



**Los ambientes áridos y semiáridos: su relación con la
dispersión y germinación de especies**

**Arid and semi-arid environments: their relationship with
the dispersion and germination of species**

Jaime Sánchez¹, Eduardo Estrada Castellón², Mario A. García Aranda^{1,3}, Mario F. Duarte Hernández¹, Fabián García González⁴, Luis M. Valenzuela Nuñez¹, Gisela Muro Pérez^{1*}

Fecha de recepción/Reception date: 16 de agosto de 2022

Fecha de aceptación/Acceptance date: 15 de noviembre del 2022

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Biológicas. México.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. México.

³Especies, Sociedad y Hábitat, A. C. México.

⁴Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: giselamuro@ujed.mx

*Corresponding author; e-mail: giselamuro@ujed.mx

Resumen

Los ambientes semiáridos son dominados por condiciones extremas que influyen de manera directa en la dispersión y germinación de semillas, así como el establecimiento, desarrollo y mantenimiento de la cubierta vegetal. Este ciclo depende directamente de la disponibilidad del recurso hídrico. Sin embargo, en las zonas semiáridas el agua es limitada, por lo que las especies que ahí habitan presentan adaptaciones para su dispersión como el desarrollo de estructuras y estrategias de movilidad para asegurar su supervivencia. Las etapas de la dispersión hasta el establecimiento de las semillas se manifiestan mediante distintas estrategias o mecanismos para pasar de una fase a otra. Lo anterior aunado a la humedad, la disponibilidad de agua y los sustratos favorecen la dispersión. La interacción de los bancos de semillas y sus estructuras constituyen un factor decisivo para que las especies se adapten a las zonas áridas y semiáridas. Adicionalmente, las microestructuras seminales juegan un papel particular en cada especie al proporcionar ventajas ante las inclemencias que deben sortear, como sucede con el hilo prominente y los tegumentos delgados de las semillas, así como las formas singulares que facilitan no sólo la absorción de agua, sino la dispersión hacia sitios seguros que hagan posible iniciar el proceso de establecimiento.

Palabras clave: Adaptaciones, establecimiento, estructuras seminales, morfometría, semidesierto, semillas.

Abstract

Semi-arid environments are dominated by extreme environmental conditions that directly influence seed dispersal and germination, as well as the establishment, development and maintenance of plant cover. This cycle depends directly on the availability of the water resource. However, in semi-arid areas water is limited. Therefore, the species that grow there develop adaptations for their dispersal, such as structures and mobility strategies to ensure their survival. The stages of dispersal until the seeds establishment follow different strategies or mechanisms to pass from one phase to another. This strategy in addition to humidity, water availability and

substrates ensure dispersion. The interaction of seed banks and seed structures are a determining factor for species to adapt to arid and semi-arid zones. Additionally, the seminal microstructures play a particular role in each species by providing advantages in the face of inclement weather that they must overcome, as is the case with the prominent thread and the thin integuments of seeds, as well as the singular forms that facilitate not only water absorption but also dispersal towards safe places that accomplish the beginning of the establishment process.

Keywords: Adaptations, establishment, seminal structures, morphometry, semi-desert, seeds.

Introducción

Modelos de dispersión y germinación en ambientes áridos y semiáridos

Condición árida y semiárida. Hablar de aridez es hacer énfasis en una escasez del recurso hídrico, en el que la precipitación y la humedad atmosférica se comportan por debajo de los promedios anuales, definidos a nivel mundial en 840 mm (González, 2012); en el caso de la república mexicana, la precipitación media anual es de 777 mm (INEGI, 1994; INEGI, 2014). Por lo tanto, una zona árida es aquella que presenta una evaporación mayor que sus lluvias anuales (Tarango, 2005). Si los valores de precipitación pluvial oscilan entre 300 a 700 mm anuales, se puede considerar como zona semiárida (Paz y Díaz, 2018), pero si la captación es de 100 mm o menos, entonces propiamente corresponde a un desierto, que genera un grado de aridez particular para cada zona dependiendo de la estación del año (Granados-Sánchez *et al.*, 2011).

Modelos de dispersión de semillas. La dispersión de semillas es el punto central en el proceso de regeneración y establecimiento de la vegetación (Traveset *et al.*, 2014) que alcanzan nuevas áreas, densidades y extensiones de las futuras plantas adultas (Bullock *et al.*, 2003). La dispersión es el alejamiento de la semilla con respecto a la planta Madre (Howe y Smallwood, 1982). Este evento es sumamente complejo, dado que se involucran directa e indirectamente elementos propios de la dispersión secundaria (Wang y Smith, 2002), o bien de los síndromes de dispersión (Simpson y Todzia, 1990).

De acuerdo con Grime (1974), se consideran tres tipos de dispersión en ambientes secos. El primero se relaciona estrechamente con la predisposición de las semillas a un nivel elevado de disturbio bajo estrés; el segundo, a una estrategia tolerante que resulta de un alto nivel de estrés y bajo disturbio; y por último, a una estrategia competitiva que implica adaptaciones a las condiciones de estrés y disturbio. Estos tipos de dispersión podrían ser los responsables de las respuestas adaptativas de las semillas para iniciar la germinación ante distintas condiciones de humedad, frío y calor (Went y Westergaard, 1949; Odion y Davis, 2000). De igual forma, las estrategias germinativas son afectadas por el número de eventos reproductivos que presentan, en función de si son semillas de especies semélperas, iteróparas o anuales (Sánchez *et al.*, 2015).

Estrategias de dispersión

Dispersión de semillas o síndrome de dispersión. Existen varias estrategias de dispersión de las semillas: el viento, el agua y los animales (Eriksson y Kiviniemi,

2001). La dispersión dependerá de las características propias de las semillas, del sitio y de los agentes dispersores (Colombo y de Viana, 2000). Los estudios al respecto permiten entender los procesos evolutivos de las plantas actuales, su distribución y, hasta cierto punto, modelar el futuro de las poblaciones vegetales (Sádlo *et al.*, 2018).

Desde una perspectiva ecológica, la dispersión primaria es el fenómeno más abordado, y se define como la dispersión inicial; la dispersión secundaria es cualquier movimiento significativo de semillas viables después de la dispersión primaria, en la cual suelen intervenir agentes diferentes; por ejemplo, en primer lugar, una semilla puede dispersarse por defecación de un ave, y en segundo lugar, es factible la intervención de la escorrentía del agua y redistribuirlas espacialmente (Vander y Longland, 2004). Existen estudios que se basan en hipótesis y modelos experimentales para comprender el proceso de dispersión de semillas, así como la viabilidad y vigor de las mismas; además de, la posterior supervivencia de las plántulas (Maldonado-Peralta *et al.*, 2016).

El término más utilizado para referirse a las semillas es el acuñado por Sernander (1927) como diáspora, que se refiere a elementos o partículas vegetales provenientes de las plantas. A la semilla se le conoce como diáspora, propágulo, grano, embrión (Garnier *et al.*, 2017), *germule*, *migrule* o *chore* (van der Pijl, 1982). No obstante, semilla es el término más empleado y correcto, pues más de 3 millones de trabajos así la denominan en comparación a grano, embrión y diáspora, que son los sinónimos más relacionados.

Algo similar sucede cuando se refiere a la dispersión en semillas. En la actualidad, se ha encasillado este fenómeno en cinco tipos, que en función de la forma de transporte (foresia) recibe una clasificación específica. De acuerdo con Alcaraz *et al.* (1999), los tipos de movilidad o transporte más conocidos son autocoria (la propia

planta disemina la diáspora), anemocoria (viento), barocoria (gravedad), hidrocoria (agua) y zoocoria (animales).

El mecanismo de dispersión depende de las características propias del ecosistema, pues proporciona un panorama general sobre los mecanismos dominantes de dispersión en el ambiente de distribución de las especies (Hughes *et al.*, 1994) e incluso con las características macro o microestructurales propias de las semillas (Sánchez-Salas *et al.*, 2015). Sin embargo, el proceso que domina a la dispersión es de tipo secundario, por esta razón se le considera como un proceso esencial; puesto que la mayoría de las plantas necesitan a los dispersores terrestres, los cuales son los agentes de mayor efectividad (Jansen *et al.*, 2004), y de las estrategias propias de la planta (Gutterman, 1994).

La estrategia básica de dispersión en plantas es producir y ofrecer una gran cantidad de semillas con cualidades nutritivas y atrayentes para hormigas, roedores, aves y reptiles; los cuales son los dispersores esenciales en los ambientes semiáridos (Wunderle, 1997).

Las semillas de ambientes semiáridos presentan estructuras de almacenamiento proteico odorífero llamadas "elaiosomas" (pulpa, arilos, arilodio) que constituyen la recompensa a diferentes dispersores para incrementar la distancia de diseminación (Camacho-Velázquez *et al.*, 2018). Otra forma de distribución es por medio del viento, para lo cual las plantas han desarrollado "alas" que favorecen la dispersión eólica (Abraham de Noir *et al.*, 2002). Especies de ambientes semiáridos como *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth tienen semillas doblemente aladas, lo cual incrementa la probabilidad de dispersión a mayores distancias hacia sitios seguros (Young y Kelly, 2018), donde germinarán y posteriormente se establecerán (Sánchez-Salas *et al.*, 2017).

Tipos de dispersión. Conocer las estrategias de dispersión de las semillas es clave para conservar las especies nativas que, por lo general, habitan sitios

fragmentados, situación principalmente ocasionada por el crecimiento demográfico descontrolado (Sádlo *et al.*, 2018), o bien para generar planes de manejo que controlen a las especies invasoras.

Cuando las semillas caen, pueden experimentar diferentes tipos de dispersión:

a) Autocoria, que se relaciona particularmente con flora antropogénica o de disturbio como en el taxa Asteraceae; por ejemplo, *Tagetes moorei* H. Rob. var. *breviligulata* Villareal (cempasúchil) a través de la dispersión de los aquenios (Serrato y Cervantes, 2012). Corresponde a un tipo de disparo, debido que el fruto estalla al momento de la dehiscencia por maduración, como en *Bidens pilosa* L.; lo que proyecta violentamente las semillas a una distancia considerable respecto a la planta Madre (Calderón *et al.*, 2000).

b) Anemocoria, regularmente las semillas son pequeñas, livianas, secas, y se dispersan por el viento; poseen estructuras accesorias como alas, pelos o plumas que ayudan a su dispersión e incrementan el área de empuje dentro de las corrientes de aire (van der Pijl, 1972; Howe y Smallwood, 1982).

Generalmente, este tipo de dispersión se relaciona con pastos (Sádlo *et al.*, 2018) como la pata de gallo mexicana (*Chloris submutica* Kunth) y la grama (*Muhlenbergia rigida* (Kunth) Kunth) (Sánchez-Ken, 2019); enredaderas (Vázquez y Givnish, 1998) y herbáceas como el diente de león (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.) (Sádlo *et al.*, 2018). Pero, si se combina con la dispersión autocora se presenta en algunas especies arbustivas como *Larrea* sp. (Abraham de Noir *et al.*, 2002).

c) Barocoria es la dispersión de semillas por gravedad, mecanismo de dispersión básico de las comunidades climatófilas (cuando el desarrollo depende de las precipitaciones y condiciones ecológicas generales del territorio) (Giménez y González, 2011). Ocurre en la mayoría de las plantas con frutos dehiscentes que, al madurar la diáspora, cae libremente al suelo por su propio peso o gravedad, como en especies arbustivas (Vázquez y Givnish, 1998), sobre todo fabáceas como

huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Will.); hoja de guayabo (*Senna ripleiana* (H. S. Irwin & Barneby) H. S. Irwin & Barneby); garabatlillo o gatuño (*Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Benth.) Barneby) (Aguilar *et al.*, 2021).

d) Hidrocoria, que es la dispersión de semillas por medio de corrientes de agua, se relaciona con especies de ecosistemas acuáticos como *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms y de zonas riparias como *Typha angustifolia* L. Sin embargo, por paradójico que parezca, en las regiones secas (áridas y semiáridas) existen especies que poseen semillas adaptadas para la hidrodispersión con cierta morfología como la forma de almeja en mezquite (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst.) y forma de barco como en la cactácea, bonete de obispo (*Astrophytum coahuilense* (H. Moeller) Kaufer) y la asparagácea. noa (*Agave victoriae-reginae* T. Moore) (Sánchez-Salas *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2017).

e) Zoocoria ocurre en semillas de árboles, arbustos y algunas cactáceas con semillas duras; por ejemplo, endozoocoria en semillas de nopal (*Opuntia rastrera* F. A. C. Weber) (por ingestión); epizoocoria en el fruto del cuerno del diablo (*Ibicella lutea* (Lindl.) Van Eselt.) (adheridas externamente al cuerpo); y sinzoocoria en la cactácea denominada viejito (*Echinocereus longisetus* (Engelm) Lem.) (dispersión por aves) (Howe y Smallwood, 1982).

Tipos de bancos de semillas. El primer estudio que involucró un banco de semillas fue realizado por Darwin, quien observó la germinación con muestras de suelo del fondo de un lago. El primer trabajo que se publicó al respecto fue en 1882 por Putersen, en el que se evaluó el efecto de la profundidad de enterramiento en la germinación (Roberts, 1981). Actualmente, los bancos de semillas de plantas herbáceas son los que más se han abordado por su importancia para aspectos agrícolas.

En ambientes secos o desérticos, los bancos de semillas consisten en agregaciones de semillas de plantas efímeras, anuales (Simpson *et al.*, 1989) y perennes persistentes que sobreviven exitosamente, porque distribuyen el riesgo de la

germinación por lotes en varios años; así, esta es la vía principal de recuperación vegetal de especies que en ocasiones difícilmente pueden reproducirse de manera asexual (Montenegro *et al.*, 2006). Estos bancos de semilla son de tipo transitorio, con semillas capaces de germinar en menos de un año, con un solo evento reproductivo y depositadas sobre la superficie o entre restos orgánicos de la vegetación (Thompson *et al.*, 1997); o bien de tipo persistente, caracterizados por tener semillas con viabilidad registrada hasta por siglos, con varios eventos germinativos (Walck *et al.*, 1996), así como semillas enterradas (Milberg *et al.*, 2000) que, por lo general, mantienen la cubierta vegetal aun cuando están sujetos a disturbios, incendios y fluctuaciones hídricas (Harper, 1977; Fenner, 1995; Odion y Davis, 2000; Sánchez *et al.*, 2015).

Dos factores influyen directamente para que las semillas se conserven sin germinar en el banco de semillas: los intrínsecos o propios de la diáspora, como los tipos de latencia e inhibidores químicos; y los extrínsecos: la escasez de agua, luz, escarificación mecánica o cantidad de oxígeno, sobre todo en los bancos de semillas terrestres enterrados (Granados y López, 2001). Esos factores, pueden actuar en la modificación de la estructura de los bancos de semilla, pues se han observado sitios donde las especies dominantes son ruderales (Sánchez *et al.*, 2010).

Importancia ecológica del banco de semillas como estrategia para la conservación de especies. Conocer los bancos de semillas en el suelo es una alternativa para el manejo y recuperación de sitios deforestados, específicamente, con taxa nativos con la finalidad de disminuir el riesgo de que taxones invasores modifiquen la cubierta vegetal (Sánchez-Salas *et al.*, 2015). Es de suma importancia valorar el “*pool* génico” (reserva genética) de sitios deforestados o abandonados (Garza *et al.*, 2010) para implementar y evaluar programas de restauración con especies propias de las zonas. En la familia Cactaceae, en géneros como *Ariocarpus*, *Coryphantha*, *Echinocactus*, *Mammillaria* y *Obregonia* los frutos se quedan en el ápice

o entre las espinas, lo que impide su dispersión (Zavala-Hurtado y Valverde, 2003; Rodríguez-Ortega *et al.*, 2006; Peters *et al.*, 2009), y se comportan, en cierta medida, como un banco de semillas aéreo (De Souza *et al.*, 2006).

Proceso germinativo. La diáspora es el envoltorio o cobertura donde se resguarda y protege el embrión que derivará en una planta nueva, denominada espermatofita (Dimitri y Orfila, 1985; Carrión y Cabezudo, 2003). El agua es el factor limitante por naturaleza en los ambientes secos para que la diáspora active el proceso de germinación (Evenari, 1985; Hernández *et al.*, 2015); por lo que su respuesta es la adaptación a las variaciones pluvio-ambientales (Rees, 1994). Así, este fenómeno es riesgoso, las semillas tienen un tiempo limitado para responder a las pulsaciones pluviales que son cortas (Escudero *et al.*, 1997);, por ello, las semillas reaccionan rápidamente para asegurar su supervivencia (Gutterman, 1993).

El proceso de germinación está influenciado por agentes externos como el tiempo para germinar, ausencia o presencia de luz, estructura mineral del suelo y el contenido de reservas (Valverde *et al.*, 2004), que también lo favorece o inhibe (Uruç y Demirezen, 2008). El primer paso en ese sentido es la imbibición (Taylor *et al.*, 1992) y ocurre en tres fases:

I) Hidratación: consiste en el movimiento del agua dentro de la semilla a través de un gradiente potencial de alta energía a uno bajo (Black *et al.*, 2006) que regula el nivel de humedad interno en la diáspora y la función enzimática de las membranas celulares (Brocklehurst y Dearman, 1983; Martínez-Balbuena *et al.*, 2010); que permitirán la regulación del nivel de imbibición requerido para un proceso de hidratación óptimo que desencadene el de germinación. Así, los procesos de hidratación o hidratación-deshidratación-rehidratación son los tratamientos pregerminativos que, por excelencia, incrementan la capacidad germinativa en la mayoría de las semillas (Henckel, 1982; Dubrovsky, 1996; Sánchez-Salas *et al.*,

2012; Sánchez *et al.*, 2017); y en las semillas de especies desérticas. lo llaman “memoria de hidratación”.

II) Imbibición/Absorción: esta fase reactiva la actividad metabólica de la diáspora, la cual da inicio al proceso germinativo. El evento de absorción se relaciona directamente con la permeabilidad de la testa (Méndez *et al.*, 2008) y puede afectarse por estructuras accesorias como sobres o envolturas funiculares, como en semillas de *Opuntia* spp. (Monroy-Vázquez *et al.*, 2017), las cuales presentan un “arilo o tercer integumento” (Flores y Engleman, 1976; Porrás-Flórez *et al.*, 2017) que cubre las semillas y las protege, en particular, en las Fases I y II, en caso de un proceso de hidratación ambiental interrumpido que provoque deshidratación en la diáspora (Taylor *et al.*, 1992). La velocidad de imbibición, generalmente, es intermedia hasta que se completa el proceso (Moreno *et al.*, 2006), pero esto varía en función del tamaño y diáspora de cada especie e induce el inicio de la última fase del proceso.

III) Germinación: es la etapa en la que finalmente se elonga la radícula debido a las estructuras que rodean el embrión, lo que genera un incremento en el proceso de absorción de agua que provoca la expansión de las células embrionarias (Contreras *et al.*, 2015). A la par, se activan proteínas intrínsecas llamadas PIP (Nonogaki *et al.*, 2010) como las acuaporinas que son las encargadas de transportar el agua a través de las membranas (Chávez *et al.*, 2014) durante todo el proceso germinativo: así como, la activación de proteínas tonoplásticas intrínsecas denominadas TIP que regulan el paso del agua a través de las propias membranas (Nonogaki *et al.*, 2010). Esto finaliza con el crecimiento y división celular, y se inicia la emergencia del sistema radicular y la plúmula (Vázquez *et al.*, 1997).

Adaptaciones morfoestructurales en semillas de ambientes secos

El heteromorfismo intra e interespecífico de las semillas se considera una respuesta hacia eventos ambientales favorables para perpetuar las múltiples estrategias reproductivas de las plantas, lo que favorece su permanencia en el sitio (Venable, 1985). En este sentido, las plantas con heteromorfismo son de interés particular para comprender las estrategias no solo reproductivas o evolutivas, sino, sobre todo, el mecanismo de dispersión y germinación (Rocha, 1996); tal es el caso de las semillas de *Agave victoriae-reginae*, que son de medianas a grandes, con cubierta porosa rodeada de cámaras de aire que facilita la hidrodispersión y captura de agua en periodos cortos de inundación (Sánchez-Salas *et al.*, 2017).

Cuando una morfología específica de la diáspora se asocia con funciones particulares de la misma, es posible realizar un análisis de las estructuras seminales (Venable y Brown, 1988). Por ejemplo, se ha registrado que especies de ambientes secos como *Astrophytum coahuilense*, *A. myriostigma* Lem. y palma de moriche (*Mauritia flexuosa* L. f.) producen semillas de diferentes tamaños que favorecen la germinación (Sánchez-Salas *et al.*, 2012; Sánchez-Salas *et al.*, 2015); pues se ha determinado que semillas pequeñas poseen capacidades germinativas vertiginosas, o bien mayor efectividad en viabilidad, emergencia, supervivencia e incremento de la habilidad competitiva entre las plántulas (Sánchez *et al.*, 2010). De igual forma, el tamaño de las semillas es también una estrategia para disminuir la pérdida de banco de semillas, como sucede con *A. myriostigma* (Sánchez-Salas *et al.*, 2015), o bien el tamaño de semillas aumenta o disminuye el desplazamiento en topografías irregulares (Chambers *et al.*, 1991), como las especies de matorrales desérticos xerófilos; por ejemplo, *Larrea tridentata* (DC.) Coville, *Agave lecheguilla* Torr. y *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. (Granados-Sánchez y Sánchez-González., 2003).

Se ha determinado que hasta el peso de 1 mg de diferencia entre grupos de semillas (tamaños) producen resultados distintos en la germinación (Sánchez-Salas *et al.*, 2006); como en semillas de *Abutilon theophrasti* Medik., en las que el grupo de semillas grandes (8.0-8.9 mg y 7.0-7.9 mg) alcanzó un porcentaje de germinación más alto, ya que tienen mayor capacidad de almacenamiento de nutrientes (Baloch *et al.*, 2001); sin embargo, también se puede generar un efecto inverso, pues a mayor tamaño, el tiempo de germinación es prolongado; porque la semilla tarda más tiempo en hidratarse y embeberse (Harper *et al.*, 1970; Hernández-Valencia *et al.*, 2017). Otra posibilidad, como en *Stenocereus beneckeii* (Ehrenb.) A. Berger & Buxb., las semillas varían en peso y tamaño, lo cual influye en la dispersión y posterior establecimiento de las plántulas (Ayala-Cordero *et al.*, 2004).

No solo el tamaño de la diáspora favorece el proceso de dispersión, sino también la forma. Por ejemplo, *Astrophytum* posee una diáspora de forma especializada para su dispersión, específicamente por agua (hidrodispersión). Se caracteriza porque cinco de sus seis especies tienen diásporas de forma navicular: *Astrophytum asterias* (Zucc.) Lem., *A. capricorne* (A. Dietr.) Britton & Rose, *A. coahuilense*, *A. myriostigma* y *A. ornatum* (DC.) Britton & Rose (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), de balón (Henrickson y Johnston, 1997) o sombrero (Barthlott y Hunt, 2000). Los estudios más relacionados a la morfometría con taxones de ambientes secos evaluaron la forma, tamaño, color y arreglos tegumentarios (Elizondo *et al.*, 1994), ya que todos están estrechamente relacionados con la capacidad germinativa de la diáspora (Maiti *et al.*, 1994).

Adaptaciones macro y microestructurales. Barthlott y Voit (1979) y Elizondo *et al.* (1994) indican que la micromorfología en semillas de la familia Cactaceae es de alta variabilidad en forma, tamaño, color e incluso en arreglos tegumentarios, lo que produce efectos sobre la germinación (Maiti *et al.*, 1994).

Con respecto a estudios que se refieren a las cubiertas tegumentarias se pueden citar los de Glass y Fitz (1992) en semillas de *Aztekium hintonii* Glass & Fitz Maurice; Elizondo *et al.* (1994) en *Astrophytum capricorne*, *Echinocactus horizonthalonius* Lem. y *Epithelantha micromeris* (Engelm.) F. A. C. Weber ex Britton & Rose. Las semillas de *A. myriostigma* presentan las microestructuras de mayor complejidad en la familia Cactaceae (Barthlott, 1981), las cuales, de manera tanto interna como externa, podrían ser una adaptación al medio donde se distribuyen (Sánchez-Salas *et al.*, 2015). Los caracteres macro, como la forma de la diáspora, son importantes para la hidrodispersión repentina típica de ambientes secos (Sánchez-Salas *et al.*, 2015). Regularmente, las formas de semillas hidrocóricas poseen caracteres avanzados para su flotabilidad como: embriones ligeros y pequeños, hilo prominente y tegumento delgado que facilitan la permeabilidad (Sánchez-Salas *et al.*, 2015). Sánchez *et al.* (2017) realizaron un estudio con semillas de *Agave victoriae-reginae* en el que suponen que las semillas son permeables debido a que no tienen tegumentos coriosos que dificulten la absorción de agua; caso contrario al de García-Aguilera *et al.* (2000), quienes concluyeron que las semillas de mezquite (*Prosopis glandulosa* Torr.) y de huizache (*Acacia farnesiana*) tienen una cubierta dura e impermeable.

La forma del embrión influye en la dispersión, si se parte del supuesto de que por algún tipo de agente dispersante se pudiera eliminar la testa. Si el embrión es de tipo ovoide o almeja (Sánchez-Salas *et al.*, 2015) incrementará las probabilidades de germinar, ya que no solo la semilla presenta forma navicular, sino que al embrión se le facilitará el proceso de dispersión, lo cual le otorga una doble capacidad dispersora.

En lo que respecta a las microestructuras, las semillas xerófilas pudieran presentar algún tipo de espacio poroso, además de una forma navicular, almeja o lacriforme semiplana que rodea por completo la testa, pues la función principal es proporcionar

flotabilidad inmediata al entrar en contacto con el agua (Barthlott *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 2017). Las cámaras de aire están formadas por tejido protector hipodérmico de colénquima que protege al embrión (Maiti y Perdome, 2003) durante la hidrodispersión.

El funículo en algunas semillas de especies semiáridas es persistente (*A. myriostigma*) y facilita la toma de nutrientes durante el proceso embrionario (Sánchez-Salas *et al.*, 2015). Otros ejemplos de semillas hidrocóricas son las bromelias: *Pitcairnia aphelandriflora* Lem. y *Pepinia punicea* (Scheidw.) Brongn. & André (Rommel y Beutelspacher, 1999). El funículo actúa como una estrategia hidrodispersora, aunque cuando no hay agua, al mantenerlo pueden tener mecanismos zoocoros (Sánchez-Salas *et al.*, 2015). Semillas con mecanismos de hidrodispersión que mantienen el funículo son dispersadas por camaleones u hormigas; posiblemente, porque el funículo tiene oleo (sustancias odoríferas que los atraen) (Escala y Xena de Enrech, 1991; Sánchez-Salas *et al.*, 2015). Pareciera que existe una resistencia a la sequía, a la salinidad y a las altas temperaturas de las semillas que habitan en ambientes extremos, la cual obtienen a través de la planta Madre, como en *Campanula americana* L. (Galloway, 2001); por lo que es factible considerar que la temperatura es un factor que no afecta la imbibición mediante la cubierta seminal; sin embargo, si interviene en el proceso de germinación.

Cuando una especie presenta combinaciones de varias estrategias dispersoras se le conoce como policórica (Lindorf *et al.*, 1986), lo cual es un proceso activo y común en especies xerófilas (Wunderle, 1997); ejemplos de ello son chilca blanca (*Baccharis spicata* Hieron.) y tala (*Celtis tala* Gillies ex Planch.) (González y Cadenazzi, 2015).

En la familia Cactaceae, el micrópilo en las semillas es la estructura más complicada de observar, su función es absorber el agua para iniciar el proceso germinativo y es por donde emerge el sistema radicular (Sánchez-Salas *et al.*, 2015).

Viabilidad en semillas (longevidad). Se estima que las semillas con testa (cubierta seminal o cascara de la semilla) son más longevas (Granados y López, 2001), en comparación con las semillas desnudas. No obstante, las bajas temperaturas y bajo porcentaje de humedad favorecen un metabolismo lento, lo que permite una mayor longevidad (Doria, 2010). Por lo tanto, un aspecto negativo en las regiones áridas y semiáridas son las altas temperaturas que disminuyen esta condición.

Con el paso del tiempo, las células de los embriones mueren y se reduce su capacidad germinativa, por lo que el lapso de almacenamiento está determinado tanto genética como ambientalmente; por lo tanto, las semillas de uso agrícola son viables por menos tiempo en comparación con las especies de ambientes secos (Escobar-Álvarez *et al.*, 2021).

Para definir el tiempo de viabilidad existen diferentes técnicas: 1) visual: se observa la calidad de la diáspora (p. ej. fisuras, malformaciones); 2) evaluación germinativa de una muestra poblacional de semillas para determinar la viabilidad (Araiza *et al.*, 2011); y 3) prueba bioquímica (prueba de tetrazolio): consiste en evaluar el proceso de reducción de las células vivas al tomar el hidrógeno liberado por las enzimas deshidrogenasas, las cuales forman una tonalidad roja que indica el potencial de viabilidad en la semilla (Victoria *et al.*, 2006).

Vigor germinativo. La pérdida del vigor es la disminución en la capacidad germinativa conocido como envejecimiento fisiológico. Desde un punto de vista bioquímico, involucra la capacidad que tiene un organismo para la biosíntesis de energía y compuestos metabólicos como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos; lo que se asocia a la actividad celular, la integridad de la membrana celular y la utilización de sustancias de reserva (Navarro *et al.*, 2015). El deterioro final de la diáspora es la muerte, cuando ya no presenta actividad. No obstante, las semillas pierden vigor germinativo antes que la capacidad germinativa, por eso es

común que lotes de semillas presenten valores germinativos similares, pero con edad fisiológica distinta (grado de deterioro), y responden con vigor germinativo distinto (ISTA, 2022). La permeabilidad al agua y al oxígeno es un factor que afecta (positiva o negativamente) la germinación de la semilla, pues con ella es posible que entre en funcionamiento (Chandra *et al.*, 2017).

Latencia y tipos de latencia. Es un fenómeno de adaptación ecofisiológico que asegura la supervivencia de un futuro individuo por restringir la germinación en momentos desfavorables (Varela y Arana, 2011) y que interactúa directamente con la memoria de hidratación de la diáspora (Dubrovsky, 1996). Existe un amplio intervalo de intensidad de latencia; desde absoluta, en la que la diáspora no germine en ninguna circunstancia; la intermedia, cuando la germinación solo es de una cantidad determinada del lote total de semillas; y la ausente, que consiste en que las semillas germinan bajo cualquier condición (Varela y Arana, 2011). De acuerdo con Baskin y Baskin (1989) se conocen varios tipos de latencia en función de la causa y sus características embrionarias. ISTA (2022) reconoce los siguientes tipos de latencia en semillas:

1) Latencia por la cubierta de semillas o exógena. Latencia física: testa o partes endurecidas que son impermeables. Latencia mecánica: cubierta seminal endurecida que impide la expansión del embrión en la germinación. Latencia química: producción y acumulación de sustancias que inhiben la germinación.

2) Latencia morfológica o endógena. Presente en embriones de semillas con desarrollo incompleto en época de maduración. Embriones rudimentarios: semillas con embriones apenas embebidos de un endosperma. Embriones no desarrollados: semillas subdesarrolladas con forma de torpedos, que pueden alcanzar un tamaño de hasta la mitad de la cavidad de la semilla.

3) Latencia interna. En muchas especies, la latencia es controlada internamente en los tejidos. Fisiológica: la germinación es impedida por un mecanismo fisiológico

inhibidor. Interno intermedio: la latencia es inducida por las cubiertas seminales y tejidos de almacenamiento circundante. Del embrión: para germinar se requiere un periodo de enfriamiento en húmedo, y por la incapacidad del embrión de germinar de manera normal.

4) Latencia combinada morfofisiológica. Consiste en la combinación del subdesarrollo del embrión con mecanismos inhibidores.

5) Latencia combinada exógena-endógena. Diversas combinaciones de latencia en la cubierta o el pericarpio.

Conclusiones

La dispersión de semillas en ambientes áridos y semiáridos es un sistema complejo, en el cual interactúan aspectos intrínsecos y extrínsecos del ambiente. Para comprender los aspectos relacionados a la dispersión, es necesario conocer los modelos de dispersión que utilizan las semillas y que determinan la mejor estrategia para llegar a sitios seguros. La complejidad de la movilidad radica en las características macro y microestructurales específicas que poseen las semillas de especies xerofitas tanto para su dispersión, como para su germinación y posterior establecimiento, lo que asegura el mantenimiento de la cobertura vegetal en estos ambientes.

Agradecimientos

Agradecemos a los árbitros de este trabajo, que sin duda contribuyeron a mejorar la redacción del mismo para su publicación.

Conflicto de intereses

Se declara que no hay conflicto de interés entre los autores de este documento.

Contribución por autor

Jaime Sánchez: coordinación de la revisión y autor; Eduardo Estrada Castellón: redacción, recopilación y edición; Mario A. García Aranda: revisión, recopilación y edición; Mario F. Duarte Hernández: revisión, recopilación y edición; Fabian García González: revisión, recopilación y edición; Luis M. Valenzuela Núñez: redacción, recopilación y edición; Gisela Muro Pérez: redacción, recopilación, edición y autora por correspondencia.

Referencias

Abraham de Noir, F., S. Bravo y R. Abdala. 2002. Mecanismos de dispersión de algunas especies de leñosas nativas del Chaco Occidental y Serrano. *Quebracho Revista de Ciencias Forestales* (9):140-150. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q9-13.pdf>. (8 de septiembre de 2022).

- Aguilar M., G., A. P. León G. y D. B. Mejía F. 2021. Botánica aplicada: Fabaceae. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Tlalnepantla de Baz, Edo. Méx., México. 17 p.
- Alcaraz A., F. J., M. Clemente D., J. A. Barreña C. y J. Álvarez R. 1999. Manual de teoría y práctica de Geobotánica. Universidad de Murcia. Murcia, MU, España. 199 p.
- Araiza L., N., E. Araiza L. y J. G. Martínez M. 2011. Evaluación de la germinación y crecimiento de plántula de Chiltepín (*Capsicum annuum* L variedad *glabriusculum*) en invernadero. Revista Colombiana de Biotecnología 13(2):170-175. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77621587016>. (10 de septiembre de 2022).
- Ayala-Cordero, G., T. Terrazas, L. López-Mata y C. Trejo. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckei*. Interciencia 29(12):692-697. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33909907.pdf>. (8 de septiembre de 2022).
- Baloch, H. A., A. Di Tomasso and A. K. Watson. 2001. Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. Seed Science Research 11(4):335-343. Doi: 10.1079/SSR200190.
- Barthlott, W. 1981. Epidermal and seed surface characters of plants: Systematic applicability and some evolutionary aspects. Nordic Journal of Botany 1(3):345-355. Doi: 10.1111/j.1756-1051.1981.tb00704.x.
- Barthlott, W. and D. Hunt. 2000. Seed diversity in the Cactaceae subfam. Cactoideae. D. Hunt Publisher. Milborn Port, SOM, United Kingdom. 173 p.
- Barthlott, W. and G. Voit. 1979. Mikromorphologie der Samenschalen und Taxonomie der Cactaceae: Ein raster-elektronenmikroskopischer Überblick. Plant Systematics and Evolution 132(3):205-229. Doi: 10.1007/BF00990466.
- Barthlott, W., S. Porembski, M. Kluge, J. Hopke and L. Schmidt. 1997. *Selenicereus wittii* (Cactaceae): An epiphyte adapted to Amazonian Igapó inundation forests. Plant Systematics and Evolution 206:175-185. Doi: 10.1007/BF00987947.

- Baskin, J. M. and C. C. Baskin. 1989. Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. In: Leck, M. A., V. T. Parker and R. L. Simpson (Eds.). Ecology of soil seed banks. Academic Press Inc. San Diego, CA, USA. pp. 53–66.
- Black, M., J. D. Bewley and P. Halmer. 2006. The encyclopedia of seeds: Science, Technology and Uses. CABI International. Wallingford, OX, United Kingdom. 828 p.
- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las Cactáceas de México. Vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, D. F., México. 571 p.
- Brocklehurst, P. A. and J. Dearman. 1983. Interactions between seed priming treatments and nine seed lots of carrot, celery and onion. I. Laboratory germination. *Annals of Applied Biology* 102(3):577-584. Doi: 10.1111/j.1744-7348.1983.tb02729.x.
- Bullock, J. M., I. L. Moy, S. J. Coulson and R. T. Clarke. 2003. Habitat-specific dispersal: environmental effects on the mechanisms and patterns of seed movement in a grassland herb *Rhinanthus minor*. *Ecography* 26(5):692-704. Doi: 10.1034/j.1600-0587.2003.03525.x.
- Calderón, J., E. Alán y U. Barrantes. 2000. Estructura, dimensiones y producción de semilla de maleza del trópico húmedo. *Agronomía Mesoamericana* 11(1):31-39. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v11n01_031.pdf. (8 de septiembre de 2022).
- Camacho-Velázquez, A., S. Arias, F. García-Campusano, E. Sánchez-Martínez and S. Vázquez-Santana. 2018. Seed development and germination of *Strombocactus* species (Cactaceae): A comparative morphological and anatomical study. *Flora* 242:89-101. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.03.006>.
- Carrión, J. S. y B. Cabezudo. 2003. Perspectivas recientes en evolución vegetal. *Anales de Biología* (25):163-198. <https://revistas.um.es/analesbio/article/view/31101>. (2 de septiembre de 2022).

Chambers, J. C., J. A. MacMahon and J. H. Haefner. 1991. Seed entrapment in alpine ecosystems: effects of soil particle size and diaspore morphology. *Ecology* 72(5):1668-1677. Doi: 10.2307/1940966.

Chandra, S., R. R. Yadav, S. Poonia, Yashpal and A. Talukdar. 2017. Seed coat permeability studies in wild and cultivated species of soybean. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences (IJCMAS)* 6(7):2358-2363. Doi: 10.20546/ijcmas.2017.607.279.

Chávez S., L., A. Álvarez F. y R. Ramírez F. 2014. Aspectos de interés sobre las acuaporinas en las plantas. *Cultivos Tropicales* 35(3):45-54. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193232155005.pdf>. (12 de junio de 2022).

Colombo S., F. y M. L. de Viana. 2000. Requerimientos de escarificación en semillas de especies autóctonas e invasoras. *Ecología Austral* 10(2):123-131. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/ecologiaaustral/ecologiaaustral_v010_n02_p123.pdf. (12 de junio de 2022).

Contreras Q., M. R., M. Pando M. y E. Jurado. 2015. Seed germination of plant species from semiarid zones after hydration-dehydration treatments. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 14(1):41-50. Doi: 10.5154/r.rchsza.2015.03.002.

De Souza M., M., F. C. Maia y M. A. Pérez. 2006. Bancos de semillas en el suelo. *Agriscientia* 23(1):33-44. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2006000100005&lng=es&tlng=es. (20 de septiembre de 2022).

Dimitri, M. J. y E. N. Orfila. 1985. *Tratado de morfología y sistemática vegetal*. ACME Agency. Buenos Aires, BA, Argentina. 504 p.

Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31(1):74-85. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v31n1/ctr11110.pdf>. (11 de junio de 2022).

- Dubrovsky, J. G. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. *American Journal of Botany* 83(5):624-632. Doi: 10.1002/j.1537-2197.1996.tb12748.x.
- Elizondo E., J., J. Vladés R., S. Arias M. y S. L. Hatch. 1994. Micromorfología de las semillas de algunas cactáceas de la tribu Cacteeae. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 39(3):59-67. <http://web.ecologia.unam.mx/cactsucmex/numeros/1994.html>. (2 de junio de 2022).
- Eriksson, O. and K. Kiviniemi. 2001. Evolution of plant dispersal. In: Vuorisalo, T. O. and P. K. Mutikainen (Eds.). *Life history evolution in plants*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, ZH, The Netherlands. pp. 215–237.
- Escala, M. y N. Xena de Enrech. 1991. Estudio morfoanatómico de semillas mirmecócoras en un ecosistema semiárido venezolano. *Orsis* 6:45-59. <https://ddd.uab.cat/record/38974>. (12 de mayo de 2022).
- Escobar-Álvarez, J. L., O. Ramírez-Reynoso, P. Cisneros-Saguillán, R. Gutiérrez-Dorado, M. A. Maldonado-Peralta y J. L. Valenzuela-Lagarda. 2021. Viabilidad y germinación en semillas de maíz criollo del estado de Guerrero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2):e2963. Doi: 10.19136/era.a8nII.2963.
- Escudero, A., L. F. Carnes and F. Pérez-García. 1997. Seed germination of gypsophytes and gypsovags in semiarid central Spain. *Journal of Arid Environments* 36(3):487-497. Doi: 10.1006/jare.1996.0215.
- Evenari, M. 1985. Adaptations of plants and animals to the desert environment. In: Meir, N. and D. W. Goodall (Eds.). *Ecosystems of the world: Hot deserts and arid shrublands*. Elsevier. Amsterdam, AM, The Netherlands. pp. 79-92.
- Fenner, M. 1995. Ecology of seed banks. In: Kigel, J. (Ed.). *Seed development and germination*. Academic Press. New York, NY, USA. pp. 507-528.

Flores, E. M. y E. M. Engleman. 1976. Apuntes sobre anatomía y morfología de las semillas de cactáceas. I. Desarrollo y estructura. *Revista de Biología Tropical* 24(2):199-227. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/25882/26221>. (13 de abril de 2022).

Galloway, L. F. 2001. The effects of maternal and paternal environments on seed characters in the herbaceous plant *Campanula americana* (Campanulaceae). *American Journal of Botany* 88(5):832-840. Doi: 10.2307/2657035.

García-Aguilera, E., O. A. Martínez-Jaime, S. Torres y J. T. Frías-Hernández. 2000. Escarificación biológica del mezquite (*Prosopis laevigata*) con diferentes especies de ganado doméstico. In: Frías H., J. T., V. Olalde P. y J. Vernon C. (Eds.). *El mezquite: árbol de usos múltiples: Estado actual del conocimiento en México*. Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Gto., México. pp. 117-123.

Garnier, E., U. Stahl, M. A. Laporte, J. Kattge and S. Klotz. 2017. Towards a thesaurus of plant characteristics: an ecological contribution. *Journal of Ecology* 105(2):298-309. Doi: 10.1111/1365-2745.12698.

Garza, M., M. Pando, D. Castillo y M. Gutiérrez. 2010. Semillas de un área degradada del noreste de México. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL, México. 73.

Giménez de A., J. y O. González C. 2011. Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México). *Acta Botánica Mexicana* (94):91-123. Doi: 10.21829/abm94.2011.272.

Glass, C. y W. A. Fitz M. 1992. Nuevos taxa de cactáceas en Nuevo León. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 37(1):11-21. <http://web.ecologia.unam.mx/cactsucmex/numeros/1992.html>. (7 de junio de 2022).

- González M., F. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) e Instituto Nacional de Ecología (INE). Tlalpan, D. F., México. 173 p.
- González, S. y M. Cadenazzi. 2015. Recolonización natural por bosque ribereño en margen izquierda del embalse de Salto Grande: Identificación de especies pioneras. *Agrociencia* Uruguay 19(1):1-13. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482015000100001&lng=es&tlng=es. (14 de septiembre de 2022).
- Granados S., D. y G. F. López R. 2001. Ecología de poblaciones vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. Méx., México. 144 p.
- Granados-Sánchez, D. y A. Sánchez-González. 2003. Clasificación fisonómica de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Terra Latinoamericana* 21(3):321-332. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321303>. (19 de septiembre de 2022).
- Granados-Sánchez, D., A. Sánchez-González, R. L. Granados V. y A. Borja de la R. 2011. Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17:111-130. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62921030018>. (8 de septiembre de 2022).
- Grime, J. P. 1974. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature* 250(5461):26-31. Doi: 10.1038/250026a0.
- Gutterman, Y. 1993. Seed germination in desert plants. Springer Berlin Heidelberg. New York, NY, USA. 253 p.
- Gutterman, Y. 1994. Strategies of seed dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *Botanical Review* 60(4):373-425. <https://www.jstor.org/stable/4354238>. (3 de diciembre de 2021).

Harper, J. L. 1977. Population biology of plants. Academic Press. London, LON, United Kingdom. 892 p.

Harper, J. L., P. H. Lovell and K. G. Moore. 1970. The shapes and sizes of seeds. Annual Review of Ecology and Systematics 1:327-356. Doi: 10.1146/annurev.es.01.110170.001551.

Henckel, P. A. 1982. Fisiología de la resistencia de las plantas al calor y a la sequía (en ruso). Nauka. Moscú, MOW, Rusia. 280 p.

Henrickson, J. and M. C. Johnston. 1997. A flora of the Chihuahuan Desert Region. University of Texas. Austin, TX, USA. 255 p.

Hernández A., Y., N. Soto P., M. Florido B., C. Delgado A., R. Ortiz P. y G. Enríquez O. 2015. Evaluación de la tolerancia a la salinidad bajo condiciones controladas de nueve cultivares cubanos de soya (*Glycine max* (L.) Merrill). Cultivos Tropicales 36(4):120-125. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193243175016>. (1 de enero de 2022).

Hernández-Valencia, I., D. Guitián y V. González. 2017. Efectos del tamaño de semillas y escarificación del endocarpio sobre la germinación de *Mauritia flexuosa* (Arecaceae). Acta Botánica Venezolana 40(1):97-118. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_abv/article/view/14804. (1 de enero de 2022).

Howe, H. F. and J. Smallwood. 1982. Ecology of seed dispersal. Annual Review Ecology and Systematics 13:201-228. Doi: 10.1146/annurev.es.13.110182.001221.

Hughes, L., M. Dunlop, K. French, M. R. Leishman,... and M. Westoby. 1994. Predicting dispersal spectra: a minimal set of hypotheses based on plant attributes. Journal of Ecology 82(4):933-950. Doi: 10.2307/2261456.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2014. Estadísticas históricas de México 2014. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 40 p. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/HyM2014/EHM2014.pdf. (22 de noviembre de 2022).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1994. Estadísticas históricas de México. Tomo II. INEGI. Aguascalientes, Ags., México. 468 p. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825460238/702825460238.pdf. (22 de noviembre de 2022).

International Seed Testing Association (ISTA). 2022. *International rules for seed testing*. <https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing-1168.html>. (13 de junio de 2022).

Jansen, P. A., F. Bongers and L. Hemerik. 2004. Seed mass and mast seeding enhance dispersal by a neotropical scatter-hoarding rodent. *Ecological Monographs* 74(4):569-589. Doi: 10.1890/03-4042.

Lindorf, H., L. de Parisca y P. Rodríguez. 1986. Botánica: Clasificación, estructura y reproducción. Ediciones de la Biblioteca EBUC-UCV. Caracas, CCS, Venezuela. 584 p.

Maiti, R. K., H. Perdome V. and V. P. Singh. 2003. Comparative morphology of six species of mother plants of *Astrophytum* grown in a green house. *Crop Research Hisar* 25(3):530-538. <https://eurekamag.com/research/003/685/003685509.php>. (4 de diciembre de 2021).

Maiti, R. K., J. L. Hernández-Pinero and M. Valdez-Marroquin. 1994. Seed ultrastructure and germination of some species of Cactaceae. *Phyton* 55:97-105.

Maldonado-Peralta, M. A., G. De los Santos G., J. R. García-Nava, C. Ramírez-Herrera and V. M. Cetina-Alcalá. 2016. Seed viability and vigour of two nanche species (*Malpighia mexicana* and *Byrsonima crassifolia*). *Seed Science and Technology* 44(1):168-176. Doi: 10.15258/sst.2016.44.1.03.

Martínez-Balbuena, L., A. Maldonado-Arce y E. Hernández-Zapata. 2010. Elasticidad de las membranas biológicas. *Revista Mexicana de Física* 56(1):107-122. Doi: 10.48550/arXiv.1506.03438.

Méndez N., J. R., J. F. Merazo P. y N. J. Montaña M. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). Revista UDO Agrícola 8(1):61-66. <http://www.bioline.org.br/pdf?cg08008>. (2 de febrero de 2022).

Milberg, P., L. Andersson and K. Thompson. 2000. Large-seeded species are less dependent on light for germination than small-seeded ones. Seed Science Research 10(1):99-104. Doi: 10.1017/S0960258500000118.

Monroy-Vázquez, M. E., C. B. Peña-Valdivia, J. R. García-Nava, E. Solano-Camacho, H. Campos y E. García-Villanueva. 2017. Imbibición, viabilidad y vigor de semillas de cuatro especies de *Opuntia* con grado de domesticación. Agrociencia 51(1):27-42. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n1/1405-3195-agro-51-01-00027.pdf>. (21 de septiembre de 2022).

Montenegro S., A. L., Y. A. Ávila P., H. A. Mendivelso C. y O. Vargas. 2006. Potencial del banco de semillas en la regeneración de la vegetación del humedal Jaboque, Bogotá, Colombia. Caldasia 28(2):285-306. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39290/41176>. (10 de enero de 2022).

Moreno, F., G. A. Plaza y S. V. Magnitskiy. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). Agronomía Colombiana 24(2):290-295. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316239011.pdf>. (6 de noviembre de 2021).

Navarro, M., G. Febles and R. S. Herrera. 2015. Vigor: essential element for seed quality. Cuban Journal of Agricultural Science 49(4):447-458. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193045908003.pdf>. (21 de septiembre de 2022).

Nonogaki, H., G. W. Bassel and J. D. Bewley. 2010. Germination-still a mystery. Plant Science 179(6):574-581. Doi: 10.1016/j.plantsci.2010.02.010.

- Odion, D. C. and F. W. Davis. 2000. Fire, soil heating, and the formation of vegetation patterns in Chaparral. *Ecology Monographs* 70(1):149-169. Doi: 10.2307/2657171.
- Paz P., F. y H. Díaz S. 2018. Relaciones entre la precipitación, producción de biomasa e índices espectrales de la vegetación: alcances y limitaciones. *Terra Latinoamericana* 36:153-168. Doi: 10.28940/terra.v36i2.235.
- Peters, E. M., C. Martorell and E. Ezcurra. 2009. The adaptive value of cued seed dispersal in desert plants: seed retention and release in *Mammillaria pectinifera* (Cactaceae), a small globose cactus. *American Journal of Botany* 96(2):537-541. Doi: 10.3732/ajb.0800157.
- Porras-Flórez, D., S. Albesiano y L. Arrieta-Violet. 2017. El género *Opuntia* (Opuntioideae-Cactaceae) en el departamento de Santander, Colombia. *Biota Colombiana* 18(2):111-131. Doi: 10.21068/c2017.v18n02a07.
- Rees, M. 1994. Delayed germination of seeds: a look at the effects of adult longevity, the timing of reproduction, and population age/stage structure. *The American Naturalist* 144(1):43-64. Doi: 10.1086/285660.
- Roberts, H. A. 1981. Seed banks in the soil. In: Coaker, T. H. *Advances in Applied Biology*, Volume 6. Academic Press. New York, NY, USA. pp 1-55.
- Rocha, O. J. 1996. The effects of achene heteromorphism on the dispersal capacity of *Bidens pilosa* L. *International Journal of Plant Science* 157(3):316-322. Doi: 10.1086/297351.
- Rodríguez-Ortega, C., M. Franco y M. C. Mandujano. 2006. Serotiny and seed germination in three threatened species of *Mammillaria* (Cactaceae). *Basic and Applied Ecology* 7(6):533-544. Doi: 10.1016/j.baae.2006.04.001.

Rommel, C. y B. Beutelspacher. 1999. Bromeliáceas como ecosistemas: con especial referencia a *Aechmea bracteata* (Swartz) Griseb. Plaza y Valdés. México, D. F., México. 126 p.

Sádlo, J., M. Chytrý, J. Pergl and P. Pyšek. 2018. Plant dispersal strategies: a new classification based on the multiple dispersal modes of individual species. *Preslia* 90:1-22. <https://www.preslia.cz/P181Sadlo.pdf>. (4 de julio de 2022).

Sánchez S., J., E. Jurado Y., M. Pando M., J. Flores R. y G. Muro P. 2010. Estrategias germinativas de las semillas en ambientes áridos. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 9:35-38. <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545062006.pdf>. (27 de octubre 2021).

Sánchez S., J., G. Muro P., E. Jurado Y., M. Pando M., J. D. Flores R. y J. A. Alba Á. 2017. Bancos de germoplasma y estrategias germinativas en ambientes semiáridos, aliados en la conservación de especies. In: Cruz A., A., E. Castaños R., J. Valero P. y E. D. Melgarejo (Coord.). *La biodiversidad en Durango: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Durango (Srnyma). Durango, Dgo., México. pp. 561-566.

Sánchez, J., G. Muro, J. Flores, E. Jurado y J. Saenz-Mata. 2015. Los bancos de semillas y su germinación en ambientes semiáridos. *Revista Ciencia UANL* 18(73):69-76. <https://cienciauanl.uanl.mx/wp-content/uploads/2015/06/Art.-de-la-germinacion-web.pdf>. (4 de diciembre de 2021).

Sánchez-Ken, J. G. 2019. Riqueza de especies, clasificación y listado de las gramíneas (Poaceae) de México. *Acta Botánica Mexicana* (126):e1379. Doi: 10.21829/abm126.2019.1354.

Sánchez-Salas, J., E. Jurado, J. Flores, E. Estrada-Castillón and G. Muro-Pérez. 2012. Desert species adapted for dispersal and germination during floods.

Experimental evidence in two *Astrophytum* species (Cactaceae). *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 207(10):707-711. Doi: 10.1016/j.flora.2012.08.002.

Sánchez-Salas, J., J. Flores y E. Martínez-García. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire. (Cactaceae), especie amenazada de extinción. *Interciencia* 31(5):371-375. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911610.pdf>. (24 de mayo de 2021).

Sánchez-Salas, J., J. Flores, E. Jurado, J. Sáenz-Mata, P. Orozco-Figueroa y G. Muro P. 2017. Hidrocoria en semillas de *Agave victoriae-reginae* T. Moore, especie en peligro de extinción: Morfología y anatomía como facilitadores de la hidro-dispersión y germinación. *Gayana Botánica* 74(2):251-261. Doi: 10.4067/S0717-66432017000200251.

Sánchez-Salas, J., J. Flores, G. Muro-Pérez, S. Arias-Montes y E. Jurado. 2015. Morfometría de semillas en la cactácea amenazada de extinción *Astrophytum myriostigma* Lemaire. *Polibotánica* (39):119-131. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682015000100007. (11 de febrero de 2021).

Sernander, R. 1927. *Zur Morphologie und Biologie der Diasporen*. Almqvist & Wiksell. Uppsala, C, Sweden. 104 p.

Serrato C., M. Á. y T. Cervantes M. 2012. Morfología de estructuras florales relacionadas con la dispersión antitelécora de frutos en *Tagetes moorei* H. Rob. var. *breviligulata* Villarreal. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(3):261-269. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.11.122.

Simpson, B. B. and C. A. Todzia. 1990. Patterns and processes in the development of the high Andean flora. *American Journal of Botany* 77(11):1419-1432. Doi: 10.1002/j.1537-2197.1990.tb12552.x.

Simpson, R. L., M. A. Leck and V. T. Parker. 1989. Seed banks: general concepts and methodological issues. In: Leck, M. A., V. T. Parker and R. L. Simpson (Eds.). Ecology of soil seed banks. Academic Press Inc. San Diego, CA, USA. pp. 3-8.

Tarango A., L. A. 2005. Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 4(2):17-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545052003>. (22 de noviembre de 2022).

Taylor, A. G., J. Prusinski, H. J. Hill and M. D. Dickson. 1992. Influence of seed hydration on seedling performance. HortTechnology 2(3):336-344. Doi: 10.21273/HORTTECH.2.3.336.

Thompson, K., J. P. Bakker and R. M. Bekker. 1997. The soil seed banks of North West Europe: Methodology, density and longevity. Cambridge University Press. Cambridge, CB, United Kingdom. 276 p.

Traveset, A., R. Heleno and M. Nogales. 2014. The ecology of seed dispersal. In: Gallagher, R. S. (edit.). Seeds: The ecology of regeneration in plant communities. CAB International. London, LON, UK. pp. 62-93.

Uruç, K. and D. Demirezen Y. 2008. Effect of cadmium, lead and nickel on imbibition, water uptake and germination for the seeds of different plants. Fen Bilimleri Enstitüsü (17):1-10. <https://atif.sobiad.com/index.jsp?modul=makale-detay&Alan=fen&Id=GLHt5HUBu-adCBSEmAMI>. (10 de septiembre de 2021).

Valverde, T., S. Quijas, M. López-Villavicencio and S. Castillo. 2004. Population dynamics of *Mammillaria magnimamma* Haworth. (Cactaceae) in a lava-field in Central Mexico. Plant Ecology 170(2):167-184. Doi: 10.1023/B:VEGE.0000021662.78634.de.

van der Pijl, L. 1972. Principles of dispersal in higher plants. Springer-Verlag. Berlin, BER, Germany. 161 p.

- van der Pijl, L. 1982. Principles of dispersal in higher plants. Springer-Verlag. Berlin, BER, Germany. 218 p.
- Vander W., S. B. and W. S. Longland. 2004. Diplochory: are two seed dispersers better than one? *Trends in Ecology & Evolution* 19(3):155-161. Doi: 10.1016/j.tree.2003.12.004.
- Varela, S. A. y V. Arana. 2011. Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Cuadernillo Núm. 3. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Bariloche, R, Argentina. 10 p.
- Vázquez G., J. A. and T. J. Givnish. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of Ecology* 86(6):999-1020. Doi: 10.1046/j.1365-2745.1998.00325.x.
- Vázquez Y., C., A. Orozco, M. Rojas, M. E. Sánchez y V. Cervantes. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemas. Fondo de Cultura Económica. Tlalpan, D. F., México. 167 p.
- Venable, D. L. 1985. The evolutionary ecology of seed heteromorphism. *The American Naturalist* 126(5):577-595. Doi: 10.1086/284440.
- Venable, D. L. and J. S. Brown. 1988. The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risks in variable environments. *The American Naturalist* 131(3):360-384. Doi: 10.1086/284795.
- Victoria T., J. A., C. R. Bonilla C. y M. S. Sánchez O. 2006. Viabilidad en tetrazolio de semillas de caléndula y eneldo. *Acta Agronómica* 55(1):31-41. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/193/463. (12 de mayo de 2022).
- Walck, J. L., J. M. Baskin and C. C. Baskin. 1996. Sandstone rockhouses of the Eastern United States, with particular reference to the ecology and evolution of the endemic plant taxa. *The Botanical Review* 62(4):311-362. Doi: 10.1007/BF02856616.

Wang, B. C. and T. B. Smith. 2002. Closing the seed dispersal loop. *Trends in Ecology & Evolution* 17(8):379-386. Doi: 10.1016/S0169-5347(02)02541-7.

Went, F. W. and M. Westergaard. 1949. Ecology of desert plants III. Development of plants in Death Valley National Monument, California. *Ecology* 30:26-38. Doi: 10.2307/1932275.

Wunderle, J. M. 1997. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99(1-2):223-235. Doi: 10.1016/S0378-1127(97)00208-9.

Young, L. M. and D. Kelly. 2018. Effects of seed dispersal and microsite features on seedling establishment in New Zealand fleshy-fruited perennial mountain plants. *Austral Ecology A Journal of ecology in the Southern Hemisphere* 43(7):775-785. Doi: 10.1111/aec.12620.

Zavala-Hurtado, J. A. y P. L. Valverde. 2003. Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera*, a threatened endemic Mexican cactus. *Journal of Vegetation Science* 14(6):891-898. Doi: 10.1111/j.1654-1103.2003.tb02222.x.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.