

Morfometría de fruto y semilla de poblaciones de *Ferocactus pilosus* del Altiplano Tamaulipeco

Erick Rubén Rodríguez-Ruíz¹
Humberto Vaquera-Huerta²
Crystian Sadiel Venegas-Barrera¹
Francisco Cervantes-Ortíz³
Wilberth Alfredo Poot-Poot⁴
José Antonio Rangel-Lucio^{1§}

¹TecNM-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Boulevard Emilio Portes Gil #1301, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP. 87010. Tel. 834 1532000, ext. 325. (erick.burrin@yahoo.com; crystian.vb@cdvictoria.tecnm.mx). ²Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (hvaquera@colpos.mx). ³TecNM-Campus Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110. (francisco.co@roque.tecnm.mx). ⁴Universidad Autónoma de Tamaulipas-Centro Universitario Adolfo López Mateos. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP. 87149. (wpoot@docentes.uat.edu.mx).

§Autor de correspondencia: jose.rl@cdvictoria.tecnm.mx.

Resumen

En México, más de 75% de las especies de cactáceas están sometidas a presión antropogénica y destrucción de su hábitat, como es el caso de *Ferocactus pilosus*, por lo que es importante aumentar el conocimiento para su recuperación *in situ*. El objetivo del estudio fue determinar la manera en que el ambiente semiárido del Altiplano de Tamaulipas tiende a limitar la distribución de cinco poblaciones de *F. pilosus* y promueve cambios morfológicos que operan en frutos y semillas. El dendrograma definió la similitud entre poblaciones II, III y IV de la biznaga, debido a diferencias en pedregosidad y ligera condición de humedad por el tipo de clima y la elevación. El análisis Manova y Tukey demostraron la existencia de diferencias significativas en número de semillas (NS) y peso de semillas (PS) de biznaga. El NS fue estadísticamente igual entre las poblaciones II (674 ±191), III (657 ±221) y IV (643 ±246), mientras que en las mismas poblaciones PS fue 0.92 ±0.27, 0.9 ±0.3 y 0.88 ±0.34 mg, respectivamente. Las poblaciones II, III y IV de la biznaga cabuchera, aprovecharon mejor las condiciones ambientales del Altiplano de Tamaulipas prevalecientes en 2013 y 2014, lo que provocó una variación importante de NS y PS en las mismas poblaciones de *F. pilosus* y el rechazo parcial de la hipótesis.

Palabras clave: biznaga, número de semillas, peso de semillas.

Recibido: octubre de 2022

Aceptado: enero de 2023

Introducción

La familia Cactaceae es distintiva por las diferencias evolutivas y diversificación que la caracterizan (Linkies *et al.*, 2010). La pérdida de especies de cactáceas en su hábitat (Durant *et al.*, 2012) se asocia a la presión antropogénica, depredación y dependencia de nodrizas, que afecta la viabilidad reproductiva sexual (polinización, fertilización, sistemas de cruzamiento) y establecimiento (Flores-Martínez *et al.*, 2013; Lara *et al.*, 2016). En el continente americano existen ca. 2000 especies de Cactáceas (Jiménez, 2011; Goettsch *et al.*, 2015), más de 30% en amenaza de extinción (Fitz y Fitz, 2017).

Las cactáceas son importantes en la estructura y la dinámica de los ecosistemas de zonas semiáridas de México (Jiménez, 2011) y el mundo, pero es necesario aumentar los conocimientos que se tienen sobre estas especies y su entorno, en particular sobre *Ferocactus pilosus* de la zona sureste del estado de Tamaulipas, México. En México, *F. pilosus* o biznaga cabuchera se distribuye en el Desierto Chihuahuense asociada con una diversidad de especies xerófitas (INEGI, 2005; 2006), presente en suelos poco profundos y calizos, en abanicos aluviales, valles, lomeríos o planicies (Rzedowski, 2006). *F. pilosus* es una especie en riesgo de preocupación menor (IUCN, 2016) y bajo protección especial en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Lo anterior justifica el desarrollo de estudios de conservación y restauración de poblaciones de *F. pilosus* en su hábitat, además de aquellos relacionados con los cambios que ocurren en la morfología del fruto y la disponibilidad de semilla (Lara *et al.*, 2016; Ballesteros-Barrera *et al.*, 2017). El fruto define aspectos de la calidad física y fisiológica de la semilla, aunque es un instrumento por el que se verifica la variabilidad y dependencia de las especies de los factores ambientales, en una población (Canazza *et al.*, 2009).

El estudio plantea la hipótesis que, las variaciones en las condiciones físicas y climáticas impuestas por el relieve del Altiplano de Tamaulipas provocan cambios independientes a los que registran las estructuras reproductivas de *Ferocactus pilosus* y sus poblaciones. Mientras que como objetivo se planteó determinar la morfología del fruto y su relación con las cualidades físicas de la semilla de poblaciones de *F. pilosus* de Altiplano de Tamaulipas.

Materiales y métodos

El área de estudio que se conoce como Altiplano Tamaulipeco, se localiza entre 23.600°/22.656° latitud norte y -100.139°/-99.572° longitud oeste (INEGI-CONABIO-INE, 2008). Las características físicas de las áreas ocupadas por cada población de *Ferocactus pilosus* estudiada, se presentan en el Cuadro 1. Por otro lado, la temperatura media varía entre 16.1 y 22.3 °C y la lluvia, si ocurre en el año, es 310.8 mm, entre mayo y septiembre. En el año anterior a la colecta de fruto (2013), la temperatura media fue 15.3 °C y la precipitación pluvial de 61.5 mm (CISECE, 2014; estación 28115 Uvalles, Miquihuana).

Cuadro 1. Localización fisiográfica y características físicas de crecimiento de las poblaciones de *Ferocactus pilosus* del Altiplano Tamaulipeco (INEGI, 2017).

Localidad	Municipio	Localización		Elevación (m)	Pedregosidad (%)	Suelo	Clima
		Latitud norte	Longitud oeste				
I	Villa de Miquihuana	23 540	-99 821	1 700	45	Litosol	Semiseco templado
II	Ejido La Pérdida, Miquihuana	23 541	-99 841	1 580	65	Xerosol Haplico, Petrocalcico	Seco semicálido
III	Ejido Estanque de Los Walle, Miquihuana	23 567	-99 860	1 554	60	Xerosol Haplico, Petrocalcico	Seco semicálido
IV	Ejido Joya de Herrera, Bustamante	23 481	-99 840	1 776	33	Xerosol Haplico, Petrocalcico	Templado semihúmedo
V	Ejido Magdaleno Cedillo, Tula	22 841	-99 923	1 085	20	Xerosol Haplico, Petrocalcico	Seco semicálido

El análisis multivariado de cluster fue utilizado para medir el grado de similitud entre poblaciones mediante la distancia euclidiana del dendrograma, a través de la discriminación de poblaciones con coeficientes de correlación semejantes (Núñez-Colín *et al.*, 2004). El factor de estudio analizado fueron individuos de *F. pilosus* de seis poblaciones del Altiplano de Tamaulipas.

El muestreo de frutos de biznaga se hizo entre enero y febrero de 2014, en cuadrantes de 100 x 100 m, en individuos con edad similar e identificados por altura (1.2 a 1.8 m) y vástagos (14 a 23). El recuento de individuos y frutos muestreados varió entre poblaciones: I (6 individuos y 23 frutos); II (15 y 90); III (7 y 42); IV (12 y 53); y V (9 y 52). Las mediciones en fruto y la extracción y recuento de semillas se desarrollaron en veinte frutos de biznaga. En el fruto se midió diámetro ecuatorial (DE),

Diámetro de la zona de inserción del pedúnculo (PD) y longitud polar (LP), con un vernier digital (Mitutoyo, Japón). El volumen de fruto (VF) se calculó por el criterio 'geometría de barril' (Hernández y Treviño, 1998), con la fórmula: $VF = \frac{h * \pi * (2r_1^2 + 2r_2^2)}{3}$. Donde: h = LP, en cm; $\pi = 3.416$; r_1 = radio mínimo (RMn); r_2 = radio máximo (RMx) de DE, en cm. Después de secar, el número de semillas (NS) se obtuvo de imágenes digitalizadas, captadas y contadas en el software MideBMP 4.2 (Ordiales-Plaza, 2000), mientras que el peso seco de semilla (PS) por fruto fue determinado en la balanza analítica (Ohaus, EUA).

Las variables medidas en fruto y semilla de *F. pilosus* fueron sometidas a un Análisis de Correlación de Pearson; la existencia de correlación significativa entre variables llevó al desarrollo del análisis de supuestos de la técnica estadística con la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene y la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, que fueron satisfactorios donde ocurrieron esas diferencias estadísticas. Este resultado permitió la continuación del proceso a través de un

análisis multivariado de varianza (Manova), que utiliza el Error tipo III en la matriz de la hipótesis nula y que dispone de pruebas globales de significancia, como la prueba F multivariada y los criterios de Lambda de Wilk's, T de Pillai's y T de Hotelling-Lawley, principalmente.

La determinación de efectos estadísticos significativos en el Manova, condujo a desarrollar la prueba de separación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para determinar el efecto de la población de *F. pilosus*, como factor de variación debido a la ubicación geográfica y características físicas de las localidades donde se muestrearon los frutos.

Resultados y discusión

A pesar de postular una estabilidad ambiental para la vegetación, las poblaciones de *F. pilosus* difieren notablemente en el crecimiento y desarrollo en el Altiplano de Tamaulipas, lo que ha provocado cambios morfológicos en el número de semillas (NS) y peso de semillas (PS). Esto motivó el rechazo parcial de la hipótesis planteada.

Relación entre poblaciones de *Ferocactus pilosus*

El grado de afinidad entre poblaciones de *F. pilosus* se presenta en la Figura 1, que conformó tres grupos principales. La mayor similitud se presentó entre el grupo 1 integrado por las biznagas cabucheras de las poblaciones I y V y por el grupo 2 de las poblaciones III y IV y estas con el grupo 3 de la población II. Esta misma respuesta habría sido obtenida en las pruebas de Manova y Tukey.

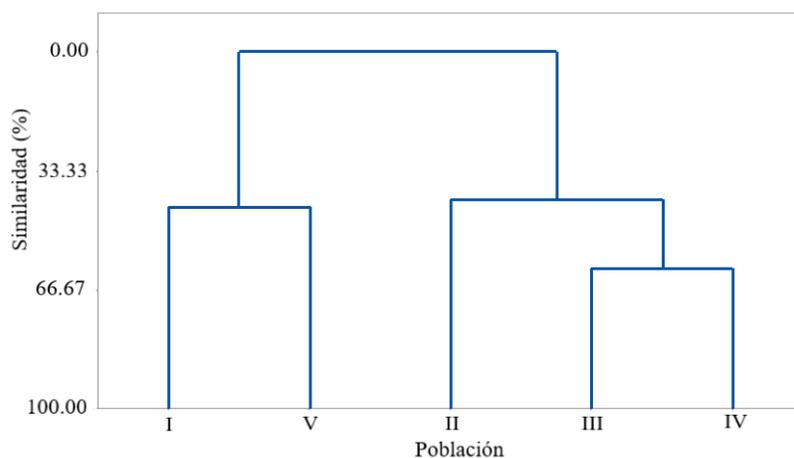


Figura 1. Dendrograma de las poblaciones del Altiplano Tamaulipeco, que muestra la existencia de variables relacionadas con la morfometría de fruto y semilla de *Ferocactus pilosus* (el nombre de la población aparece descrito en el Cuadro 1).

Ahora bien, en función de las características físicas, las poblaciones II y III son similares en el tipo de clima, suelo, ubicación geográfica, elevación y pedregosidad superficial. La población IV, en cambio, tiene un clima templado subhúmedo definido por la mayor elevación y menor pedregosidad y localización geográfica latitudinal situada casi a la altura de la población II (Cuadro 1).

Dichas características de esas poblaciones pudieron haber influido en la existencia de diferencias significativas en NS y PS de la biznaga cabuchera (Cuadro 2). La relación que une a estas tres poblaciones con las poblaciones I y V, se encuentra en una respuesta de tipo biótica en la que participa la madurez fisiológica (Ayala-Cordero *et al.*, 2004) y la estructura poblacional (Lara *et al.*, 2016), dada la coincidencia en edad, porte y número de vástagos de las biznagas cabucheras en el momento de la colecta de frutos.

Cuadro 2. Prueba de medias de Tukey para número de semillas (NS) y peso de semillas (PS) de Poblaciones de *Ferocactus pilosus* del Altiplano Tamaulipeco.

Población	NS	PS (mg)
I	516.96 b	0.7057 ab
II	673.93 a	9.9242 a
III	656.88 a	0.9017 a
IV	643.11 ab	0.8824 ab
V	563.12 ab	0.7729 ab

Valores medios con la misma literal por variable, son estadísticamente iguales entre ellos.

La distribución de *F. pilosus* en el Altiplano de Tamaulipas se extiende hacia suelos aluviales, donde se favorece la mayor abundancia y diversidad de especies vegetales, pero también se localiza en áreas de piedemonte y pedregosidad superficial abundante, con predominio de rocas calizas que retienen la humedad del suelo. Los resultados de Tilman (1990) destacan que la interacción entre plantas, tradicionalmente se analiza en la parte aérea, arriba del suelo (energía traducida en biomasa seca) y es baja la atención a la parte subterránea (suministro de agua y nutrimentos), donde la raíz adquiere mayor importancia en ambientes de baja productividad.

El sombreado de tipo orográfico que normalmente deriva de la Sierra Madre Oriental, favorece la retención de agua en el suelo y su disponibilidad para las plantas (Salinas-Rodríguez, 2018). Se sabe que la deficiencia de agua en un tallo suculento tiende a afectar los órganos de almacenamiento, particularmente entre floración y madurez de la semilla (Tardieu, 2013). En este sentido, Ayala-Cordero *et al.* (2004) consideran como norma el hecho de que, en poblaciones de *Stenocereus beneckei* localizadas en ambientes restrictivos de humedad, ocurre una variación de número y peso de semillas.

El tamaño pequeño (< 1 mm) y la producción abundante de semillas de *F. pilosus*, aumenta su reserva en el suelo y la dispersión por anemocoria (observación personal). Desafortunadamente, las poblaciones de *F. pilosus* están expuestas a depredadores y aprovechamiento antropogénico de botones florales y frutos, acción que interrumpe el ciclo reproductivo (Alanís-Flores y Velasco-Macías, 2008) y disminuye la distribución potencial de las poblaciones.

Esto sucede en México para *F. pilosus* que, a pesar de ocupar una extensa superficie (298 007 km²), ha perdido 16% de cobertura a escala local (Ballesteros-Barrera *et al.*, 2017). Esto obliga a la búsqueda de acciones de conservación, pero de manera importante a la recuperación *in situ* de *F. pilosus*, reproducido en condiciones controladas.

Criterios estadísticos para la selección de variables

En el crecimiento y desarrollo del fruto intervienen factores internos y externos de la planta, tales como la genética, contenido hormonal, posición y competencia del fruto, así como disponibilidad de agua y nutrimentos y la temperatura y luminosidad (Fisher *et al.*, 2018). Esta dependencia pudo haber sido expresada a través del análisis de correlación, el cual revela una asociación positiva fuerte entre LP vs DE (0.7422; $p < 0.0001$), LP vs RMx (0.7421; $p < 0.0001$) y LP vs VF (0.8780; $p < 0.0001$).

A pesar de que se tuvo una asociación positiva perfecta, si bien esta misma condición se mantuvo entre DE vs VF (0.9262; $p < 0.0001$) y RMx vs VF (0.9262; $p < 0.0001$), no logró influir en las características físicas de la semilla, como NS vs PS (0.9999; $p < 0.0001$). Con base a estos resultados se desarrolló el Manova. Tanto NS ($F = 3.49$; $p < 0.0085$) como PS ($F = 3.47$; $p < 0.0088$) resultaron con diferencias estadísticas significativas al contrastar las poblaciones de *Ferocactus* involucradas en el Manova.

En este modelo, 92% de la varianza fue explicada por las primeras tres raíces características, en tanto que el procedimiento Manova cumple los valores de F multivariada y los criterios de Lambda de Wilk's = 0.8087 ($F = 1.7$; $p < 0.0097$), T de Pillai's = 0.2049 ($F = 1.69$; $p < 0.0098$) y T de Hotelling-Lawley = 0.2201 ($F = 1.7$; $p < 0.0103$). Es decir que, si bien el valor de F varía para cada estadístico, cada valor p correspondiente es menor que $\alpha = 0.05$; por lo que se rechaza la hipótesis nula de Manova y se concluye que las poblaciones de *Ferocactus* tienen un efecto sobre NS y PS, que se discuten a continuación.

Número de semillas

El mayor número de semillas de biznaga cabuchera se registró en frutos colectados de las poblaciones II (674 ± 191); III (657 ± 221); y IV (643 ± 246), con respecto a la media total (629), de acuerdo con Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Esta respuesta prueba la existencia de competencia en cada población (Raisman y González, 2013), en un ambiente semiárido restrictivo donde los requerimientos son similares pero suficientes para formar un número importante de semillas en las poblaciones de biznaga cabuchera.

La competencia, a menudo, se asocia con la evolución de las estrategias empleadas por la especie, como el nodricismo que demanda la biznaga cabuchera en etapas de crecimiento inicial y la multiplicación de vástagos, que depende de un individuo maduro, mientras que la habilidad competitiva está determinada por atributos fenotípicos y genotípicos (Grime, 1977), que cambian entre poblaciones de biznaga. Los individuos de las poblaciones II, III y IV de *F. pilosus* mostraron mayor habilidad para canalizar sus recursos hacia las estructuras reproductivas.

Respuesta manifiesta en una mayor variación del número de semillas. El número de semillas encontrado en *F. pilosus* es abundante, aunque inferior a las formadas por *F. hirtus*, 2 200 semillas por fruto (Del Castillo, 1986; Loza *et al.*, 2012). Normalmente, la abundancia de semillas es acompañada por la reducción de tamaño, observada en especies con estrategia reproductiva tipo r (fluctuante), como la que presenta *F. pilosus*: producción masiva de individuos potenciales (semillas) versus probabilidad baja de supervivencia (plántulas).

Con el desarrollo, ésta especie cambia su estrategia a tipo k (constante): individuos voluminosos y longevos, pero su crecimiento es lento y la maduración tardía. Por lo tanto, la sobrevivencia de poblaciones de *F. pilosus* depende de un número reducido de individuos o de su baja capacidad de reclutamiento (Morláns, 2004). El número de semillas es extremadamente diferente entre/dentro las cactáceas, en función de la edad, número de flores o tamaño de fruto (Santos-Díaz *et al.*, 2010), así como de la alta dependencia de agentes polinizadores, por lo que la biznaga mantiene su funcionalidad y variabilidad genética a costa de la endogamia (Stein *et al.*, 2017).

Es decir, que la dispersión limitada de semillas de *F. pilosus* puede tener un impacto en la estructura genética local a corto plazo (Grivet *et al.*, 2009), en vista de la reducción de madres y padres, un aumento progresivo de la estructura genética y en los niveles de endogamia biparental, lo que explicaría la disminución de semillas producidas, tasas de germinación y vigor (Nora *et al.*, 2011) y el bajo establecimiento de plántulas.

Las semillas de *F. pilosus* presentó un comportamiento parecido al de especies de metapoblaciones aisladas; es decir, muestran una trayectoria alométrica simple a falta de competencia (Torroba *et al.*, 2013), pero las interacciones competitivas intraespecíficas inducen variaciones morfológicas en ciertos individuos (Schwinning y Kelly, 2013), como lo ocurrido con NS.

Otra causa de la variación específica de la semilla de *F. pilosus*, son las características que incrementan la probabilidad de sobrevivencia en un ambiente dado (Martínez *et al.*, 2016), sin menospreciar la existencia de algún tipo de presión de distinta índole en el momento actual. Larios *et al.* (2014) establecieron que los recursos críticos con que opera la competencia varían entre ambientes y se acrecentan por recursos como nutrimentos del suelo y agua en ambientes secos.

Desafortunadamente, el efecto final de la competencia intraespecífica se manifiesta en las generaciones futuras (Valeria *et al.*, 2017); por lo tanto, este tipo de competencia tendería a regular el tamaño de las poblaciones de la biznaga cabuchera. Número y peso de semilla de cactáceas depende, además, del ambiente de crecimiento, edad y adaptación del sistema reproductivo (Ayala-Cordero *et al.*, 2004) y polinizadores (Valiente-Banuet, 2002).

Peso de semillas

En el peso de semilla (PS) de *Ferocactus pilosus* fueron sobresalientes las poblaciones II, III y IV, con 0.92 ± 0.27 , 0.9 ± 0.3 y 0.88 ± 0.34 mg, cada una, estadísticamente diferentes ante la prueba con Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Algunas explicaciones alrededor de esta respuesta podrían deberse a una similitud en el mejor aprovechamiento de la escasa humedad edáfica, reservas nutricionales, radiación solar, temperatura, edad de la planta, prevalecientes entre floración y formación y madurez de la semilla (Ayala-Cordero *et al.*, 2004; Flores y Jurado, 2011) en ambientes de crecimiento con algún grado de similitud entre las tres poblaciones de biznaga, con repercusión en el peso de la semilla.

La débil a moderada correlación positiva que existió entre PS con LP, DE, RMx, RMn y VF indicaría que la ganancia de peso de la semilla no depende del tamaño de fruto, el cual es altamente variable y por lo tanto, un atributo indeseable para *F. Pilosus*. Entre estos, la baja aportación de LP en PS habría sido también encontrada en *F. robustus* y *Pterocereus gaumeri* (Méndez *et al.*, 2005; González y Navarro, 2011), en contraste a la respuesta positiva obtenida en *F. cylindraceus*, *F. wizlizenii* y *Echinocactus platyacanthus* (McInthosh, 2002; Díaz *et al.*, 2008).

Las semillas de las biznagas de las poblaciones II, III y IV, por su mayor peso, podrían tener ventaja en cuanto a supervivencia, viabilidad, germinación y establecimiento, respecto a las semillas de las poblaciones I y V de *F. pilosus*; sin embargo, el peso de la semilla disminuye al aumentar su número en el fruto. En el mismo sentido, se esperaría que las semillas de la biznaga cabuchera con peso variable en una población, exhiban memoria de hidratación y germinación alternante (Contreras-Quiróz *et al.*, 2016a, 2016b).

La variación de peso de semillas de la misma especie responde a una capacidad biológica diferencial (Sánchez-Salas *et al.*, 2006). Una ventaja ideal de semillas grandes, como las de las poblaciones de biznaga II, III y IV, es contar con mayores reservas nutricionales y a pesar de germinar con lentitud, tienen tasas altas de germinación y emergencia (Brown *et al.*, 2003). En la realidad, la biznaga cabuchera tiene un alto índice de mortalidad durante la germinación y establecimiento en condiciones naturales, lo que motiva el trasplante de individuos reproducidos *ex-situ*.

Conclusiones

La hipótesis planteada se cumplió parcialmente, debido a que las características físicas de la zona semiárida del Altiplano Tamaulipeco definieron tres grupos de poblaciones de *Ferocactus pilosus* con cierto grado de similaridad y sólo el número y el peso de la semilla sufrieron una variación a causa de esas diferencias grupales. La afinidad y respuestas grupales se dieron en las poblaciones de biznaga cabuchera de los Ejidos La Perdida, Estanque de los Walle y Joya de Herrera, lo mismo que para Villa de Miquihuana y Ejido Magdaleno Cedillo, en un grupo diferente.

Agradecimientos

El primer autor manifiesta su gratitud al CONACYT-México, por el otorgamiento de la beca para el desarrollo de los estudios de posgrado, identificada con el Núm. 290817.DBIO-2011-03. Del mismo modo, se agradece la intervención de los revisores (as) anónimos designados por el grupo editorial de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícola del INIFAP que, en el anonimato, permitieron mejorar el contenido temático.

Literatura citada

- Alanís-Flores, G. J. y Velasco-Macías, C. G. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. Ciencia UANL. 11(001):5-11.
- Ayala-Cordero, G.; Terrazas, T.; López-Mata, L. y Trejo, C. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. Interciencia. 29(12):692-697.
- Ballesteros-Barrera, C.; Aguilar-Romero, O.; Zarate-Hernández, R. y Ballesteros-Tapia, L. 2017. Distribución geográfica y conservación de nueve especies del género *Ferocactus* (*Cactaceae*) en México. Rev. Fitotec. Mex. 40(2):131-140.
- Brown, J.; Enrigh, N. J. and Miller, B. P. 2003. Seed production and germination in two rare and three common co-occurring *Acacia* species from southeast Australia. Australian Ecol. 28(3):271-280. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.t01-4-01287.x>.

- Canazza, M. C.; Scalon, S. P. Q.; Sari, A. P.; Rosa, Y. B. C. J. and Robaina, A. D. 2009. Biometria de frutos e sementes e germinação de *magonia pubescens* ST. Hil (Sapindaceae). Rev. Brasileira de Sementes. 31(2):202-211. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000200024>.
- CICESE. 2014. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Base de datos climatológica nacional. Sistema CLICOM. <http://www.clicom-mex.cicese.mx/>.
- Contreras-Quiroz, M. R.; Pando-Moreno, M.; Flores, J. and Jurado, E. 2016. Effects of wetting and drying cycles on the germination of nine species of the Chihuahuan desert. Bot. Sci. 94(2):221-228. <https://doi.org/10.17129/botsoci.457>.
- Contreras-Quiroz, M. R.; Pando-Moreno, M.; Jurado, E.; Bauk, K.; Gurvich, E. and Flores, J. 2016b. Is seed hydration memory dependent on climate? testing this hypothesis with Mexican and Argentinian cacti species. J. Environ. 130:94-97. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.03.001>.
- Del-Castillo, R. F. 1986. Semillas, germinación y establecimiento de *Ferocactus histrix*. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 3(1):5-10.
- Díaz, H. H.; Navarro, C. M. C and Rodríguez, M. C. M. 2008. Aspectos de la morfometría y fenología reproductiva de *Echinocactus platyacanthus* en la barranca Huexotitlanapa de Tecali de Herrera. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 53(4):100-107.
- Durant, S. M.; Petteorelli, N.; Bashir, S.; Wooddroffe, R.; Wachter, T.; Ornelas, P.; Ransom, C.; Abáigar, T.; Abdelgadir, M.; El Alqamy, H.; Beddiaf, M.; Belbachir, F.; Belbachir-Bazi, A.; Berbash, A. A.; Beudels-Jamar, R.; Boitani, L.; Breitenmoser, C.; Cano, M.; Chardonnet, P.; Collen, B.; Cornforth, W. A.; Cuzin, F.; Gerngross, P.; Haddane, B.; Hadjeloum, M.; Jacobson, A.; Jebali, A.; Lamarque, F.; Mallon, D.; Minkowsky, K.; Monfort, S.; Ndoassal, B.; Newby, J.; Ngakoutou, B. E.; Niagate, B.; Purchase, G.; Samaïla, S.; Samna, A. K.; Sillero-Zubiri, C.; Souldan, A.E.; Stanley Price, M. R. and Billie, J. E. M. 2012. Forgotten biodiversity in desert ecosystems. Science. 336(6087):1379-1380. <https://doi.org/10.1126/science.336.6087.1379>.
- Fitz, M. B. and Fitz, M. W. A. 2017. *Ferocactus pilosus*. The IUCN red list of threatened species 2017: e.T152928A121553200. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.t152928A121553200.en>.
- Flores, J. and Jurado, E. 2011. Germinación de especies de cactáceas en categoría de riesgo del Desierto Chihuahuense. Rev. Mex. Cienc. Forest. 2(8):59-70.
- Flores-Martínez, A.; Manzanero, G. I.; Golubov, J. y Mandujano, M. C. 2013. Biología floral de *Mammillaria huitzilopochtli*, una especie rara que habita acantilados. Bot. Sci. 91(3):349-356.
- Goettsch, B.; Hilton, T. C.; Cruz, P. G.; Duffy, J. P.; Frances, A. and Hernández, H. M. 2015. High proportion of cactus species threatened with extinction. Natural Plants. 15142:1-7. <https://doi.org/10.1038/NPLANTS.2015.142>.
- González, M. E. M. y Navarro, C. M. C. 2011. Fenología reproductiva de *Ferocactus robustus* en San Mateo Talixpan, Tecamachalco, Puebla, México. Cactáceas y Suculentas Mexicanas. 56(4):100-111.
- Grime, J. P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants its relevance to ecological and evolutionary theory. The American Naturalist. 111(982):1168-1194. <http://www.jstor.org/stable/2460262>.
- Grivet, D.; Robledo, A. J. J., Smouse, P. E. and Sork, V. 2009. Relative contribution of contemporary pollen and seed dispersal to the effective parental size of seedling population of California valley oak (*Quercus lobata* Née). Mol. Ecol. 18(19):30967-3979. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04326.x>.

- Hernández, B. T. y Treviño, C. J. 1998. Notas referentes al fruto de *Ariocarpus agavoides* (Castañeda) anderson. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 43(4):80-84.
- INEGI. 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Guía para la interpretación de cartografía: uso de suelo y vegetación. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- INEGI. 2006. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Propuesta de clasificación: Sistema de clasificación de la cubierta de la tierra. Instituto nacional de estadística, geografía e informática, Aguascalientes, México.
- INEGI-CONABIO-INE. 2008. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Instituto Nacional de Ecología. Ecorregiones Terrestres de México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/ecort08gw.xml?_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc.html.xsl&.indent=no.
- IUCN. 2016. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Red list of threatened species. Gland, Switzerland, international union for the conservation of nature. <http://iucnredlist.org>. Version 2016-1.
- Jiménez, S. C. L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Rev. Digital Universitaria*. 12(1):1-23.
- Lara, J. E. I.; Treviño, C. J.; Estrada, D. B.; Poot, P. W. A.; Vargas, T. V. y Ballesteros, B. C. 2016. Determinación de las especies nodriza de *Ferocactus pilosus* (Galeotti) Werderm. (Cactaceae) en Miquihuana, Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Agroecos*. 3(2):184-194.
- Larios, E.; Búrquez, A.; Becerra, J. and Venable, L. D. 2014. Natural selection on seed size through the life cycle of a desert annual plant. *Ecology*. 95(11):321. <https://doi.org/10.1890/13-1965>.
- Linkies, A.; Graeber, K.; Knight, C. and Leubner-Metzger, G. 2010. The evolution of seeds. *New Phytologist*. 186(4):817-831. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03249.x>.
- Loza, C. S.; Terrazas, T. and López-Mata, L. 2012. Fruits, seeds, and germination in five species of globose cactaeae (cactaceae). *Interciencia*. 37(3):197-203. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/197-c-terrazas-7.pdf>.
- Martínez, I.; García, D. and Obeso, J. R. 2016. Allometric allocation in fruit and seed packaging conditions the conflict among selective pressures on seed size. *Ev. Ecol*. 21(4):517-533. <https://doi.org/10.1007/s10682-006-9132-x>.
- McIntosh, M. E. 2002. Flowering phenology and reproductive output two sister's species of *Ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecol*. 159:1-13. <https://doi.org/10.1023/A:1015589002987>.
- Méndez, M.; Durán, R.; Dorantes, A.; Dzib, G.; Simá, L.; Simá, P. and Orellana, R. 2005. Floral demography and reproductive systema of *Pterocereus gaumeri*, a rare columnar cactus endemic to Mexico. *J. Arid Environ*. 62(3):363-376. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.12.002>.
- Morlans, M. A. 2004. Introducción a la ecología de poblaciones. cátedra de ecología. FCA-Universidad Nacional de Catamarca. Argentina. 16 p.
- Nora, S.; Albaladejo, R. G.; González, M. S. C.; Robledo, A. J. J. y Aparicio, A. 2011. Movimiento de genes polen y semillas en poblaciones fragmentadas de plantas. *Ecosistemas*. 20(2-3):35-45. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=690>.
- Núñez-Colín, C. A.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Nieto-Ángel, R. y Barrientos-Priego, A. F. 2004. Construcción de dendrogramas de taxonomía numérica mediante el coeficiente de distancia X^2 : una revisión. *Rev. Chapingo Ser. Hortic*. 10(2):229-237.
- Ordiales-Plaza, R. 2000. MideBMP, versión 4.2. Estación experimental de zonas áridas. Almería, España. 8 p.

- Raisman, J. S. y González, A. M. 2013. Hipertextos del área de biología. <http://www.biologia.edu.mx>.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1^{ra}. Ed. digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF. 504 p.
- Salinas-Rodríguez, M. M. 2018. La sierra madre oriental como reservorio de diversidad vegetal. *Ciencia UANL*. 21(88):46-51.
- Sánchez-Salas, J.; Flores, J. y Martínez-García, E. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire (Cacataceae), especie amenazada de extinción. *Interciencia*. 31(5):371-375.
- Santos-Díaz, M. S.; Pérez-Molphe, E.; Ramírez-Malagón, R.; Núñez-Palenius, H. G. and Ochoa-Alejo, N. 2010. Mexican threatened cacti: current status and strategies for their conservation. Chapter 1. *In*: Tepper GH, Ed. Species diversity and extinction. Hauppauge, Nueva York, USA. Nova science publishers, Inc. 1-60 pp.
- Schwinning, S. and Kelly, C. K. 2013. Plant competition, temporal niches and implications for productivity and adaptability to climate change in water-limited environments. *Funkcional ecology*. 27:886-897. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12115>.
- SEMARNAT. 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio lista de especies en riesgo. Diario oficial de la federación. 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección. México, DF.
- Stein, K.; Coulibaly, D.; Stenchly, K.; Goetze, D.; Porembsky, S.; Lindner, A.; Konaté, S. and Linsenmair, E. K. 2017. Bee pollinization increases yield quantity and quality of cash crops in burkina faso, West Africa science report on line. 7(1):17691. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17790-2>.
- Tardieu, F. 2013. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand and negative effects of water deficit. *Frontiers in physiology*. 4(17):11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00017>.
- Tilman, D. 1990. Constraints and tradeoffs: toward a predictive theory of competition and succession. *Oikos*. 58(1):3-15. <https://doi.org/10.2307/3565355>
- Torroba, P.; Hernández, Á. y Zaldívar, P. 2013. Caracterización morfométrica de las semillas de frutos carnosos de la flora del norte de la península ibérica. *Ecología*. 25(1):175-196.
- Valeria, G.; Bedmar, F.; Diez, U. P. y Hernán, P. 2017. Dinámica de emergencia y competencia intraespecífica en *Conyza sumatrensis*. *Agrociencia Uruguay*. 21(1):69-77. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v21n1/2301-1548-agro-21-01-00069.pdf>.
- Valiente-Banuet, A. 2002. Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de las cactaceas columnares de México. *Rev. Chil. Histor. Natur.* 75(1):99-104. <http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/2002/1/Valiente-Banuet.2002.pdf>.