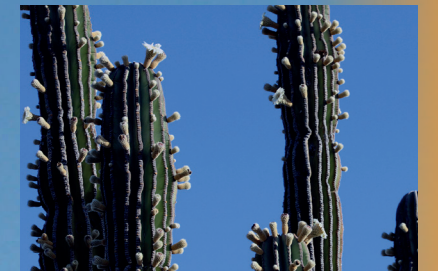


Resolviendo el rompecabezas para conocer el estatus fitosanitario del cardón de la Península de Baja California

Solving the puzzle to know the phytosanitary status of the cardón of the Peninsula of Baja California



Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (3): 115-127. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.03.0009>

Ramón Jaime Holguín Peña¹, María José Vázquez Moreno³, Mayela Vargas Salinas¹, Edgar Omar Rueda Puente², Ricardo Aldaco Magaña⁵, Dionicio Alvarado Rosales⁴ y Diana Medina Hernández^{1*}

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Programa de Agricultura en Zonas Áridas, Laboratorio de Fitopatología. Instituto Politécnico Nacional 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México 23096.

² Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Agricultura y Ganadería. Avenida Luis Donald Colosio y Calle de la Reforma, Edificio 10K, Hermosillo, Sonora, México 83000.

³ Universidad de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Avenida de las Ciencias S/N, Juriquilla, Delegación Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México 76230.

⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Instituto de Fitosanidad. Carretera México- Texcoco km. 36.5, Texcoco, Estado de México 56230.

⁵ Comisión Nacional Forestal. Departamento de Manejo Forestal Comunitario y Restauración. Blvd. Calzada Agustín Olachea Avilés S/N. Calle Chechen y Josefa Ortiz de Domínguez, Col. Las Garzas, La Paz, Baja California Sur, México 23070.

* Correspondencia: dmedina@cibnor.mx

Resumen

Las cactáceas columnares representan una gran parte del paisaje a lo largo del Pacífico mexicano y en especial en la Península de Baja California donde el cardón "pelón" (*Pachocereus pringlei*) es un emblema. Desde el siglo pasado se ha descrito algunas afecciones recurrentes en este gigante, las cuales se han asociado a diversos problemas de índole biótico, sin embargo, no se ha evaluado el estado de salud de los cardonales en la península, por lo que es necesario implementar una estrategia para determinar el "estatus fitosanitario" donde pudieran estar involucrados una diversidad de agentes fitopatógenos. Sin embargo, para ir resolviendo este complejo rompecabezas es necesario tomar en cuenta algunas piezas clave como: i) establecer el conocimiento del estado actual del problema, ii) determinar el grado de afección causada por enfermedades, iii) implementar las técnicas adecuadas de diagnóstico fitosanitario para cada patógeno y iv) establecer las correctas medidas de prevención y/o control. En este artículo presentamos algunos avances del grupo de Fitopatología en la revisión del estado fitosanitario de los cardonales, con el fin de aportar elementos científicos y técnicos que nos permita salvaguardar al cardón como uno de los recursos más valiosos de la península de Baja California.

Palabras clave: Cactáceas, gigantes columnares, estatus fitosanitario, factores bióticos.

Abstract

Columnar cacti represent a large part of the landscape along the Mexican Pacific and especially in the Baja California Peninsula where the cardón "pelón" (*Pachocereus pringlei*) is an emblem. Since the last century, some recurrent conditions have been

described in this giant, which have been associated with various problems of a biotic nature, however, the health status of *Pachocereus* population in the peninsula has not been evaluated, so it is necessary to implement a strategy to determine the "phytosanitary status" where a diversity of phytopathogenic agents could be involved. However, in order to solve this complex puzzle it is necessary to take into account some key pieces such as: i) establishing knowledge of the current state of the problem, ii) determining the degree of affection caused by diseases, iii) implementing the appropriate phytosanitary diagnosis techniques for each pathogen and iv) establish the correct prevention and / or control measures. In this article we present some advances of the Phytopathology group in the review of the phytosanitary status of the cardon population in order to provide scientific and technical elements that allow us to safeguard the cardón as one of the most

valuable resources of the Baja California peninsula.

Keywords: Cactaceae, columnar giants, phytosanitary status, biotic factors.

Antecedentes

La familia *Cactaceae*, tiene su origen durante el periodo geológico eoceno-oligoceno en el continente Americano y, de acuerdo con diversos estudios biogeográficos, específicamente en la región central andina de Chile, Argentina, Bolivia y Perú, desde donde se expandió y diversificó hacia el norte del continente (Gibson y Nobel, 1986; Hernández-Hernández *et al.*, 2014). Diversos estudios morfológicos, moleculares y filogenéticos han dilucidado que los miembros de esta familia forman un grupo monofilético bien definido, lo cual significa que todos los organismos han evolucionado a partir de una población ancestral común (Nyffeler, 2010; Bárcenas *et al.*, 2011; Hernández-Hernández *et al.*, 2011; Guerrero *et al.*, 2019). Otra de las características interesantes de esta familia es el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM, por sus siglas en inglés); esto quiere decir que las plantas tipo CAM presentan una variación en el metabolismo fotosintético del carbono y en los mecanismos de transducción de señales de regulación diurna de las actividades enzimáticas. Esto implica que durante las horas de más calor mantienen los estomas cerrados, reduciendo así la pérdida de agua por transpiración, pero manteniendo la cantidad de dióxido de carbono necesario para su metabolismo (Geydan y Melgarejo, 2005). Es decir, que su capacidad en la eficiencia del uso de agua es de cinco a diez veces más alta de la que tienen otro tipo de plantas, lo que junto con otros cambios morfológicos, como la modificación de hojas por espinas, le han permitido sobrevivir en zonas desérticas y semidesérticas (Edwards y Ogburn, 2012). Hasta la fecha se han

registrado alrededor de 1438 especies de cactáceas, siendo México uno de los principales centros de diversidad al contar con 600 especies, de las cuales el 75% son endémicas (Hunt, 2006; Ortega-Baés y Godínez-Álvarez, 2006). La diversidad de esta familia es tan amplia que tiene individuos de dos centímetros de forma globular como el género de las *Blossfeldia*, hasta otros de estructura columnar como *Pachycereus* que pueden llegar a medir hasta 20 metros de altura (Hernández-Hernández *et al.*, 2011). El nombre genérico de *Pachycereus* proviene del griego *pachys* que significa espeso, grueso o denso, y *cereus* se refiere al crecimiento erecto y columnar; este género se distribuye en cinco zonas florísticas en México: Baja California, Costa del Pacífico, Depresión del Balsas, Planicie Costera del Noroeste y el Valle de Tehuacán, y comprende cinco principales especies: *Pachycereus pringlei*, *Pachycereus pecten-aboriginum*,

Pachycereus grandis, *Pachycereus tepamo* y *Pachycereus weberi* (Arias y Terrazas, 2009).

El *Pachycereus pringlei*, nombrado como cardón pelón por los habitantes de la zona, es endémico del noroeste de México, se distribuye principalmente en la Península de Baja California, en algunas Islas del Pacífico, Islas del Golfo de California y Sonora (Fig. 1A) (Dávila-Aranda et al., 2018); es una de las especies columnares y arborescentes más predominante en el paisaje desértico, siendo una de sus características la longevidad pues algunos individuos han logrado sobrevivir de dos a tres siglos y crecen en comunidades vegetales llamadas “cardonales” (Niklas et al., 1999). El cardón es una de las cactáceas más representativa de los desiertos de la Península de Baja California (Fig. 1B).

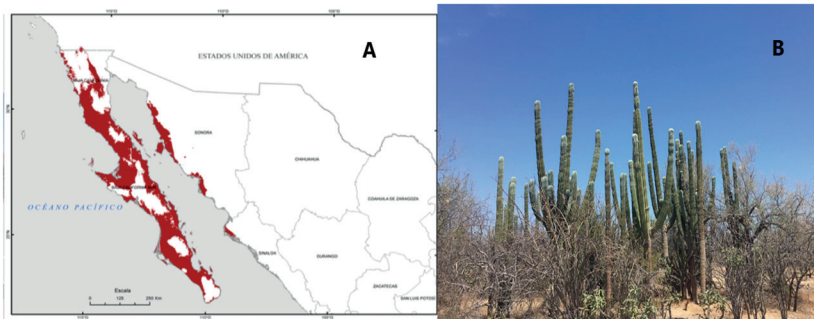


Figura 1. La especie *Pachycereus pringlei* o cardón pelón. A) Distribución potencial del cardón; datos del catálogo de metadatos geográficos de la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (Dávila-Aranda et al. 2018). B) Son los “árboles”, los gigantes columnares quedan vida al paisaje de la península de Baja California desde Cabo San Lucas hasta Ensenada.

Importancia socio ecológica del cardón

Los cardones proveen de diversos servicios ecosistémicos, esto es, gracias a su presencia obtenemos beneficios de ellos, y la pérdida de estos gigantes del desierto afectaría las dinámicas sociales, ecológicas y económicas que existen alrededor de ellos.

La distribución biogeográfica del cardón tiene una interacción no efímera con su entorno, por ejemplo, los pueblos originarios de la península como los pericúes, los cochimíes y los guaycuras

usaban el cardón y sus frutos con fines medicinales, ritualísticos y alimenticios: la pulpa del cardón la utilizaban como analgésico y para la desinfección de heridas menores; el fruto, conocido como pitaya, lo consumían fresco y usaban las semillas en la elaboración de harinas para la temporada invernal ya que estas comunidades eran nómadas y recolectoras (Clavijero, 2007).

En comunidades rurales, actualmente usan la corteza seca para manufacturar muebles, cercos y artesanías. Debido a que el cardón sigue teniendo usos culturales e identitarios, resultan muy importantes los esfuerzos por conservarlo.

Los cardones, los “árboles” de la península, brindan refugio y alimento para la fauna local, así como para la fauna migratoria, como aves, mamíferos, arácnidos y reptiles (Rodríguez-Estrella, 2006; Delgado-Fernández et al., 2017). También, los cardones junto con otras cactáceas

contribuyen a la estabilidad del suelo porque al formar redes con sus raíces evitan la erosión y se mejora la captación de agua. Entonces, los cardones, al mantener múltiples interacciones tanto con la fauna como con la comunidad microbiológica característica de estos suelos áridos, forman parte de un conjunto de factores que evitan la desertificación y permiten que las comunidades sobrevivan (López y Bacilo, 2020). Además, el cardón también tiene un valor paisajístico, ya que en el cardonal es donde ocurre el flujo de materia y energía; también tiene un valor estético dentro del paisaje, con mayores beneficios sociales como la recreación y la generación de turismo alternativo (Fig. 2).

Importancia biológica y genética

Debido a su importancia para la región, esta especie se ha estudiado también como modelo biológico y genético.

En este sentido, de la especie *P. pringlei* se cuenta

con más estudios que de la *P. pecten-aboriginum*, esto quizá debido a su mayor distribución en la península y porque presenta otros rasgos biológicos interesantes desde el punto de vista reproductivo y evolutivo, como el trimorfismo sexual y la poliploidía. El trimorfismo se refiere a que en una población existen plantas masculinas, femeninas y hermafroditas (plantas que tienen los órganos reproductivos funcionales de los dos sexos, masculino y femenino), característica que se había

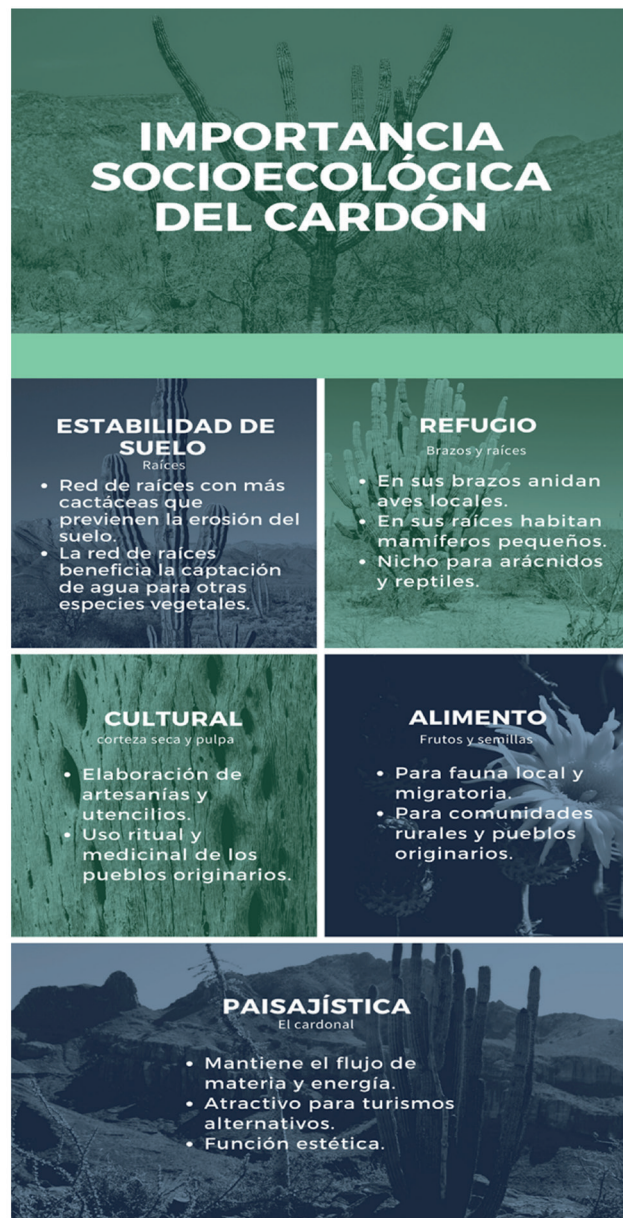


Figura 2. Te imaginas ¿qué sería de la península sin estos emblemáticos gigantes del desierto?

observado en algunos miembros del género *Opuntia* (Fleming *et al.*, 1998). La poliploidía se presenta cuando existe un incremento en el número de cromosomas, por lo cual ocurre un aislamiento reproductivo de la especie. Así, se ha observado que en la región se presentan dos tipos de poblaciones con una distribución muy diferenciada: los tipos diploides que se encuentran en las islas Catalina y Cerralvo, y los tetraploides que se encuentran en la península de California y Sonora (Gutiérrez-Flores *et al.*, 2018).

Además, esta especie ha despertado el interés en conocer y elucidar los mecanismos genéticos para hacer frente al estrés por sequía, por lo que empleando diversos análisis de secuenciación de nueva generación se han identificado genes que se expresan bajo este estrés abiótico, encontrando que algunos genes son inducidos en las células diferenciadas de la raíz en cualquier condición de crecimiento, esto aún sin experimentar déficit hídrico (Rodríguez-Alonso *et al.*, 2018).

Cactáceas en peligro de extinción

Los rasgos biológicos, moleculares, morfológicos y genéticos han hecho a estos organismos vigorosos y adaptados a las condiciones evolutivas. Sin embargo, un gran número de especies de cactus se consideran bajo amenaza o en peligro de extinción (Ortega-Baes *et al.*, 2010; Goettsch *et al.*, 2015); estudios posteriores determinaron la prioridad de conservación, por lo que actualmente todas las cactáceas están depositadas en la lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), y el 31% se encuentra en estatus de riesgo (Goettsch, *et al.*, 2019).

Recientemente en la península se realizó una investigación donde evalúan el efecto del cambio climático en cactáceas, sus resultados revelan un horizonte preocupante para las cactáceas ya que el número de especies amenazadas en un futuro puede

aumentar (Benavides *et al.*, 2020). *P. pringlei* y *P. pecten* aún no se encuentran en estatus de riesgo, pero sí el saguaro (*Carnegiea gigantea*) cuyo hábitat es también el desierto sonorense. Por lo que, independientemente de los niveles de peligro de la especie, existen diversos factores bióticos, abióticos y antropogénicos que exponen a las poblaciones de cualquier comunidad vegetal. Por un lado, los factores abióticos más influyentes en una población de cardones serían las sequías y las alteraciones atípicas atribuidas al cambio climático.

Los efectos antropogénicos son derivados de la transformación de los desiertos a campos para la agricultura y la ganadería, la conversión de tierras para desarrollo residencial y comercial, la introducción de especies exóticas y el saqueo de ejemplares (Novoa *et al.*, 2019). Dentro de los factores bióticos más importantes están la presencia de plagas y patógenos que causan

enfermedades, por lo que, para establecer si una especie está en peligro, se consideran criterios como: estudios demográficos, especificidad ambiental a través del tiempo y la presencia de insectos y patógenos que pueden ocasionar daño a la planta (Jiménez-Sierra *et al.*, 2011; Bravo-Aviles *et al.*, 2019).

Estudios demográficos y especificidad en *P. pringlei*

Para determinar el riesgo de extinción del cardón en la Península de Baja California, se han realizado estudios sobre la estructura y dinámica poblacional en La Paz (al sur de la península) y únicamente para la especie *P. pringlei*. Los resultados indican que la población es dominada por cardones jóvenes, que aún no han llegado a la edad reproductiva; su evaluación a través del tiempo por un periodo de 10 años, indica que la mortalidad es más alta en las primeras etapas de vida, por lo que los valores

de reclutamiento son muy bajos. En relación con la interacción con el medio ambiente, se menciona que la precipitación y la temperatura anual no son predictores de la tasa de crecimiento (Seminario, 2020); otro factor interesante a evaluar son las especies asociadas al crecimiento y desarrollo del cardón, ya que en otras especies de cactáceas es común el nodricismo, esto es, aquellas cactáceas que crecen bajo la sombra de especies más altas, tienen mayor probabilidad de llegar a la etapa adulta porque la especie de mayor altura provee de humedad, sombra y protección contra la sequía, siendo un parámetro importante para los cactus en su etapa más vulnerable.

Factores bióticos que afectan al cardón

Los factores bióticos que pudieran afectar las poblaciones de cardón han sido expuestos de manera aislada pero no como un concepto de estrategia fitopatológica, por lo tanto, debe haber un manejo integral de posibles problemas de afectación de las poblaciones. En este sentido, Bashan *et al* (1995), observaron un fenómeno en el cardón y lo denominaron Síndrome del decaimiento, el cual inicia con síntomas como un círculo alrededor del brazo que afecta el meristemo apical y con el paso del tiempo tiende a secarse, se cae y deja lo que se conoce como aplanamiento apical, sin agente causal conocido (Fig. 3). Holguín *et al* (2012), caracterizaron la enfermedad de la pudrición apical del tallo, donde identificaron al hongo *Bionectria sp*, como el agente causal de la enfermedad. Los síntomas observados fueron necrosis en los brazos, putrefacción, oscurecimiento de espinas maduras y exudados gomosos de color rojo y marrón (Fig. 3). Con respecto a la presencia de insectos, Maya *et al* (2011), observaron la presencia del picudo del agave *Schypophorus acupunctatus* en *P. pringlei*, y asociaron las lesiones tipo horadación a la actividad de las larvas. En este punto es importante mencionar que, para

realizar un diagnóstico de la salud de la especie, la información es insuficiente, especialmente si se consideran los criterios para determinar un estatus fitosanitario de las poblaciones como: caracterización y diferenciación de la población, cuadro de inspección de las posibles enfermedades, desordenes abióticos, supervisión técnica, sistemas de monitoreo, dinámica en el tiempo y la aplicación del protocolo debe ser realizado en diferentes regiones.



Figura 3. Algunas alteraciones de tipo biótico en los cardonales de La Paz, se observan daños como aplanamiento apical y necrosis entre los brazos.

El estado fitosanitario actual del cardón en BCS

Las observaciones realizadas del cardón a lo largo de la península han permitido establecer que presentan afecciones de gran importancia cualitativa y cuantitativa. Además, si consideramos la información reportada sobre el reducido número de ejemplares que alcanzan la etapa adulta, resulta indispensable desarrollar estudios sobre el estatus fitosanitario de estos gigantes columnares. Las etiologías generalmente son complejas ya que al debilitarse el cardón puede ser atacado por otros patógenos o insectos, de ahí, la necesidad e importancia de generar investigación fiable sobre la etiología de los eventos

patológicos porque un reconocimiento, un diagnóstico fiable y oportuno permitirán generar estrategias de control efectivas.

Bajo estas premisas, el grupo de fitopatología del CIBNOR (Fig. 4) ha encaminado sus esfuerzos en realizar trabajos de investigación para conocer el estatus fitosanitario de *P. pringlei*.

En el 2016, se realizó la primera investigación en un área considerada como reserva ecológica en el Comitán, La Paz, Baja California Sur; el trabajo de investigación de campo tuvo la finalidad de establecer patrones de afecciones fisiológicas, análisis de patometría (incidencia y severidad), mientras que en el laboratorio de fitopatología se realizó la identificación por métodos microbiológicos y moleculares de posibles patógenos asociados a las alteraciones bióticas, como producto se obtuvo una tesis de licenciatura de la estudiante María José Vázquez Moreno, de la Universidad Autónoma

de Querétaro (Vázquez Moreno, 2018). Los resultados de la investigación indican que el total de la población observada presenta alguna afección de tipo biótico según los patrones establecidos, es decir, no se encontró ningún cardón sano en la superficie muestreada.

Además, se logró establecer la primera escala para el análisis de la severidad de los síntomas asociados a este modelo biológico. El síntoma con mayor severidad fue el de cancro y se identificaron cinco agentes etiológicos. Este trabajo se presentó en el XIX simposio Nacional de Parasitología Forestal, con la investigación de Inventario Fitopatológico de las Cactáceas *Pachycereus pringlei* y *Pachycereus pecten-aboriginum* en BCS.



Figura 4. Grupo de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (2018), al estudio de las enfermedades ocasionadas por agentes patógenos en cardones de la Península de Baja California.

Primer acercamiento nacional tripartito CIBNOR, COLPOS, CONAFOR

Los trabajos de investigación y de evaluación del estatus fitosanitario de las cactáceas columnares interesaron a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y al Dr. Dionicio Alvarado Rosales del Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS), quienes también habían observado patrones de afecciones bióticas en cactáceas columnares, en diferentes áreas del país. Por lo que en el 2018 solicitaron al grupo de

fitopatología la organización del Primer Taller Nacional de Escalas de Evaluación de Daño en Cactáceas Columnares, con sede en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR). Este Taller se impartió a las personas que fungen como Enlace de Sanidad Forestal de la CONAFOR, institución especializada en la detección y control de problemas forestales. Acudieron 30 participantes provenientes de 15 estados de nuestro país: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Nuevo León, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas. Cabe destacar que se contó con la participación y apoyo del Dr. Alvarado del COLPOS.

El objetivo del Taller fue la homologación de escalas y criterios de afecciones en cactáceas columnares, obtenidos por el grupo de fitopatología, para que los Enlaces Estatales de Sanidad Forestal contaran con los

instrumentos necesarios en la evaluación de las afecciones en cactáceas columnares en todos los estados del país que presenten esta problemática. Los resultados de este Taller evidenciaron la necesidad de conocer el estado fitosanitario y la dinámica de la enfermedad en sus dos dimensiones: espacio-temporal.

Debido a la importancia del tema de la sanidad de los cardones y su estado fitosanitario, se le ha dado difusión nacional en diversos medios digitales de comunicación (Fig. 5). (<https://www.gob.mx/conafor/es/articulos/la-cura-del-gigante?idiom=es>) <https://www.cronica.com.mx/notas/2018/1086648.html>).



Figura 5. Primer Taller Nacional “Escalas de Evaluación de Daños en Cactáceas Columnares”, participando el CIBNOR como anfitrión y sede, el Colegio de Postgraduados y enlaces estatales de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

Armando el “rompecabezas”

La información generada hasta el momento por el Grupo de Fitopatología, son piezas clave para armar este complicado rompecabezas relacionado con la fitosanidad de los cardones.

Es un trabajo arduo y complejo, y seguimos en la búsqueda de estrategias que nos permita contribuir en la salvación de estos gigantes columnares. De momento, nuestro grupo sigue explorando nuevos horizontes de investigación como, nuevos métodos de muestro y monitoreo, análisis de patrones y escalas diagramáticas para la evaluación de daños fitosanitarios, ajuste de métodos moleculares de diagnóstico y la implementación de técnicas de metagenómica para el análisis de la diversidad

microbiológica. Sin embargo, la información reunida hasta la fecha, representa un importante avance para seguir armando el rompecabezas y que sin duda se robustecerá con un adecuado sistemas de monitoreo que permita la evaluación y avance del problema a través del tiempo que nos permita implementar adecuadas medidas de prevención y control de las enfermedades que afectan a los cardones.

Consideraciones finales y perspectivas

Sin duda, nuestra área de estudio de las enfermedades del cardón contribuye en el desarrollo de conocimiento, estrategias de manejo y en mantener a salvo a esta especie tan importante desde el punto de vista biológico, genético y cultural. Armar este rompecabezas puede llegar a ser un desafío, pero la conservación de las cactáceas es fundamental para el medio ambiente, ya que aportan estabilidad y contribuyen a la

disminución de los daños climáticos que afectan al mundo. Además, son nuestros “árboles” y un regalo de México para el mundo; la suma de fuerzas académicas e institucionales permitirá cumplir con este objetivo de armar el rompecabezas del estatus fitosanitario del cardón.

Agradecimientos

Al personal del laboratorio de Fitopatología (CIBNOR): M en D. Martín Aguilar García, de Hidrobiología: Sofía Ramos Galván, a los estudiantes de maestría (CIBNOR): IBQ. Omar Aranda López e IBQ. Ricardo Hernández Barrera, al Ing. Agrónomo Ramsés Geraldo Hirales (Universidad Autónoma de Baja California Sur), a los estudiantes de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico de La Paz: Isaac Lieras Medina y Ninfa Mahely Araiza Agúndez. Al DG. Gerardo Hernández García por el diseño gráfico editorial, imagenes portada Ruben Andrade para este artículo.

Bibliografía

- Applequist, W.L., y R.S. Wallace. 2001. *Phylogeny of the portulacaceous cohort based on ndhF sequence data*. Systematic Botany 26(2): 406-419.
- Arias, S. y T. Terrazas. 2009. *Revisión taxonómica de Pachycereus (Cactaceae)*. Systematic Botany 34: 68-83.
- Bárcenas, R.T., C. Yesson y J.A. Hawkins. 2011. *Molecular systematics of the Cactaceae*. Cladistics 27(5): 470-489.
- Bashan, Y., G. Toledo y G. Holguín. 1995. *Flat top decay syndrome of the giant cardón cactus (Pachycereus pringlei): description and distribution in Baja California Sur, Mexico*. Canadian Journal of Botany 73(5): 683-692.
- Benavides, E., A. Breceda y J.D. Anadón. 2021. *Winners and losers in the predicted impact of climate change on cacti species in Baja California*. Plant Ecology 222: 29-44.
- Bravo-Avilez, D., J.A. Zavala-Hurtado y B. Rendón-Aguilar. 2019. *Damage in Cactaceae, their geographic distribution and new evidences*. Botanical Sciences 97(4): 551-567.
- Clavijero, F.X. 2007. *Historia de la Antigua o Baja California*. (5ª Ed). Porrúa. México, D.F. 243 pp.
- Dávila-Aranda, P. D., R. X. Álvarez-Espino, M. Arenas-Navarro, A. V. González-Romero, C. Miguel-Talonia, A. L. Silva-Galicia, O. Téllez-Valdés. 2018. *Catálogo de metadatos geográficos*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Edwards, E.J., y R.M. Ogburn. 2012. *Angiosperm responses to a low-CO2 world: CAM and C4 photosynthesis as parallel evolutionary trajectories*. International Journal of Plant Sciences 173(6): 724-733.
- Fleming, T.H., S. Maurice y J.L. Hamrick. 1998. *Geographic variation in the breeding system and the evolutionary stability of trioecy in Pachycereus pringlei (Cactaceae)*. Evolutionary Ecology 12(3): 279-289.
- Geydan, T.D. y L.M. Melgarejo. 2005. *Metabolismo ácido de las crasuláceas*. Acta Biológica Colombiana 10(2): 3-15.
- Gibson, A.C. y P.S. Nobel. 1986. *The cactus primer*. Harvard University Press.
- Goettsch, B., C. Hilton-Taylor, G. Cruz-Piñón, J.P. Duffy, A. Frances, H.M. Hernández y K.J. Gaston. 2015. *High proportion of cactus species threatened with extinction*. Nature Plants 1(10): 1-7.
- Goettsch, B., A.P. Durány K.J. Gastón. 2019. *Global gap analysis of cactus species and priority sites for their conservation*. Conservation Biology 33(2): 369-376.
- Guerrero, P.C., L.C. Majure, A. Cornejo-Romero y T. Hernández-Hernández. 2019. *Phylogenetic relationships and evolutionary trends in the Cactus family*. Journal of Heredity 110(1): 4-21.
- Gutiérrez-Flores, C., J.L. León-de la Luz, F.J. García-De León y J.H. Cota-Sánchez. 2018. *Variation in chromosome number and breeding systems: implications for diversification in Pachycereus pringlei (Cactaceae)*. Comparative Cytogenetics 12(1): 61.
- Hernández-Hernández, T., H.M. Hernández, J.A. De-Nova, R. Puente, L.E. Eguiarte y S. Magallón. 2011. *Phylogenetic relationships and evolution of growth form in Cactaceae (Caryophyllales, Eudicotyledoneae)*. American Journal of Botany 98(1): 44-61.
- Hernández-Hernández, T., J.W. Brown, B.O. Schlumpberger, L.E. Eguiarte y S. Magallón. 2014. *Beyond aridification: multiple explanations for the elevated diversification of cacti in the New World Succulent Biome*. New Phytologist 202(4): 1382-1397.
- Holguín-Peña, R.J., L.G. Hernández-Montiel, H. Latisnere y E.O. Rueda-Puente. 2012. *First report of a Bionectria sp. associated with a stem rot of cardon cactus (Pachycereus pringlei) in Baja California Sur, Mexico*. Plant Disease 96(2): 292-292.
- Hunt, D.R. 2006. *The new Cactus Lexicon*. DH Books, Milborne Port.
- Jiménez-Sierra, C.L. 2011. *Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan*. Revista Digital Universitaria 12:3-22
- López, B.R. y M. Bacilio. 2020. *Weathering and soil formation in hot, dry environments mediated by plant-microbe interactions*. Biology and Fertility of Soils 56(4): 447-459.
- Maya, Y., C. Palacios-Cardiel y M. Jiménez. 2011. *El cardón Pachycereus pringlei, nuevo hospedero para Scyphophorus acupunctatus (Coleoptera: Curculionidae) en Baja California Sur, México*. Revista Mexicana de Biodiversidad 82(3): 1041-1045.

- Niklas, K.J., F. Molina-Freaner y C. Tinoco-Ojanguren. 1999. *Biomechanics of the columnar cactus Pachycereus pringlei*. American Journal of Botany 86(6): 767-775.
- Novoa, A., G. Brundu, M.D. Day, V. Deltoro, F. Essl, L.C. Foxcroft y J.R. Wilson. 2019. *Global actions for managing cactus invasions*. Plants 8(10): 421.
- Nyffeler, R. y U. Eggli. 2010. *A farewell to dated ideas and concepts: molecular phylogenetic and a revised suprageneric classification of the family Cactaceae*. Schumannia 6: 109-149.
- Ortega-Baes, P. y H. Godínez-Álvarez. 2006. *Global diversity and conservation priorities in the Cactaceae*. Biodiversity & Conservation 15(3): 817-827.
- Turner, R.M., J.E. Bowers y T.L. Burgess. 2005. *Sonoran Desert plants: an ecological atlas*. University of Arizona Press.
- Ortega-Baes, P., S. Sühling, J. Sajama, E. Sotola, M. Alonso-Pedano, S. Bravo y H. Godínez-Álvarez. 2010. *Diversity and conservation in the cactus family*. En: Ramawat, K. (Ed.) Desert plants: biology and biotechnology. Springer. Berlin, Heidelberg. 157-173.
- Rodríguez-Alonso, G., M. Matvienko, M.L. López-Valle, P.E. Lázaro-Mixteco, S. Napsucialy-Mendivil, J.G. Dubrovsky y S. Shishkova. 2018. *Transcriptomics insights into the genetic regulation of root apical meristem exhaustion and determinate primary root growth in Pachycereus pringlei (Cactaceae)*. Scientific Reports 8(1): 1-11.
- Vázquez Moreno, M.J. 2018. *Estudio microbiológico y molecular de las alteraciones fisiológicas presentes en el cardón Pachycereus pringlei en la región de El Comitán, La Paz B.C.S.* Licenciatura. México.

Imágen: Ruben Andrade (CIBNOR) FO-08, FO-01 DIA 05, FO-11 .jpg

Cita de artículo:

Holguín Peña R.J., M. J. Vázquez Moreno, M. Vargas Salinas, E. O. Rueda Puente, R. Aldaco Magaña, D. Alvarado Rosales y D. Medina Hernández. 2021. Resolviendo el rompecabezas para conocer el estatus fitosanitario del cardón de la Península de Baja California. Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (3): 115-127. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.03.0009>

Sometido: 19 de mayo de 2021

Revisado: 07 de junio de 2021

Aceptado: 18 de julio de 2021

Editor asociado: Dr. David Raúl López Aguilar

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández