6 \mu\text{m}$  de ancho, sugiere ser de tipo cerrado pues no se distinguen las células iniciales de las derivadas ni del centro quiescente. Apenas se distingue una breve región de la columela y la caliptra formada por tres a cuatro capas de células en la zona apical, las que miden  $21.29 \mu\text{m} \pm 8.9 \times 12.0 \mu\text{m} \pm 2.26$  (Figs. 6C y 7A). Las células de la protodermis y las del tejido fundamental de esta zona tienen forma y tamaño característicos. Las primeras son más comprimidas y las segundas isodiamétricas de aproximadamente un tercio del tamaño de las células del hypocótilo. Estas características definen claramente el límite superior del ápice radicular y el basal del hypocótilo (Fig. 6A y 6C).



A y B. Sección longitudinal de la semilla y ápice caulinar del embrión. B. Detalle del ápice caulinar. C. Detalle de la región del hilo micropilar. D. Detalle de la región de la exotesta que cubre a la RHM. E. Sección transversal del ápice radicular. ar = ápice radicular; c = cutícula; co = cotiledón; em = embrión; et = exotesta; hi = hypocótilo; mf = meristemo fundamental; pc = procambium; RHM = región hilo micropilar; tg = endotegmen; tppRHM = tejido parenquimatoso de paredes primarias de la RHM; tplRHM = tejido de paredes lignificadas de la RHM; flecha = ápice caulinar. Azul de Toluidina

La región hilo-micropilar (RHM) es pequeña de forma oval, oblicua, superficial y fusionada, mide  $142.8 \mu\text{m} \times 428.5 \mu\text{m}$  (Fig. 3D); formada por células de parénquima de paredes primarias (Fig. 7C-7E). La RHM está rodeada por la exotesta, la que en esa zona presenta hasta seis estratos de células de paredes secundarias lignificadas. Las formas celulares que se observan son de dos tipos: unas aplanadas y ubicadas hacia la periferia (Fig. 7D y 7E) y otras isodiamétricas que hacen contacto con las células del parénquima de la RHM (Fig. 7C) con cavidades que contienen posiblemente polifenoles. El endotegmen llega hasta el micropilo (Fig. 7D).

## • ISCUSIÓN

Las semillas de *Polibotánica* presentaron tamaño pequeño, lo que es similar a lo reportado para especies del mismo género por Barthlott & Hunt (2000); Serna-Navarrete-L (2007); López-Godínez (2009); Jiménez (2016) y Zamudio & Guzmán (2017). El tamaño pequeño puede evitar la depredación por mamíferos (pequeños o medianos) e insectos (Rojas-Aréchiga & Batis, 2001). Esta característica también puede facilitar la dispersión por viento y agua (Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes, 2000). El viento puede ser un vector importante en la dispersión debido al peso y en época de lluvias las corrientes de agua pueden trasladar las semillas lejos de las plantas madre. Este último factor podría dañar la superficie seminal provocando escarificación natural. Adicionalmente el tamaño pequeño está asociado a la formación de bancos de semillas de suelo (BSS) lo que favorece su fotoblastismo positivo y longevidad ecológica a corto plazo (Jiménez, 2016). Al quedar enterradas pueden conservarse en la oscuridad a bajas temperaturas lo que conlleva a la condición quiescente y por tanto su permanencia en el BSS.

El porcentaje final de germinación de las semillas de este estudio fue del 74.3%. Jiménez (2016) encuentra que en general para semillas de diferentes edades de *Polibotánica* germinan en un 80% las más viejas y en un 90% las más jóvenes. Rojas-Aréchiga *et al.* (2013) reportan los porcentajes de germinación de semillas pequeñas de ocho especies para este género (*Polibotánica* Haw., *Polibotánica* Pfeiff., *Polibotánica* Orcutt., *Polibotánica* Werderm., *Polibotánica* Mart., *Polibotánica* Scheer ex Salm-Dyck., *Polibotánica* Backeb., *Polibotánica* Mart.) que oscilaron entre 30 y 100%, aunque no documentan las edades. Sánchez-Salas *et al.* (2006) encontraron para *Polibotánica* Lem. que las semillas pequeñas y grandes tuvieron el 90% y el 58% de germinación respectivamente. Lo anterior sugiere que el tamaño y la edad de la semilla pueden estar relacionados con el porcentaje de germinación, por lo que es indispensable hacer más estudios sobre esta relación. Por otro lado, el tiempo medio de germinación para *Polibotánica* fue en el día 8.9 dato que se reporta por primera vez. Para esta variable no existe mayor información que ayude a sugerir si estos tiempos pueden ser característicos de semillas pequeñas.

En este estudio se reporta por primera vez la presencia de cutícula, con contenidos de origen péctico y proteico, lo que sugiere que los pequeños domos cuticulares internos que descansan en las terminaciones de las paredes periclinales (PP) de la exotesta se mantengan adheridos. En este sentido (Hernández-García & García-Villanueva (1991) localizan esta estructura en *Polibotánica* Link & Otto y en *Polibotánica* De Candolle, sin embargo, Barthlott & Hunt (2000) reportan su ausencia en *Polibotánica* y enfatizan la importancia de esta estructura, con o sin estrías, como atributo taxonómico, por lo que se debe revisar su presencia en otras especies del género.

La exotesta de esta especie adquiere una arquitectura superficial característica, dado que las células ubicadas en la cresta dorsal tienen menos protuberancias que las laterales, debido a que las paredes anticlinales (PA) son más cerradas, lo que se evidencia en las secciones transversales de la semilla y en la vista paradermal. Las ondulaciones tipo U y las protuberancias irregulares encontradas en las PP y PA para *Polibotánica* parecen ser características del género, ya que Hernández-García & García-Villanueva (1991) las reportan para *Polibotánica* y *Polibotánica* y Barthlott & Hunt (2000) en otras especies del género; sin embargo, éstos últimos autores encuentran mayor diversidad de ondulaciones al reportar tipos U, V, S y  $\Omega$  en 52 especies de *Polibotánica*. Si estos caracteres son relevantes en la taxonomía, es requisito abordar su gran diversidad morfológica.

Las paredes de la exotesta de *Polibotánica* presentaron láminas de suberina, depósitos de lignina y proteínas. Para esta estructura solo se han reportado taninos en las cavidades de la exotesta de *Polibotánica* DC. (Jiménez-Durán *et al.*, 2014) y en las de *Polibotánica* y

• • • • • y (Hernández-García & García-Villanueva, 1991). Con respecto al endotegmen, éste se conserva con presencia de lípidos en sus PP y sin depósitos ergásticos en sus cavidades, atributos morfológicos que no le otorgan rasgos cuticulares, como lo sugieren Hernández-García & García-Villanueva (1991). Tanto estos autores como Jiménez-Durán • • • • •, (2014) reportan que el endotegmen no se pierde durante la embriogénesis y lo ubican como una región con células elongadas, con taninos y comprimidas hacia el micrópilo. En • • • • •, tanto éste carácter junto con la exotesta representan el 6.8% del volumen de la semilla. Los contenidos encontrados en ambas estructuras le confieren una condición hidrofóbica, vital para la impermeabilidad.

El endospermo de • • • • • está confinado principalmente hacia la cresta dorsal, sin sufrir compresión y con presencia de granos de almidón, aunque en la región lateral se presenta como una lámina comprimida disfuncional sin material ergástico, asumiendo el hipocótilo el compromiso de almacenamiento de nutrientes (Hernández-García & García-Villanueva, 1991). En este sentido Núñez-Mariel • • • • •, (2001) reportan que durante el desarrollo del embrión de • • • • • el perispermo está reducido a una pequeña franja en la región cóncava del embrión y el endospermo formado por un solo estrato de células que rodea a la radícula y al hipocótilo, ambos tejidos consumidos casi en su totalidad, lo que contrasta con lo observado para el género • • • • • y para la especie en estudio.

En el presente estudio se confirma la existencia de una membrana embrionaria como una tercera estructura que envuelve al embrión y para el género • • • • • se reporta por primera vez. Esta estructura sólo se ha reportado en • • • • • por Sánchez-Salas • • • • •, (2015). Su composición sugiere un atributo funcional adicional que reviste al embrión con fines hidrofóbicos.

El embrión de • • • • • ocupa aproximadamente el 93% del volumen de la semilla, formado por células meristemáticas que contienen dos estructuras asociadas: los cristales globoides y los cuerpos proteicos. Destaca que en las células isodiamétricas corticales del meristema fundamental se localizan los cuerpos proteicos de mayor tamaño, es decir, es la zona de almacenamiento más importante; en contraste los de menor talla se localizan en las células del procambium, esto es similar para los tamaños de los cristales globoides, lo que se describe por primera vez para esta especie. Estas dos estructuras proveen del equipamiento de proteínas protectoras a la desecación, como fuente de energía y nitrógeno, y los segundos como fuente de minerales como: P, K y Mg y ocasionalmente presentan Ca, Mn, Fe, Ba, Zn, S y Cl, fundamentales para la germinación (Guevara-Farfan, 2019; Lux • • • • •, 1994; Matilla, 2008). En este sentido se han reportado presencia de cuerpos lipídicos y proteicos en las semillas de • • • • • Link & Otto, por Lux • • • • •, (1994) enfatizando su localización en la radícula. En • • • • • (Audot) D.R.Hunt. Núñez-Mariel • • • • •, (2001) en • • • • • y • • • • •, Hernández-García & García-Villanueva (1991) y en • • • • • DC. Jiménez-Durán • • • • •, (2014) sólo se refieren a la presencia de proteínas. Y finalmente Alencar • • • • •, (2012) reportan para las semillas de • • • • • DC. lípidos, proteínas y en menor proporción, azúcares solubles, aminoácidos y almidón como las moléculas de reserva más abundantes. Resalta que por un lado los cristales globoides no han sido reportados en las semillas de ninguna otra especie de la familia Cactaceae y por otro lado que el origen y ubicación de la asociación “cristales globoides/cuerpos proteicos” contrasta con el de los granos de aleurona presentes en las semillas de otras familias botánicas.

En • • • • • la RHM es una estructura similar a un tapón, el que está formado por células de parénquima de paredes primarias, lo que le da atributos altamente higroscópicos. Esta estructura está forrada por células de la exotesta y por células isodiamétricas con paredes secundarias fuertemente lignificadas (esclerificadas) lo que sugiere que la dirección de entrada del agua es exclusivamente por el micrópilo donde ocurrirá la absorción e hidratación de las células del parénquima. Por su forma isodiamétrica las células lignificadas tienen menor superficie de contacto entre ellas y por lo tanto pueden favorecer la ruptura de esa zona cuando

emerge la radícula, lo que Bregman & Bouman (1983) demuestran cuando estudian la emergencia de la radícula en *.....* Backeb. En contraste, Orozco-Segovia *.....*, (2007) mencionan que en la RHM de la semilla de *.....* se forman dos estructuras: un canal que se embebe de agua y una válvula de germinación por donde emergerá la radícula. Estas estructuras se forman durante la deshidratación y maduración de la semilla.

#### • ONCLUSIONES

*.....* presenta semillas de tamaño pequeño con alta viabilidad características que pueden ser asociadas a la formación de BSS. La morfología externa de la semilla representa un gran valor taxonómico a nivel de género y de especie lo que puede contribuir con un papel importante en la sistemática de la familia.

La relación morfoanatómica de la cubierta seminal le confiere a la semilla atributos que direccionan la entrada del agua exclusivamente por el micrópilo. La estructura de la exotesta, el endotegmen, la membrana embrionaria y la composición con sustancias disímiles al agua, garantizan esta direccionalidad de entrada de líquido, es decir, no existe posibilidades de otros mecanismos de mojado. El endospermo, aunque presente, está confinado hacia la cresta dorsal pero manteniendo todavía almidones lo que contrasta con el cuerpo del embrión cuyas células meristemáticas han acumulado la asociación “cristales globoides/cuerpos proteicos”. Esta asociación garantiza los elementos nutrimentales, de energía y fuente de nitrógeno requeridos para la germinación. Es de importancia para la semilla almacenar proteínas lo que le permite resistir a la deshidratación que el medio físico ejerce, manteniendo baja actividad metabólica y con ello su viabilidad, lo que ocurre con las semillas intermedias u ortodoxas. Por otro lado se sugiere profundizar en aspectos morfofisiológicos y moleculares que permitan vislumbrar qué tipo de relaciones existen con la germinación. Finalmente los resultados de este estudio podrían apoyar a planes de conservación de la especie para la reintroducción de ejemplares a su hábitat.

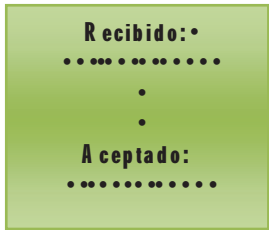
#### AGRADECIMIENTOS

Al Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I). Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) (301982) por la beca otorgada a RYUS. Al laboratorio de Ecología de Poblaciones donde se realizaron los estudios de germinación. Al Laboratorio de Anatomía funcional y biomecánica de plantas vasculares donde se realizaron los estudios anatómicos e histoquímicos. Al Dr. José David Sepúlveda por el apoyo brindado para el procesamiento de muestras y la elaboración de micrografías en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido de la UAM-I. Al Biól. Omar M. Balbuena por toda la ayuda en el laboratorio. Al Sr. Ricardo Solorio por el apoyo en la colecta y trabajo de campo. A la señora Juana Montoya y a su hijo Jesús Miguel de Santiago por los recorridos de campo y el hospedaje. Se agradece a la Dño. Gráf. Maria Elisa Ruíz, por la elaboración de las láminas. Se agradece profundamente a los revisores anónimos por sus sugerencias a este manuscrito. Este estudio fue financiado por los proyectos Ecología genética y aprovechamiento de los recursos vegetales en las zonas semiáridas de México (UAM-I), Red de investigación temática CONACyT Áreas Naturales protegidas (RENANP) y Red Socioecos-CONACyT a CLJS.

#### • ITERATURA CITADA

Alencar, N., Gomes-Filho, E., & Inneco, R. (2012). *.....* seed germination and initial seedling establishment as a function of light and temperature conditions. *.....*, *.....*(1), 70–74. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000100010>

- Arias, S., & Terrazas, T. (2004). Seed morphology and variation in the genus *Opuntia* (Cactaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 4(4), 277–289. <https://doi.org/10.1007/s10265-004-0156-4>
- Arroyo-Cosultchi, G., Terrazas, T., Arias, S., & Arreola-Nava, H. J. (2006). The systematic significance of seed morphology in *Opuntia* (Cactaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 4(4), 983–992. <https://doi.org/10.2307/25065693>
- Arroyo-Cosultchi, G., Terrazas, T., Arias, S., & López-Mata, L. (2007). Morfología de la semilla en *Opuntia* (Cactaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 81(1), 17. <https://doi.org/10.17129/botsci.1762>
- Barrios, D., Sánchez, J. A., Flores, J., & Jurado, E. (2020). RASGOS SEMINALES Y GERMINACIÓN EN LA FAMILIA CACTACEAE: UNA REVISIÓN EN LAS AMÉRICAS. *Acta Botanica Mexicana*, 3(3), 417–440. <https://doi.org/10.17129/botsci.2501>
- Barthlott, W., & Hunt, D. (2000). Seed diversity in the Cactaceae subfamily Cactoideae. *Acta Botanica Mexicana*, 1–173.
- Barthlott, W., & Voigt, G. (1979). Mikromorphologie der Samenschalen und Taxonomie der Cactaceae: Ein raster-elektronenmikroskopischer Überblick. *Acta Botanica Mexicana*, 205–229.
- Bayona, C. A. (2016). Los suelos en el estado de Querétaro. In *Acta Botanica Mexicana* (p. 667).
- Bozzola, J. J., & Russell, L. D. (1999). *Acta Botanica Mexicana*. Jones and Bartlett Learning.
- Bravo-Hollis, H., & Sánchez-Mejorada, H. (1991). *Acta Botanica Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bregman, R. (1988). Form of seed dispersal in Cactaceae. *Acta Botanica Mexicana*, 3(3), 395–402. <http://natuurtijdschriften.nl/download?type=document;docid=540698>
- Bregman, R., & Bouman, F. (1983). Seed germination in Cactaceae. *Acta Botanica Mexicana*, 4(4), 357–374. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1983.tb00977.x>
- CITES. (n.d.). *Acta Botanica Mexicana*. Retrieved March 25, 2021, from <https://cites.org/esp/disc/text.php>
- Ellis, R., & Roberts, E. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Acta Botanica Mexicana*, 373–409.
- Gómez-Sánchez, D. A. (2001). Descripción de las especies, hábitat y cuidados de cultivo. In *Acta Botanica Mexicana*. Mundi-Presa, Madrid.
- González-Medrano, F. G. (2012). *Las Zonas Áridas y Semiáridas de México y su Vegetación*. Instituto Nacional de Ecología.
- Guevara-Farfán, P. (2019). *Acta Botanica Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández-García, G., & García-Villanueva, E. (1991). Anatomía comparada de óvulos y semillas de dos especies del género *Opuntia* (Cactaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 25–38. <https://doi.org/10.17129/botsci.1395>
- Hernández, H. M., & Gómez-Hinostrosa, C. (2015). *Acta Botanica Mexicana*. Succulent Plant Research.
- Jiménez-Durán, K., Arias Montes, S., Cortés-Palomec, A., & Márquez-Guzmán, J. (2014). Embryology and seed development in *Opuntia* (Cactaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 3–12.
- Jiménez, G. (2016). *Acta Botanica Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Johansen, D. A. (1940). *Acta Botanica Mexicana*. McGraw Hill Books.
- Krishnamurty, K. V. (1988). *Acta Botanica Mexicana*. S. Viswanathan.
- López-Godínez, V. (2009). *Acta Botanica Mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lux, A., Mikuš, M., Hanáčková, Z., & Křištín, J. (1994). Radicle of *Opuntia* (Cactaceae). *Acta Botanica Mexicana*, 1(1), 17–21. <https://doi.org/10.1007/BF01587593>
- Maiti, R. K., Hernández-Piñero, J. L., & Valdez-Marroquín, M. (1994). Ultrastructure and



germination of some species of Cactaceae. •••••, ••, 97–105.

Matilla, A. J. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas. In ••••• (2013th ed.). McGRAW-HILL - Interamericana de España, S. L.

Núñez-Mariel, C., Engleman, E. M., & Márquez-Guzmán, J. (2001). Embriología de •••••(Audot) Hunt (Cactaceae). •••••, ••, 5–13. <https://doi.org/10.17129/botsci.1632>

Orozco-Segovia, A., Marquez-Guzman, J., Sanchez-Coronado, M. E., Gamboa de Buen, A., Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2007). Seed Anatomy and Water Uptake in Relation to Seed Dormancy in ••••• (Cactaceae, Opuntioideae). •••••, ••(4), 581–592. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm001>

QGIS Development Team. (2020). ••••• Geographic Information System. Version 3.16. Open Source Geospatial Foundation. Available from <https://Qgis.Org> [Accessed 3 Jun. 2020].

Reyes, J. (2009). ••••• Manual práctico, SEMARNAT. CONAFOR.

Rojas-Aréchiga, M. (2012). La importancia de la semilla en Cactaceae para estudios taxonómicos y filogenéticos. •••••, •(3), 15–18.

Rojas-Aréchiga, M., & Batis, A. I. (2001). Las semillas de cactáceas ... ¿forman bancos en el suelo? In ••••• (Vol. 46, Issue 4, pp. 76–82).

Rojas-Aréchiga, M., Mandujano, M. C., & Golubov, J. K. (2013). Seed size and photoblastism in species belonging to tribe Cacteeae (Cactaceae). •••••, ••(3), 373–386. <https://doi.org/10.1007/s10265-012-0526-2>

Rojas-Aréchiga, M., & Vázquez-Yanes, C. (2000). Cactus seed germination: a review. •••••, ••, 85–104.

Ruzin, S. E. (1999). ••••• Oxford University Press.

Sánchez-Salas, J., Flores, J., & Martínez-García, E. (2006). Efecto del tamaño de semilla en la germinación de ••••• LEMAIRE. (CACTACEAE), especie amenazada de extinción. •••••, ••(May), 371–375.

Sánchez-Salas, J., Flores, J., Muro-Pérez, G., Arias-Montes, S., & Jurado, E. (2015). Morfometría de Semillas en la Cactácea amenazada de extinción ••••• a Lemaire. •••••, ••, 119–131. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.39.7>

Sánchez-Salas, J., Jurado, E., Flores, J., Estrada-Castillón, E., & Muro-Pérez, G. (2012). Desert species adapted for dispersal and germination during floods: Experimental evidence in two ••••• species (Cactaceae). •••••, ••(10), 707–711. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.08.002>

Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., & Frise, E. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. •••••, •(7), 676–682.

SEMARNAT. (2010). •••••

Serna-Navarrete-L. (2007). ••••• Universidad Nacional Autónoma de México.

Singh, G. (1999). ••••• Science Publishers, Inc.

Solórzano, S., Tellez, O., Álvarez-Espino, R., & Dávila, P. (2017). Unidades Genéticas para la Conservación de ••••• (CACTACEAE). •••••, ••(2).

UICN. (2013). ••••• <http://www.iucnredlist.org>.

Uribe Salazar, Y. (2016). ••••• Universidad Autónoma Metropolitana.

Zamudio, S., & Guzmán, U. (2017). Dos especies nuevas de ••••• (CACTACEAE) del centro de México. •••••, ••, 1–10.