



Las fascinantes adaptaciones de las cactáceas y su historia evolutiva

Schwertner-Charão, Leandro; Treviño-Carreón, Jacinto; Delgado Martínez, Rafael

Las fascinantes adaptaciones de las cactáceas y su historia evolutiva

CIENCIA *ergo-sum*, vol. 30, núm. 2, julio-octubre 2023 | e202

Espacio del divulgador

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Schwertner-Charão, L., Treviño-Carreón, J. y Delgado Martínez, R., (2023). Las fascinantes adaptaciones de las cactáceas y su historia evolutiva. *CIENCIA ergo-sum*, 30(2). <http://doi.org/10.30878/ces.v30n2a9>

Las fascinantes adaptaciones de las cactáceas y su historia evolutiva

The fascinating adaptations of cacti and their evolutionary history

Leandro Schwertner-Charão
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
leandro.charao1@unemat.br
 <http://orcid.org/0000-0002-3597-496X>

Recepción: 10 de diciembre de 2021
Aprobación: 15 de marzo de 2022

Jacinto Treviño-Carreón*
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
jatreveno@docentes.uat.edu.mx
 <http://orcid.org/0000-0001-7945-4010>

Rafael Delgado Martínez,
Universidad Autónoma de Tamaulipas, México
rdelgado@docentes.uat.edu.mx
 <http://orcid.org/0000-0001-9945-5985>

RESUMEN

Se dan a conocer las fascinantes e importantes adaptaciones de las cactáceas que han permitido su distribución y sobrevivencia en los desiertos americanos. De acuerdo con la metodología, se recopiló información bibliográfica de libros especializados, artículos científicos y de divulgación. Como principales resultados del compendio se describen el origen, la distribución geográfica, los hábitats donde viven, sus adaptaciones evolutivas y las principales amenazas que ponen en riesgo su sobrevivencia. Se concluye que es urgente tomar medidas efectivas de protección y conservación de las cactáceas.

PALABRAS CLAVE: cactus, desiertos, evolución.

ABSTRACT

The fascinating and important adaptations of cacti, which have allowed their distribution and survival in American deserts are presented. Bibliographic information was collected from specialized books, scientific and popular articles according to methodology. The main results of the compendium are the origin, geographical distribution, habitats where they live, their evolutionary adaptations and main threats that put their survival at risk. It is concluded that it is urgent to take effective measures for the protection and conservation of cacti.

KEYWORDS: cacti, deserts, evolution.

INTRODUCCIÓN

Este artículo de divulgación tiene como objetivo dar a conocer, de manera general, las adaptaciones de las cactáceas en los ambientes áridos donde se distribuyen, así como mencionar las principales características de la familia y su historia de vida. La familia Cactaceae presenta cerca de 130 géneros y 1 850 especies nativas del continente americano (Nyffeler y Egli, 2010; Hernández-Ledesma *et al.*, 2015). México es el país de mayor diversidad de cactáceas en el mundo, seguido por Brasil, Argentina y Bolivia (Ortega-Baes *et al.*, 2010).

Según Arias y Aquino (2019), México alberga 670 especies de cactus, de las cuales 77% son endémicas (Guzmán *et al.*, 2003). Los miembros de esta familia tienen una gran importancia ecológica, social y económica. Son consideradas especies clave de zonas áridas y semiáridas en las Américas, ya que proporcionan alimentos como néctar, polen y frutos para varias especies de animales del desierto (Guerrero *et al.*, 2019).

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

jatreveno@docentes.uat.edu.mx

El hombre utiliza las cactáceas desde tiempos prehispánicos, los aztecas y mayas las empleaban en la alimentación, en ceremonias espirituales como medicina y con fines ornamentales (Casas y Barbera, 2002). La familia Cactaceae es considerada la segunda familia de mayor diversidad de las Américas; el primer lugar lo ocupa la familia Bromeliaceae (Cota-Sánchez, 2008).

Las cactáceas presentan gran diversidad de tamaños y formas de crecimiento. Existen cactus pequeños como las especies del género *Frailea*, con tallos no mayores a 5 cm de alto y otras especies gigantes como los saguaros, que pueden llegar hasta 16 m de altura (Anderson, 2001). El tallo de la gran mayoría de las cactáceas es suculento, el cual está adaptado para el almacenamiento de agua, y puede ser toneliforme como en el caso de las biznagas, columnar como en los viejitos y cardones, en forma de candelabro como en los garambullos, aplanado en forma de raqueta como en los nopales, triangular como los jacubes o pitayos y globosos aplanados como en los peyotes. Los cactus son un grupo de plantas monofilético, es decir, que provienen de un sólo ancestro común y por eso comparten características genéticas y morfológicas similares y exclusivas de la familia.

La característica más sobresaliente de la familia Cactaceae que las distingue de las demás familias de angiospermas, es la presencia de areolas, que son definidas como yemas axilares altamente especializadas. Son zonas meristemáticas, también consideradas como ramas laterales muy cortas, de donde parten grupos de espinas, gloquidios, tricomas, glándulas, flores, frutos y nuevas ramas, para el caso de las especies que ramifican. En los cactus, las hojas se han reemplazado por espinas durante su proceso evolutivo (Mauseth, 2006); estas modificaciones graduales requirieron de, por lo menos, dos millones de años (Mauseth *et al.*, 2002). Las flores de las cactáceas siguen un patrón singular; en general, suelen ser grandes, solitarias, con colores brillantes y efímeras. El tubo floral presenta tépalos, lo cual implica que no hay una distinción clara entre los sépalos y los pétalos.

1. ADAPTACIONES PARA SOBREVIVIR EN LOS DESIERTOS

Las modificaciones evolutivas más relevantes que convirtieron los cactus en plantas adaptadas al desierto fueron el desarrollo de tejidos suculentos que facilitan el almacenamiento de agua, el desarrollo de una anatomía que les permiten cambios en el volumen del agua almacenada sin sufrir daños estructurales, la pérdida de hojas y la formación de espinas. La lluvia es escasa en los desiertos y el aire es seco, de tal manera que mantener hojas en estos ambientes conduce a la pérdida de agua por la transpiración. Además, para sobrevivir a los largos periodos de sequía es fundamental almacenar agua; por eso, los cactus desarrollaron tejidos suculentos, los cuales podrían ser depredados con facilidad por los sedientos animales del desierto. Este escenario dio paso a la evolución del grupo, donde las hojas fueron reemplazadas por espinas y favorecieron una doble adaptación: evitar la pérdida de agua y proporcionar la protección contra la herbivoría. A excepción de algunas especies con hojas, en la mayoría de las cactáceas la función fotosintética la llevan a cabo sus tallos, los cuales permanecen verdes por la ausencia de una corteza externa, como sucede en las plantas leñosas. Los tallos en los cactus están cubiertos por una cutícula gruesa, compuesta de ceras que los protegen de los daños causados por la alta intensidad de la radiación solar y reducen la pérdida de agua por transpiración. Entre los periodos de lluvias y sequías, las cactáceas cambian drásticamente el volumen de sus tallos para aprovechar esa capacidad de expandirse y contraerse sin dañar la epidermis; los cactus desarrollan formas anatómicas especiales, muchas especies presentan costillas, que son pliegues longitudinales en sus tallos; otras especies pueden tener podarios, tubérculos o costillas tuberculadas que difieren en la anatomía, pero tienen la misma función. Otra característica adaptativa son las raíces, pues algunas especies disponen de raíces grandes, tuberosas o napiformes que almacenan agua y otras poseen un sistema radicular superficial muy ramificado capaz de absorber con rapidez el agua de las escasas lluvias del desierto.

2. ORIGEN EVOLUTIVO DE LOS CACTUS

Los cactus no dejaron registros fósiles. Ante esto, es necesario determinar el lugar y el tiempo de su origen con un análisis amplio que lleva más bien a aproximaciones que a datos exactos. La deriva continental es un fenómeno

clave para comprender este proceso. Hace unos 400 millones de años, el planeta tierra estaba constituido por un solo supercontinente llamado *Pangea*. En el periodo Jurásico, hace unos 175 millones de años, las corrientes en el manto terrestre comenzaron a separar al supercontinente *Pangea*, en dos grandes continentes, Laurasia al norte y Gondwana al sur. Pasados 50 millones de años, los movimientos de las placas tectónicas separaron Laurasia, que dieron origen a América del Norte y Eurasia. En el hemisferio sur, América del Sur se separó de Gondwana. Durante millones de años, todos los continentes estuvieron suficientemente cerca, de manera que sus floras y faunas fueron similares; sin embargo, con el tiempo, las distancias se volvieron demasiado grandes para el intercambio entre los continentes y los organismos evolucionaron de modo independiente (Raven y Axelrod, 1974). Hay un consenso entre los taxónomos basados en los análisis biogeográficos y morfológicos de que los primeros cactus surgieron en América del Sur, cuando el continente ya estaba distante en un mínimo de 800 km de África, de manera que las aves dispersoras de semillas no pudieron volar entre los dos continentes. Se supone que si los cactus se hubieran originado antes, mientras América del Sur y África todavía estaban unidos, habría cactáceas nativas en África o quizás en Europa, Oriente Medio y Asia (Mauseth *et al.*, 2002).

Arakaki *et al.* (2011) estimaron, mediante un análisis filogenético, que el linaje de los cactus se separó de sus parientes más cercanos hace aproximadamente unos 35 millones de años, durante el Terciario medio. Sin embargo, los principales eventos de diversificación en los cactus fueron más recientes, y la mayoría de los clados ricos en especies se originaron de entre 10 a 5 millones de años atrás, en el Mioceno tardío.

En el Mioceno temprano, hace unos 23 millones de años, América del Norte y del Sur, que estaban aisladas, empezaron a unirse. En este caso, la presión entre estas placas americanas y el vulcanismo dieron origen a una cadena de montañas en el fondo del océano que poco a poco sobresalieron de la superficie del mar y formaron una serie de islas. Se supone que las cactáceas llegaron a la región que hoy constituye México antes de la formación completa de América Central. El istmo de Panamá fue el último pedazo de tierra que faltaba para unir las Américas, el cual se supone comenzó su formación hace 10 millones de años (Harmon, 2005).

Los cactus en general presentan un ritmo de crecimiento muy lento y largos ciclos de vida; sin embargo, ellos experimentaron una de las diversificaciones evolutivas más rápidas y sorprendentes observadas en el reino vegetal (Guerrero *et al.*, 2019). Cuando las cactáceas llegaron a México encontraron las condiciones especiales que favorecieron una gran radiación de especies y convirtieron los desiertos de México en el mayor centro de diversidad de especies de la familia.

3. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CACTUS

Los cactus son nativos de América y se pueden encontrar desde el norte de Canadá hasta el sur en la Patagonia en Argentina (Anderson, 2001). La única excepción es el cactus epífita *Rhipsalis baccifera* que también se distribuye en África Occidental, en Madagascar y en algunas islas del océano Índico (Ingram, 2008). Existe controversia en relación con la distribución de *Rhipsalis baccifera*, ya que pudo haber llegado al Viejo Mundo debido a dispersión natural. Sin embargo, Calvente *et al.* (2011) sugieren que los humanos a través de las navegaciones entre Brasil, África e India a partir del siglo XVI son quienes llevaron la especie hasta África y a algunas islas del océano Índico. Esta última hipótesis es soportada porque justamente la distribución de *R. baccifera* coincide con la antigua ruta de comercio de las Indias Orientales.

Los cactus por lo general crecen anclados al suelo, aunque existen especies rupícolas que lo hacen sobre las rocas y epífitas que se desarrollan sobre otras plantas. Viven en hábitats con clima, altitud, relieve y condiciones ambientales ampliamente diversificadas (Mauseth *et al.*, 2002). Predominan en las regiones áridas y semiáridas, como los desiertos de Chihuahua y Sonora en México, el Atacama en Chile, así como en las zonas semiáridas del *Sertão* en el noreste de Brasil. En relación con la altitud, es posible encontrar cactus en zonas bajas, como se observa en la costa atlántica de Brasil, así como en los desiertos costeros de Chile hasta Perú, en América del Sur. De manera análoga, se ubican cactus en zonas costeras en América del Norte, donde cabe mencionar

a las espectaculares playas con una gran diversidad de cactáceas de la península de Baja California en México. También se localizan cactus en zonas de gran altitud como en el Altiplano boliviano y en varias montañas andinas. Aunado a la información anterior, lo que sería una sorpresa para muchas personas es que hay cactus en zonas húmedas, por ejemplo en la Mata Atlántica que cubre la Serra do Mar en Brasil, en las selvas de América Central y en la Selva Lacandona en México.

Para las cactáceas, la precipitación anual total y la duración del periodo de sequía influyen de manera directa sobre el volumen de los tejidos suculentos. Si el hábitat presenta periodos de sequía cortos, como uno o dos meses entre una lluvia y otra, las plantas no necesitan almacenar grandes cantidades de agua; por lo tanto, los cactus que habitan esas regiones presentan poca succulencia, como en *Pereskia aculeata*, conocido como *ora-pro-nóbis* en Brasil, que se distribuye en América tropical. Por otro lado, en regiones donde el periodo de sequía es más largo, como en el *Sertão* de Brasil, que suele tener una estación de seis o siete meses al año, los cactus deben contener mayor cantidad de tejido suculento, como es el caso del *coroa-de-frade* (*Melocactus zehntneri*) y el bellissimo *xique-xique* (*Xiquexique gounellei*). En regiones más secas, con periodos de sequía que pueden durar uno o dos años, como en el desierto de Atacama –donde nada más llueve en los años cuando se presenta el fenómeno de El Niño–, se localizan cactus con tallos más corpulentos como las pasacanas (*Trichocereus atacamensis*). En América del Norte se encuentran formas de vida similares como los saguaros (*Carnegiea gigantea*) del desierto de Sonora, las biznagas rojas (*Ferocactus pilosus*) y las biznagas burras (*Echinocactus platyacanthus*) del desierto de Chihuahua que son capaces de soportar más de dos años sin lluvias por el gran volumen de agua que almacenan.

En cambio, las selvas representan un ambiente muy distinto de un desierto, ya que las lluvias son abundantes, el aire y el suelo son húmedos y la radiación solar es filtrada por la copa de los árboles, por lo que la luz solar es limitada en la superficie del suelo. Bajo esas condiciones, los cactus buscaron la luz y comenzaron a escalar los tallos de los árboles que trajo como consecuencia el desarrollo de raíces adventicias para sujetarse en las grietas de la corteza de los árboles, de las cuales adquieren el agua durante las lluvias. A esta forma de crecimiento se denomina *epífita*. Con lluvias frecuentes no es necesario almacenar grandes cantidades de agua; en consecuencia, estos cactus desarrollaron una reversión evolutiva que propició la reducción del tejido suculento. Por esta razón, la mayoría de los cactus epífitos presentan tallos livianos, aplanados y delgados (Wallace y Gibson, 2002). En la selva, los tallos de las cactáceas evolucionaron en formas más parecidas a hojas para ampliar la capacidad de absorción de luz. La mayoría de los cactus epífitos no tienen espinas o las que tienen son muy pequeñas y suaves, porque ya no requieren protección contra la herbivoría, por presentar poca succulencia y por vivir en las copas de los árboles, que los hacen inaccesibles a los principales herbívoros terrestres (Wallace y Gibson, 2002). La mayoría de los frutos de estos cactus son de colores brillantes y con pulpa levemente endulzada y jugosa, características que atraen a las aves, principales dispersoras de sus semillas. Las cactáceas epífitas presentan dos centros de origen y diversidad: el primero en las selvas del sur de México y Centro América y el segundo en las selvas del sureste de Brasil (Barthlott, 1983).

PROSPECTIVA

En la actualidad la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) incluye más de 37 400 especies de la fauna y flora en peligro de extinción. Se estima que un tercio de todas las especies de animales y plantas del planeta estarían en extinción en 2070 debido al cambio climático (Román-Palacios y Wiens, 2020). Los cactus son considerados uno de los grupos taxonómicos más amenazados entre las familias botánicas (Goettsch *et al.*, 2015). La Norma Oficial Mexicana (NOM059-ECOL-2010) enlista 279 taxones en riesgo; el Libro Rojo de la IUCN incluye 31% de taxones con amenaza de extinción, mientras que la Convención sobre Comercio de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre (CITES por sus siglas en inglés), contiene 41 taxones en el Apéndice I (especies en peligro de extinción) y el restante de las cactáceas las consideran dentro del Apéndice II (especies que no están necesariamente amenazadas, pero que podrían estarlo a menos que se controle su comercio de forma más estricta) (Jiménez-Sierra, 2011).

Muchas especies de cactáceas presentan endemismos, poblaciones pequeñas y aisladas, crecimiento lento y dificultades de germinación en campo, lo que las hace vulnerables. Además, la recolección ilegal e intensiva de semillas y plantas vivas de poblaciones silvestres, para formar parte de colecciones particulares, ha llevado a un gran número de especies de cactáceas a estar con grandes posibilidades de extinción inminente.

CONCLUSIONES

Debido a las características biológicas intrínsecas de las cactáceas, con su fragilidad para reproducirse en los desiertos, además de los impactos y amenazas que sufren en la actualidad, es urgente que se tomen medidas gubernamentales efectivas de protección y conservación de estas especies. Además, cada persona debe tener conciencia de protegerlas y admirarlas en su hábitat natural. En lo que respecta a su comercio, cabe asegurarse de que su reproducción sea por medio de semillas y de que provengan de viveros certificados y no del saqueo de poblaciones silvestres.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los árbitros evaluadores de este artículo, ya que con sus aportaciones permitieron mejorar la calidad del artículo.

REFERENCIAS

- Anderson, E. F. (2001). *The cactus family*. USA: Timber Press.
- Arakaki, M., Christin, P. A., Nyffeler, R., Lendel, A., Eggli, U., Ogburn, R. M., & Edwards, E. J. (2011). Contemporaneous and recent radiations of the world's major succulent plant lineages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8379-8384.
- Arias, S., & Aquino, D. (2019). Cactaceae I Family. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. México: Inecol.
- Barthlott, W. (1983). Biogeography and evolution in Neo and Paleotropical Rhipsalinae (Cactaceae). In: K. Kubitzki. *International Symposium, Sonderbande des Naturwissenschaftlichen Vereins*. Hamburg.
- Calvente, A., Zappi, D. C., Forest, F., & Lohmann, L. G. (2011). Molecular phylogeny of tribe Rhipsalideae (Cactaceae) and taxonomic implications for Schlumbergera and Hatiora. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 58(3), 456-468.
- Casas, A., & Barbera, G. (2002). Mesoamerican domestication and diffusion. *Cacti: Biology and Uses*, 143, 62.
- Cota-Sánchez, J. H. (2008). Evolución de cactáceas en la región del Golfo de California, México. In L. M. Flores-Campaña (Ed.), *Estudios de las islas del Golfo de California* (pp. 67-799). Culiacán: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Goettsch, B., Hilton-Taylor, C., Cruz-Piñón, G., Duffy, J. P., Frances, A., Hernández, H. M.,... & Gaston, K. J. (2015). High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature Plants*, 1(10), 1-7.
- Guerrero, P. C., Majure, L. C., Cornejo-Romero, A., & Hernández-Hernández, T. (2019). Phylogenetic relationships and evolutionary trends in the cactus family. *Journal of Heredity*, 110, 4-21.
- Guzmán, U., Arias, S., & Dávila, P. (2003). *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Harmon, R. S. (2005). The geological development of Panama. In Harmon, R. S. (Ed.), *The Rio Chagres, Panama: A Multidisciplinary Profile of a Tropical Watershed*. Netherlands: Springer Dordrecht.

- Hernández-Ledesma, P., Berendsohn, W. G., Borsch, T., Von Mering, S., Akhiani, H., Arias, S., & Uotila, P. (2015). A taxonomic backbone for the global synthesis of species diversity in the angiosperm order Caryophyllales. *Willdenowia*, 45(3), 281-383.
- Ingram, S. (2008). *Cacti, Agaves and Yuccas of California and Nevada*. USA: Cachuma Press.
- Jiménez-Sierra, C.L.J. (2011). Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria*, 12(1).
- Mauseth, J. D. (2006). Structure-function relationships in highly modified shoots of Cactaceae. *Annals of Botany*, 98(5), 901-926.
- Mauseth, J. D., Kiesling, R., & Ostolaza, C. N. (2002). *A Cactus Odyssey: Journey in the Wilds of Bolivia, Peru, and Argentina*. USA: Timber Press.
- Nyffeler, R., & Eggli, U. (2010). A farewell to dated ideas and concepts: molecular phylogenetics and a revised suprageneric classification of the family Cactaceae. *Schumannia*, 6, 109-149.
- Ortega-Baes, P., Sühling, S., Sajama, J., Sotola, E., Alonso-Pedano, M., Bravo, S., & Godínez-Álvarez, H. (2010). Diversity and conservation in the cactus family. In *Desert plants* (pp. 157-173). Berlin: Springer.
- Raven, P. H., & Axelrod, D. I. (1974). Angiosperm biogeography and past continental movements. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 61, 539-673.
- Román-Palacios, C., & Wiens, J. J. (2020). Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(8) 4211-4217.
- Wallace, R. S., & Gibson, A. C. (2002). Evolution and systematics. In: P. S. Nobel (Ed.), *Cacti: biology and uses* (pp. 1-21). USA: University of California Press.

CC BY-NC-ND