

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

UN RECORRIDO
DESDE **LA PALEONTOLOGÍA**
HASTA **LA BIOTECNOLOGÍA**
EN EL DESIERTO



Martha Patricia Olivas Sánchez
Sandra Pérez Álvarez
María de Jesús Viloría Beltrán
(coordinadoras)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Juan Ignacio Camargo Nassar

Rector

Daniel Constandse Cortez

Secretario General

Salvador David Nava Martínez

Director del Instituto de Ciencias Biomédicas

Jesús Meza Vega

Director General de Comunicación Universitaria

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

UN RECORRIDO
DESDE **LA PALEONTOLOGÍA**
HASTA **LA BIOTECNOLOGÍA**
EN EL DESIERTO

Martha Patricia Olivas Sánchez
Sandra Pérez Álvarez
María de Jesús Viloría Beltrán
(coordinadoras)

DR © Martha Patricia Olivas Sánchez, Sandra Pérez Álvarez y María de Jesús Viloria Beltrán (por coordinación)

© Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Avenida Plutarco Elías Calles 1210
Fovissste Chamizal, C. P. 32310
Ciudad Juárez, Chihuahua, México
Tels. +52 (656) 688 2100 al 09

Un recorrido desde la paleontología hasta la biotecnología en el desierto / Martha Patricia Olivas Sánchez, Sandra Pérez Álvarez, María de Jesús Viloria Beltrán (Coordinadoras).— Primera edición. — Ciudad Juárez, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2023.— 186 páginas; 22 centímetros.

ISBN: 978-607-520-457-4

Contenido: Presentación.—Estructura del libro.—Sección de paleontología.— Registro sistemático de un contexto paleontológico con huellas de dinosaurio: el sitio Las Águilas, General Cepeda, Coahuila / José Antonio Reyes Solís, Felisa Josefina Aguilar Arellano.— Los pastizales: un viaje del Pleistoceno a la actualidad / Iván E. Sánchez-Urbe, Héctor E. Rivera-Sylva, José Rubén Guzmán-Gutiérrez.— Entendiendo los procesos ecológicos y evolutivos de la biodiversidad en la península de Baja California: una aproximación genética.— Presencia de cánidos en contextos arqueológicos en el norte de Sonora/ Carlos Cruz Guzmán, Silvia Ivet Nava Maldonado.— Sección biología / Martha Patricia Olivas Sánchez.— Escarificación y multiplicación in vitro del huizache / Crescencio Urías García, Sandra Pérez Álvarez, Lorena Patricia Licón Trillo, César Octavio Licón Trillo.— Potencial de distribución espacial en Chihuahua del goji americano (*Lycium berlandien*) y sus propiedades nutricionales / Martha Patricia Oliva Sánchez, Claudia Martínez Vázquez, Edgar Palacios Quiñonez, José Daniel Carrera Muñoz, Miroslava Quiñonez Martínez, Cuauhchuatl Vital García, Pablo Antonio Lavín Murcio, Irma Delia Enríquez Anchondo, Laura Aldama Meza, Raymundo Rivas Cáceres.— Extracción de cera candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc) de alta calidad en Coahuila, México / David Jonathan Lara Reimers, Eduardo Pacheco Rodríguez, Diana Uresti Durán.— Uso del propóleo como conservador de alimentos / Nubia Morales, Gissel Méndez-Ramírez, Luis Carrera, Rubén Herrera y Cairo, María Viloria.

Paleontología – Zonas áridas Norte de México
Arqueología – Zonas áridas Norte de México
Recursos bióticos – Zonas áridas Norte de México
Aprovechamiento biotecnológico – Zonas áridas Norte de México

LC – GB618.16 U57 2023

La edición, diseño y producción editorial de este documento estuvieron a cargo de la Dirección General de Comunicación Universitaria, a través de la Subdirección de Editorial y Publicaciones.

Coordinación editorial:

Mayola Renova González

Cuidado editorial:

Subdirección de Editorial y Publicaciones

Diseño de portada y diagramación:

Karla María Rascón

Imagen de portada:

Modificada de Pavel Galván, Paleoart and & Scientific illustration



Primera edición, 2023

Disponible en: elibros@uacj.mx

Índice

Presentación.....	7
Estructura del libro.....	8

Sección de paleontología

María de Jesús Viloria Beltrán.....	11
-------------------------------------	----

CAPÍTULO 1

Registro sistemático de un contexto paleontológico con huellas de dinosaurio: el sitio Las Águilas, General Cepeda, Coahuila

José Antonio Reyes Solís, Felisa Josefina Aguilar Arellano	13
--	----

CAPÍTULO 2

Los pastizales: un viaje del Pleistoceno a la actualidad

Iván E. Sánchez-Urbe, Héctor E. Rivera-Sylva, José Rubén Guzmán-Gutiérrez ..	43
--	----

CAPÍTULO 3

Entendiendo los procesos ecológicos y evolutivos de la biodiversidad en la península de Baja California: una aproximación genética

Francisco Javier García-de León	61
---------------------------------------	----

CAPÍTULO 4

Presencia de cánidos en contextos arqueológicos en el norte de Sonora

Carlos Cruz Guzmán, Silvia Ivet Nava Maldonado.....	83
---	----

Sección de biología

Martha Patricia Olivas Sánchez 97

CAPÍTULO 5

Ecología de *Echinocactus horizontalonius* (Cactaceae) dentro de la sierra Presidio, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

José Valero-Galván, José María Arguijo-Núñez, Raquel González-Fernández.... 99

CAPÍTULO 6

Ascolíquenes de las comunidades vegetales del área natural protegida Médanos de Samalayuca, municipio de Juárez, Chihuahua

Rocío Alejandra Zúñiga González, Irma Delia Enríquez Anchondo, Martha Patricia Olivas Sánchez, Miroslava Quiñónez Martínez 113

Sección de biotecnología

Sandra Pérez Álvarez 131

CAPÍTULO 7

Escarificación y multiplicación *in vitro* del huizache

Crescencio Urías García, Sandra Pérez Álvarez, Lorena Patricia Licón Trillo, César Octavio Licón Trillo 133

CAPÍTULO 8

Potencial de distribución espacial en Chihuahua del goji americano (*Lycium berlandieri*) y sus propiedades nutricionales

Martha Patricia Olivas Sánchez, Claudia Martínez Vázquez, Edgar Palacios Quiñónez, José Daniel Carrera Muñoz, Miroslava Quiñónez Martínez, Cuauhcihuatl Vital García, Pablo Antonio Lavín Murcio, Irma Delia Enríquez Anchondo, Lauro Aldama Meza, Raymundo Rivas Cáceres 149

CAPÍTULO 9

Extracción de cera de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) de alta calidad en Coahuila, México

David Jonathan Lara Reimers, Eduardo Pacheco Rodríguez, Diana Uresti Durán 159

CAPÍTULO 10

Uso del propóleo como conservador de alimentos

Nubia Morales, Gissel Méndez-Ramírez, Luis Carrera, Rubén Herrera y Cairo, María Vilorio 175

Presentación

Durante milenios los desiertos del norte de México (península californiana, desierto de Sonora y gran Desierto Chihuahuense) han albergado diversas culturas y formas de vida que han dejado rastros de su existencia, arqueológicos y paleontológicos, y aún siguen siendo sustento y hábitat de grupos humanos, de animales y plantas que se han adaptado a las condiciones de escasez de agua, alta velocidad del viento, aridez y temperaturas extremas, características de las zonas áridas. En este panorama, los desiertos norteños trascienden como regiones prioritarias para su restauración y conservación, en los cuales se realizan proyectos particulares que tienen como objeto de estudio a los organismos de épocas pasadas y el estado actual ambiental y ecológico de la vida que en él habita, sumando una visión del aprovechamiento de los recursos.

El presente libro es un esfuerzo conjunto de investigadores que han concentrado su atención en el conocimiento científico de la paleontología, arqueología, biología y biotecnología del Desierto Chihuahuense, del desierto de Sonora, así como del Desierto de la península de Baja California. Los trabajos aquí presentados son resultado de investigaciones en estas áreas de estudio, algunas de las cuales fueron compartidas en el IV Coloquio Internacional de las Culturas del Desierto en otoño del año 2020, evento reconocido y apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), organizado por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y los participantes en la Red Multidisciplinaria de Estudios del Desierto.

Estructura del libro

Esta obra está estructurada en tres secciones: sección de paleontología y arqueología, sección de biología y sección de biotecnología, todas conformadas por capítulos que buscan reflejar una muestra del estado del arte sobre los estudios de las formas de vida en las zonas áridas del norte mexicano, en un tiempo muy lejano y el en tiempo actual. El propósito de esta obra tiene como hilo conductor brindar un recorrido desde la paleontología y arqueología, seguido de un análisis del estado actual de algunos recursos bióticos del desierto, hasta su aprovechamiento biotecnológico.

La primera sección del libro tiene cuatro capítulos sobre investigaciones paleontológicas y arqueológicas realizadas en los estados de Coahuila, Sonora, Baja California y Chihuahua. El orden de aparición de los capítulos en esta sección es con base en una cronología paleontológica. El capítulo 1 es un estudio sobre huellas de dinosaurio del sitio Las Águilas, en General Cepeda, Coahuila. El trabajo se realizó en un área del noreste del Desierto Chihuahuense, conocido y distinguido por la diversidad de megafauna que se ha encontrado en este sitio. Se aporta una valiosa descripción sobre técnicas empleadas en arqueología, relacionadas con la intervención y registro sistemático de sitios arqueológicos que pueden aplicarse en contextos paleontológicos, en este caso, con huellas. El capítulo 2 es una investigación retrospectiva sobre el papel de los pastizales en el Pleistoceno en el Desierto Chihuahuense, en relación con el sostenimiento de especies y la cadena alimenticia de la megafauna mexicana. El capítulo 3 presenta un estudio sobre los procesos ecológicos y evolutivos de la biodiversidad del Desierto de la península de Baja California, basándose en la investigación genética. En este trabajo se pudieron establecer patrones filogeográficos de taxones observados y se determinó que esto es respuesta a algunas explicaciones alternativas.

En el contexto arqueológico se incluyó el capítulo 4, que expone los resultados de investigaciones de excavaciones en el noroeste del desierto de Sonora, con identificación de la presencia de cánidos en diferentes contextos arqueológicos.

La segunda sección versa acerca de investigaciones realizadas en el campo de la biología. La conforman dos capítulos de estudios realizados en el estado de Chihuahua, en el área de Samalayuca. El capítulo 5 es un trabajo sobre la ecología del cactus *Echinocactus horizonthalonius* en la sierra Presidio, que muestra datos sobre la estructura y densidad de las poblaciones de esta especie, así como análisis morfométricos e índices de germinación. El capítulo 6 es un estudio de distribución poblacional de ascolíquenes, realizado en el área natural protegida Médanos de Samalayuca, que describe el hábitat y ubicaciones de 18 especies de ascolíquenes.

La tercera sección comprende cuatro capítulos, los cuales muestran a la biotecnología como una herramienta para el aprovechamiento de los recursos del desierto con resultados satisfactorios. El capítulo 7 es un estudio sobre multiplicación *in vitro* del huizache, que describe diferentes tratamientos de escarificación, teniendo como parámetro métrico la geminación *in vitro*. El capítulo 8 describe una serie de investigaciones sobre la planta *Lycium berlandieri* con el propósito de evaluar el uso potencial del fruto con el fin de elaborar alimentos funcionales y suplementos alimenticios. Además, en este capítulo se muestra la posibilidad de distribución espacial de la especie en zonas de matorral desértico del estado de Chihuahua, cercanas a afluentes acuíferas. El capítulo 9 establece un método de extracción de cera de la planta la candelilla proveniente de Coahuila. En este trabajo se evaluaron diversos factores de aprovechamiento y extracción de la cera, desde la recolección de las plantas maduras hasta el proceso de extracción del cerote, con alternativas ambientales más amigables, que proveen mejores condiciones laborales a los trabajadores de la candelilla. El capítulo 10 es un estudio experimental sobre el propóleo de mezquite del noroeste de Chihuahua, del cual se ha encontrado que puede ser útil como conservador de alimentos elaborados con cereales, lo que representa una alternativa natural al benzoato de sodio.

Esta publicación está dirigida a un público especializado en tres grandes disciplinas: la paleontología, la biología y la biotecnología, y tiene un lenguaje accesible y con un enfoque hacia el aprovechamiento sustentable del Desierto Chihuahuense. También tiene potencial didáctico para estudiantes de pregrado y posgrado, por la descripción de los métodos y conceptos que son compartidos en los capítulos.

Esta obra se considera una compilación única en su género, pues acorde con la visión de la Red Multidisciplinaria de Estudios del Desierto, en ella se reúnen trabajos realizados en tres desiertos del norte de México (península californiana, desierto de Sonora y Desierto Chihuahuense), por investigadores de diversas instituciones de investigación científica y tecnológica como son el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), el Museo del Desierto Chihuahuense (MUDECH), el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR); el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Además, esta investigación pretende hacer una aportación al estado de la cuestión sobre estos objetos de estudio, y al mismo tiempo, compartir estos resultados de investigaciones a la mirada de otras disciplinas, de manera que se contribuya a la construcción de un panorama multidisciplinario de los desiertos del norte de México.

Martha Patricia Olivas Sánchez

Sección de paleontología

Tradicionalmente al desierto se le ha relacionado con la escasez de seres vivos debido a la falta de agua, sin embargo, desde tiempos remotos una gran diversidad de organismos se ha adaptado a estas condiciones. En concordancia, la primera parte de este libro se enfoca en investigaciones paleontológicas que dan un panorama de la vida en el desierto desde hace millones de años.

El primer capítulo se centra en el sitio paleontológico Las Águilas, en el estado de Coahuila, donde los autores explican primero la importancia de los estudios paleontológicos con procedimientos adecuados que no destruyan el entorno original, y luego las medidas que se han tomado para preservar ese sitio en el que se han encontrado interesantes huellas de dinosaurios y de fósiles; con lo que se madura una propuesta que permita convertir la zona en un destino turístico, con previo registro en el Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Los autores del segundo capítulo transportan al lector desde la caída del meteorito que provocó la extinción de los dinosaurios, hasta la actualidad. Ellos presentan una descripción de fósiles de mamíferos en los pastizales del Desierto de Chihuahua, haciendo énfasis en especies que pudieron adaptarse y sobrevivir a la última era glacial, como el bisonte y el perrito de la pradera.

En el tercer capítulo se hace una retrospectiva de los desiertos de la península de Baja California, con evaluaciones genéticas de organismos presentes en la actualidad como estrategia para estudiar el pasado, por ejemplo, cómo se originó la biodiversidad de esta zona y cuál ha sido su evolución, asociándolos a los cambios geológicos importantes como la formación del Golfo de California. El autor propone que es importante conocer la naturaleza para poder conservarla y usarla de forma sostenible.

Finalmente, en el capítulo cuarto se presentan las descripciones de algunos restos óseos de cánidos encontrados en diversos contextos arqueológicos, demostrando con ello la importancia no solo de los perros, sino también de otras especies como los coyotes, entre los antiguos pobladores del desierto de Sonora, tanto en su cosmogonía como en la vida diaria.

María de Jesús Viloría Beltrán

CAPÍTULO 1

Registro sistemático de un contexto paleontológico con huellas de dinosaurio: el sitio Las Águilas, General Cepeda, Coahuila

José Antonio Reyes Solís¹
Felisa Josefina Aguilar Arellano²*

Introducción

Para la conocer la historia natural y social de un espacio geográfico hoy en día existen diferentes disciplinas que analizan cada aspecto, según las evidencias o manifestaciones que se encuentran. Así, la paleontología estudia las pruebas de vida que se han preservado en las rocas (fósiles), mientras que la arqueología, analiza las pruebas materiales dejadas por las sociedades humanas del pasado.

La importancia y objetividad de las investigaciones científicas realizadas con restos del pasado, está determinada en gran medida por los datos que se obtienen del campo, los cuales son de vital relevancia al igual que su relación con el contexto que los resguarda, ya que son la única fuente directa de donde se obtienen los testimonios para contrastar las hipótesis que puedan solucionar problemas particulares de cada disciplina. En la mayoría de los trabajos de campo los datos se encuentran condicionados por problemas intrínsecos de su entorno, producto de los procesos de formación de los contextos en los que se localizan

¹ Centro INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia) Quintana Roo. *Autor de correspondencia: jantonio_reyes@inah.gob.mx

² Centro INAH Coahuila

los componentes del pasado. Resulta de gran importancia contemplar dichos procesos de formación, también llamados posdeposicionales (Hodder y Orton, 1976), a la hora de hacer el levantamiento de los datos en campo.

De esta forma, los contextos a los que se enfrentan los especialistas en arqueología y paleontología, contienen una serie de transformaciones que se deben observar con relación a los elementos contenidos en ellos, para poder conocer con más detalle y precisión el momento original en el que fueron depositados. Por lo anterior, el registro adecuado de los componentes del contexto, así como su relación con las condiciones actuales en las que se encuentran, son la parte fundamental para tener las evidencias necesarias que nos puedan acercar con mayor objetividad al entendimiento de una realidad pasada, la cual debe ser explicada con base en las preguntas que se les harán a los componentes del contexto arqueológico o paleontológico.

En el caso de la paleontología, las técnicas de campo dependen de los fósiles, o sea evidencias directas o indirectas de seres vivos que habitaron en el pasado remoto de la Tierra, y de la matriz de roca sedimentaria que los contiene; de ahí la importancia de contemplar datos geológicos del contexto, que ayuden a aclarar los procesos de su formación, lo que se complementa con la *situación* del contexto, geográficamente hablando³ (Wagstaff, 1991). En cuanto a los fósiles, las metodologías específicas dirigidas al manejo, control y recuperación de los elementos encontrados están basadas en el proceso de fosilización, el estrato rocoso portador y el objetivo de investigación.

Particularmente en los fósiles que dan información sobre la actividad de los organismos, también llamados icnofósiles, hay técnicas empleadas para su registro. Los icnofósiles que se pueden encontrar son: nidos, huevos, contenidos estomacales, gastrolitos, excrementos (coprolitos) y huellas; y las técnicas utilizadas para su registro, en el caso de las localidades que se encuentran en México, han privilegiado principalmente la identificación del organismo que las produjo y la temporalidad a la que pertenecen (Servín, 2015).

En el desierto, por la naturaleza del ecosistema, las evidencias arqueológicas y paleontológicas pueden localizarse en los mismos contextos, a pesar de las diferencias temporales entre ellas, incluso de millones de años. Es por eso que en el Centro INAH Coahuila, los especialistas de ambas disciplinas trabajan de manera coordinada para hacer el registro y diferenciar cada uno de estos contextos. De esta forma, se comenzó a reflexionar sobre cómo las técnicas empleadas

en arqueología, relacionadas con la intervención y registro sistemático de sitios arqueológicos, pueden aplicarse en contextos paleontológicos con huellas, con el objetivo de contar con más información asociada al tipo de evidencia durante los trabajos de campo. En el presente trabajo, dirigido al público en general, se da un ejemplo de ello.

Justificación del tema

Sabemos que en México los vestigios tanto arqueológicos como paleontológicos son diversos y abundantes, al igual que los contextos donde se localizan, y que los trabajos realizados para acceder a ellos son llevados a cabo por especialistas en arqueología y paleontología encargados del registro, investigación y conservación de estos. Dichos vestigios comparten en muchos casos la misma área, sin embargo, la temporalidad entre ellos puede variar por muchos años (miles o millones), así como los objetos de estudio. Ambas disciplinas concentran sus trabajos en la recuperación de los restos materiales sin dejar de lado el entorno donde se localizan, y con ello entender la totalidad del contexto y recrear así el medio ambiente y la forma de vida; en el caso de la arqueología se devela a las sociedades humanas pasadas, mientras que en paleontología se descubre y se establecen hipótesis sobre los organismos que existieron en alguna época.

Los primeros estudios, tanto en arqueología como en paleontología, se enfocaban únicamente en los restos materiales, cayendo en el error de valorar la evidencia arqueológica o los restos fósiles sin mayor interés del entorno de donde fueron extraídos. Ello dio como resultado un mero *coleccionismo* de materiales que ampliaba el número de objetos en museos y colecciones, sin que importarla la procedencia de las piezas, las cuales por lo general eran producto de excavaciones realizadas sin control alguno. Todo esto significaba la destrucción de la matriz que resguardaba los elementos materiales, y a su vez, la pérdida de datos indispensables que en el caso de la paleontología significa perder los procesos que se dieron para que esas evidencias quedaran preservadas en la roca, el tipo de organismos representados, así como los posibles ambientes en los cuales habitaron (véase figura 1).

³ Se refiere al contexto general de ubicación, en donde únicamente se reconocen cambios a través del tiempo.

Figura 1. Colección arqueológica y paleontológica de un particular en una comunidad de Coahuila



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2006.

Esta práctica actualmente es considerada como una forma de saqueo y destrucción del patrimonio arqueológico y paleontológico de la nación (Nalda, 1996), por lo que la tendencia anticoleccionista de las investigaciones meramente científicas perfectamente se puede aplicar en la paleontología, en donde el conocimiento del pasado es la parte primordial del trabajo científico de los especialistas, al evitar la simple colecta de restos fósiles sin control alguno, lo que produce una merma de datos que al final conducen al alejamiento de la realidad pasada que las investigaciones paleontológicas pretenden alcanzar.

Aunado a esto, sabemos que el trabajo científico realizado en el levantamiento de datos en campo -tanto en arqueología como en paleontología- implica una destrucción del contexto (Litvak, 1986), ya que una vez retirada la evidencia material del lugar en donde estuvo conservada, se alterarán parcial o totalmente los elementos del medio que los resguardó. Dicha "destrucción" se

debe traducir en información directamente asociada con los restos materiales y con el entorno en que fueron depositados. José Luis Lorenzo (1954) lo menciona de mejor manera en un artículo titulado "Técnica de exploración arqueológica. Empleo de las coordenadas cartesianas, según G. Laplace-Jauretche y L. Meroc", en donde considera que: "todo yacimiento es un documento que se destruye por quien lo lee" (p. 28).

Andrea Carandini (1996) también hace referencia a este tipo de destrucción señalando que: "una excavación equivocada o una remoción destruyen para siempre la evidencia enterrada. Equivale a quemar las páginas del único ejemplar existente de un libro inmediatamente después de su lectura" (p.18).

Barker (1993) menciona en este mismo sentido que "cada sitio arqueológico es en sí mismo un documento. Puede ser leído por un excavador preparado, pero puede ser destruido por los procesos los cuales nos permiten leerlo" (p. 13).

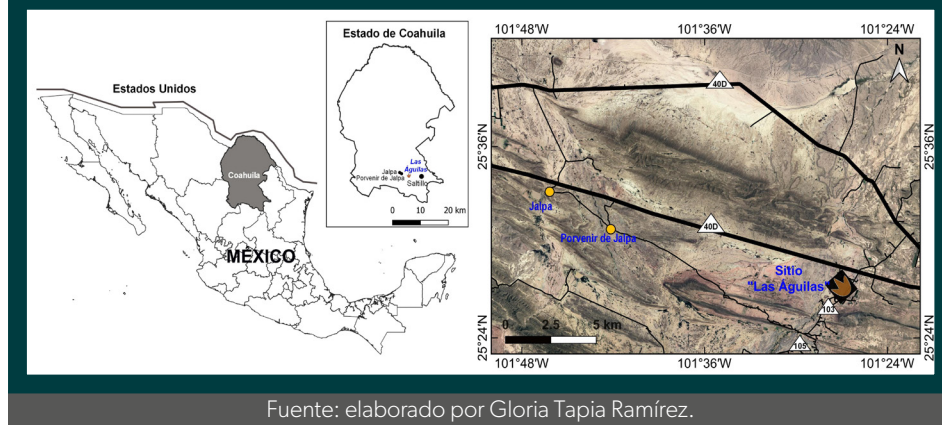
Por tal motivo, es imprescindible la aplicación de procedimientos sistemáticos y controlados al momento de realizar dichos trabajos, que certifiquen un registro exacto del contexto y sus elementos, y permitan "conservar el recuerdo más preciso de la manera en que las cosas se presentaban" (Lorenzo, 1954, p. 28).

Antecedentes

Antecedentes del sitio paleontológico Las Águilas

En el ejido Porvenir de Jalpa, en el municipio de General Cepeda, Coahuila, aproximadamente a 4 km hacia el este de la cabecera (figura 2) se encuentra el sitio paleontológico Las Águilas, nombrado así por el arroyo del mismo nombre cercano a la localidad. En el área afloran estratos de la Formación Cerro del Pueblo, a la que se le ha asignado una temporalidad de aproximadamente 72 millones de años, y corresponde al Cretácico tardío (Eberth et al., 2004).

Figura 2. Ubicación geográfica del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: elaborado por Gloria Tapia Ramírez.

El sitio fue descubierto en 2003 junto con elementos de esqueletos de dinosaurios, peces, tortugas, cocodrilos y tiburones; se estimó su extensión en un área de 400 m de longitud por 2 m de ancho y tiene diversidad de icnitas de dinosaurio (Eberth et al., 2003 y Rodríguez-de la Rosa y otros, 2003). Las investigaciones realizadas hasta el momento de nuestra intervención (2009) incluían: el reporte del hallazgo y un inventario preliminar del contenido fosilífero presentado en dos ponencias en un congreso de paleontología (Eberth et al., 2003 y Rodríguez-de la Rosa et al., 2003); un inventario preliminar de las huellas, dentro de un trabajo que compila los sitios de icnitas en México (Rodríguez-de la Rosa et al., 2004); otro trabajo que solo describe los sitios de huellas de hadrosaurios del estado de Coahuila (Rodríguez de la Rosa, 2007); y por último, un estudio sobre la geología de la región, que incluye una sección estratigráfica realizada en el sitio (Eberth et al., 2004).

Desde su descubrimiento, el área quedó expuesta sin ser sometida a métodos de preservación de los sedimentos, por lo que al ser utilizada como un atractivo turístico de la región sureste el estado de Coahuila ("Tras las huellas..." 2005; Aguilar Arellano, 2006), se ocasionó un deterioro acelerado en una parte del yacimiento debido al crecimiento de la vegetación, a los efectos de la meteorización y a la afectación producida por los visitantes al realizar pisadas directas sobre el sitio; todo esto sin mencionar los daños más graves que se produjeron por la extracción de algunos moldes de las huellas con yeso y resinas de poliuretano (figura 3).

Figura 3. Vaciados recolectados en 2003 durante el descubrimiento de la localidad. Se exhiben en el Museo del Desierto de Saltillo, Coahuila



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2008.

A solicitud de la población del ejido, y como parte del proyecto Protección Técnica y Legal del Patrimonio Paleontológico en Coahuila, de la Sección de Paleontología del Centro INAH Coahuila, una de las recomendaciones para su protección fue delimitar el sitio por una poligonal conformada por una cerca de alambre de púas. El objetivo de esta valla fue impedir el paso de animales, propiedad de la gente del ejido, a la zona donde se pueden observar huellas de dinosaurios (Aguilar Arellano, 2006). Posteriormente, como parte de los trabajos realizados para fomentar la protección, conservación y difusión de los elementos encontrados en el sitio, se construyó un andador en la periferia de la zona de huellas de dinosaurio, el cual impediría el paso de las personas del ejido y de los visitantes hacia el estrato que contiene las improntas fósiles (figura 4).

Figura 4. Andador de madera del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Durante el segundo semestre del año 2008 se presentaron lluvias atípicas en la región, por lo que parte de la zona quedó cubierta con sedimento debido a la cercanía del yacimiento con un arroyo de temporal. De esta forma, se tomó la decisión de realizar una limpieza de la parte sur del andador para valorar el estado de conservación de las huellas y realizar un registro sistemático detallado de cada una de ellas con el cual se pudiera trabajar para la identificación del grupo biológico que dio origen a las mismas. Dichas actividades se realizaron en el verano de 2009.

Método

Limpieza de las huellas de dinosaurio⁴

El primer paso que se realizó fue el establecimiento de los límites que abarcarían dichas actividades, quedando un área de 39 m del largo sobre el eje este-oeste y 6 m de ancho sobre el eje norte-sur. Se utilizó una lona de 5 x 5 m que fue colocada en el lado este del área de huellas, y se estableció que el avance fuera del este hacia el oeste y del norte hacia el sur, avanzando según las dimensiones de la misma (figura 5). Con ello, se estableció además el área de exposición para la visita pública, tomando en cuenta que el estrato portador de las huellas se extiende por varios metros.

4

Figura 5. Trabajos de limpieza del área donde se localizan las improntas de dinosaurio.



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Posteriormente, se fue liberando el terreno de la vegetación y se procedió a retirar la tierra que se encontraba sobre las huellas, considerándola como una misma capa formada por sedimento producto de la erosión eólica del mismo terreno circundante. Para la limpieza del área de huellas se utilizaron escobas, cepillos, brochas y recogedores; también cubetas, para el retiro del sedimento. En los lugares donde se encontró sedimento más consolidado se emplearon palas, picos y picoletas. Las huellas se limpiaron utilizando cucharillas, picahielos, herramienta de dentista y brochas para liberar la capa en cada una, tratando de minimizar la alteración de las formas de las mismas (figura 6).

Figura 6. Limpieza del interior de las improntas de dinosaurio



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

El sedimento retirado del área de huellas se depositó en el lado sur de esta, formando una barrera que sirvió para el desvío y aseguramiento del cauce del arroyo, lo que se hizo como medida preventiva para evitar una posible afectación en el área de huellas (figura 7).

Figura 7. Sedimento retirado del área de huellas y depositado en el lado sur, formando una barrera de protección



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Una vez limpias las huellas de sedimento, se colocaba sobre cada una de ellas una de las mismas plantas retiradas del lugar (lechuguillas), que funcionaban como marcadores momentáneos para evitar que se ensuciaran de nuevo, que se deterioraran con el paso del personal o con el manejo de herramientas al momento de continuar con los trabajos; también sirvieron para hacer un primer conteo general de las huellas descubiertas (figura 8).

Figura 8. Colocación de marcadores vegetales sobre las improntas para realizar un conteo general de los elementos paleontológicos

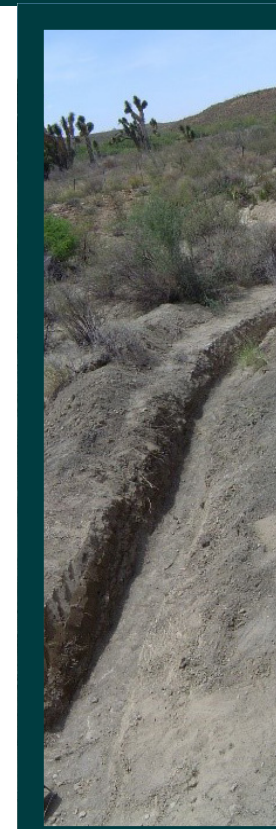
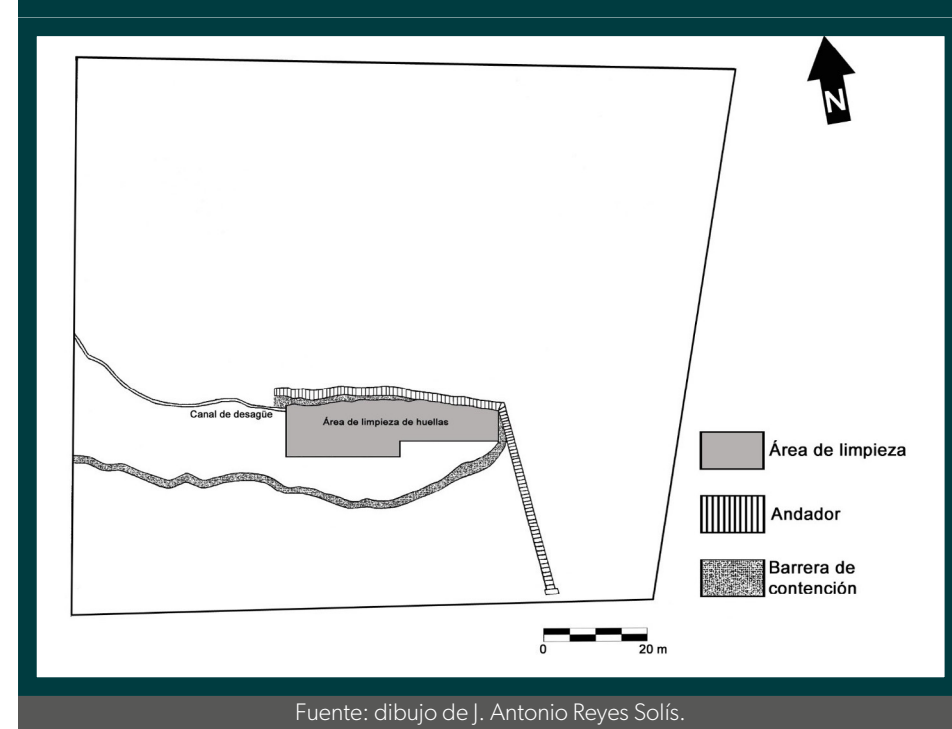


Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Al mismo tiempo, se excavó un canal de desagüe en la zona más baja del área de huellas (detectada gracias a la toma de medidas del desnivel del terreno con respecto al nivel 0), correspondiente al lado oeste, muy cerca del final del andador. El canal debía seguir la capa donde se encontraron las huellas para obtener el mismo desnivel y lograr que corriera el agua de lluvia que pudiera estancarse en el lado oeste del área liberada. Debido a la topografía del sitio y a la presencia de abundante vegetación, no se pudo seguir una línea recta, por lo que se optó por seguir el cauce de un pequeño arroyo seco formado por el agua de lluvia. El canal se proyectó hasta fuera de la cerca que delimita el sitio; tenía 39 m de largo, 80 cm de ancho máximo, 45 cm de ancho mínimo y las profundidades variaban teniendo como máximo 60 cm (figuras 9 y 10).

Figura 10. Vista hacia el oeste del canal de desagüe del área de improntas

Figura 9. Ubicación del área de limpieza de improntas y del canal de desagüe



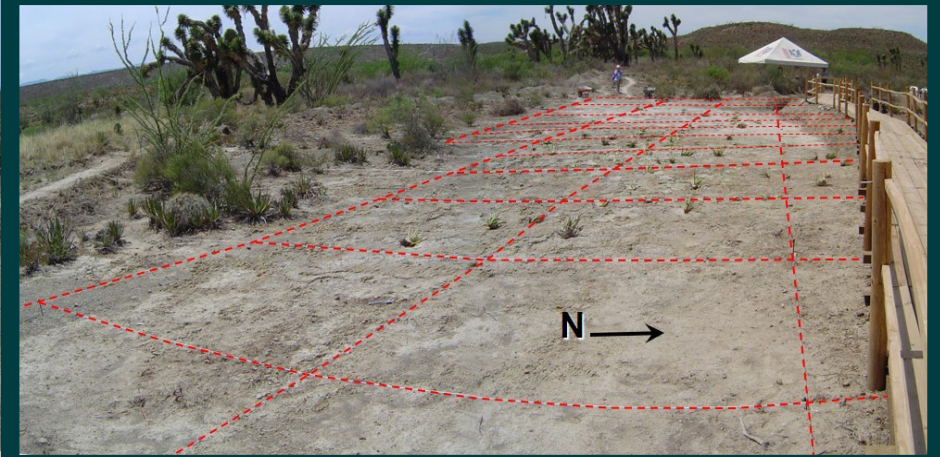
Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

El registro de las huellas

Para llevar a cabo el registro sistemático del sitio se utilizó el método de coordenadas cartesianas (Lorenzo, 1954); se trazó una retícula de 39 m a lo largo del eje este-oeste y 6 m a lo ancho sobre el eje norte-sur. Debido a la posición del andador no se pudo establecer la retícula exactamente con respecto a los puntos cardinales, por lo que el lado norte de la misma se trazó con una desviación de 10° hacia el este del norte original. Dicha retícula se dividió en cuadrantes de 3×3 m y se estableció el punto más alto en el terreno como nivel 0 correspondiente a la esquina noreste de la retícula. Una vez dividido el terreno, se establecieron

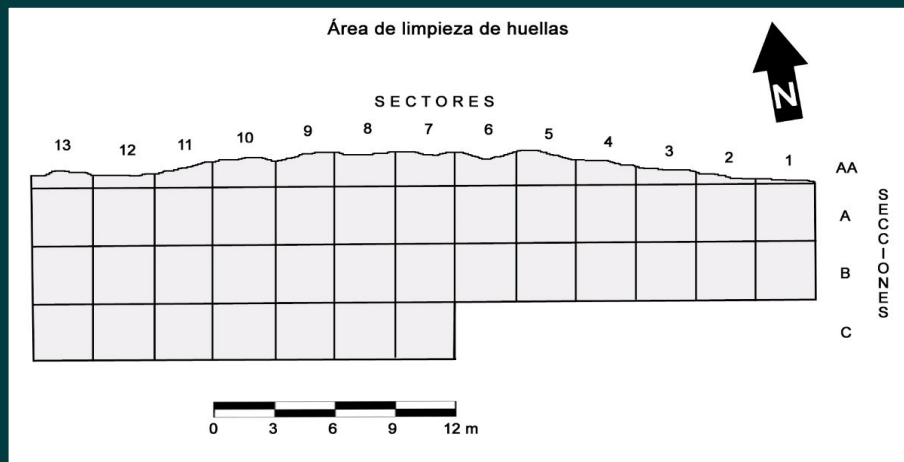
las *secciones* (letras de norte a sur) y los *sectores* (números de este a oeste) de la retícula, para poder nombrar cada cuadrante en particular y poder registrar dentro de ellos los elementos paleontológicos de la manera más precisa. Se establecieron las secciones A y B y los sectores 1 al 13. En el cuadrante A4 se pudo notar que hacia el norte había huellas que no entraban en el cuadrante anterior, por lo que se decidió ampliar la retícula y se estableció otra línea de secciones denominadas AA, empezando en el sector 4 y terminando hasta el último correspondiente al número 13. Los cuadrantes formados por las secciones AA no contaban con un área de 3 x 3 m debido a que se encontraban cortadas por el andador; sin embargo, fueron considerados con sus medidas particulares para proceder al registro de las huellas que se contenían en cada uno de ellos. Al llegar al cuadrante B7 se encontró el mismo problema al localizarse huellas fuera del cuadrante hacia el sur; por ello se amplió la retícula, denominando las nuevas secciones con la letra C, empezando en el sector 7 y terminando en el sector 13 (figuras 11 y 12).

Figura 12. Ubicación de la retícula sobre el área de improntas del sitio paleontológico Las Águilas para realizar el registro tridimensional de los elementos



Fuente: fotografía y adecuación digital de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

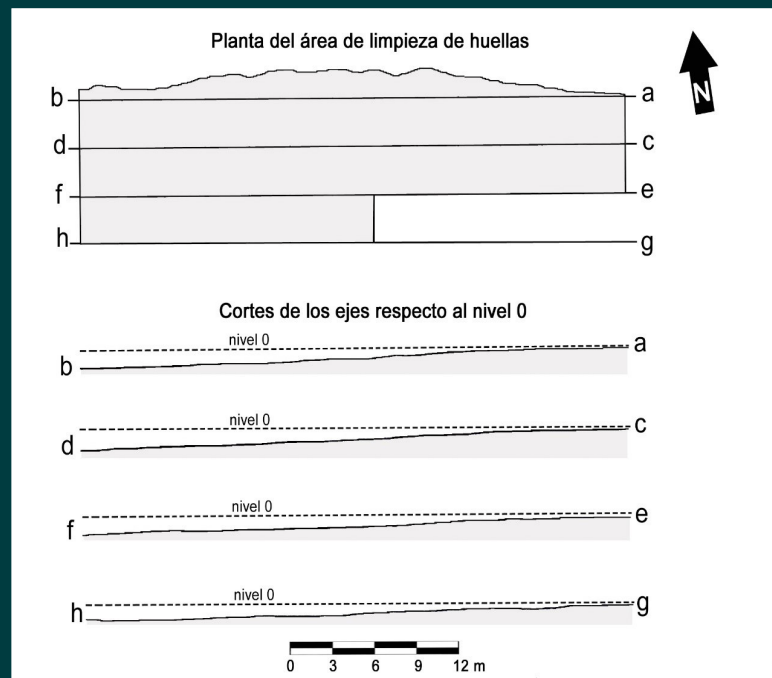
Figura 11. Retícula para el registro tridimensional de las improntas del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: dibujo de J. Antonio Reyes Solís.

Posteriormente, se tomaron medidas de profundidad del terreno sobre las líneas de la cuadrícula que corrían en dirección este-oeste, a cada 3 m de distancia, con el objetivo de realizar un perfil del terreno en donde se pudiera observar el desnivel que presenta con respecto del nivel 0 (figura 13).

Figura 13. Plano de planta y perfil del área donde se ubican las improntas del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: dibujo de J. Antonio Reyes Solís.

Establecida la nomenclatura a utilizar para el registro, se procedió a marcar las huellas en cada uno de los cuadrantes para levantar el registro fotográfico. Como consecuencia del gran número de huellas que se localizaron, se procedió a implementar instrumentos para marcar cada una de ellas de una manera rápida utilizando marcadores que indicaban el número de huella que se le asignaba, logrando agilizar los trabajos de registro de cuadrantes, así como de los elementos contenidos en ellos; dando como resultado un conteo de huellas por cuadrante y un conteo general de las huellas localizadas en el sitio (figuras 14 y 15).

Figura 14. Cuadrante A4 de la retícula con la ubicación de las huellas contenidas



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Figura 15. Vista general del área de limpieza de huellas del sitio paleontológico Las Águilas, en donde se observa la ubicación de cada una de las improntas en relación con la retícula empleada para su registro tridimensional



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Cada una de las huellas fue fotografiada con escala métrica y con su ubicación respecto del norte (figura 16). De igual forma, se tomaron medidas usando como base los sectores y secciones más cercanos a los elementos, para poder ubicar cada uno de estos y realizar un plano del sitio, el cual incluiría cada una de las huellas contenidas en él, así como la ubicación del canal de desagüe. Las medidas de profundidad del terreno donde se localizó cada huella se establecieron con base en las medidas de profundidad del terreno, teniendo como referencia las líneas de la cuadrícula que corrían en dirección este-oeste. En esas fechas, debido a lo limitado del tiempo y recursos disponibles para el trabajo de campo, no se pudo medir la profundidad de cada una de las huellas.

Figura 16. Imagen y dibujo en detalle de la huella 181 del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: fotografía y dibujo de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Dentro del canal de desagüe se localizaron dos huellas (figura 17), las cuales fueron ubicadas con respecto a la esquina noroeste de la retícula trazada para el registro sistemático del área de huellas. La primera se encontró a 19 m de la esquina hacia el oeste, desviada 20° al norte del eje este-oeste; la segunda huella del canal se encontró 21.6 m de la esquina hacia el oeste, con una desviación de 15° al norte del eje este-oeste.

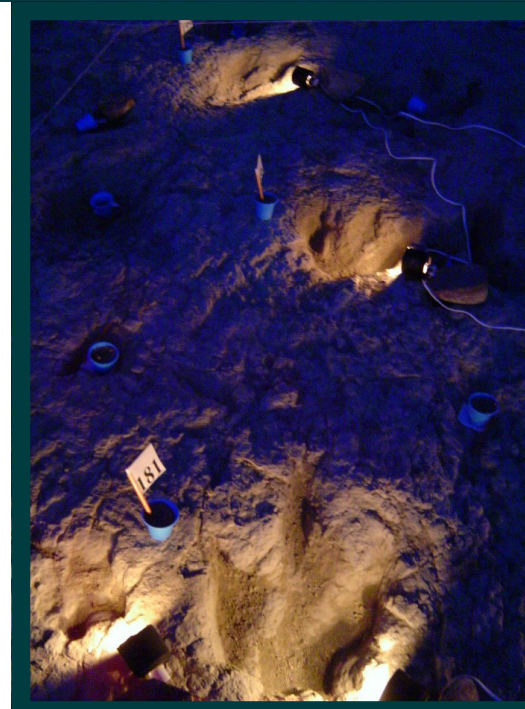
Figura 17. Ubicación de dos improntas dentro del canal de desagüe del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Cabe mencionar que en el transcurso del levantamiento fotográfico la posición del sol variaba, lo que permitió observar que algunas huellas destacaban de entre las otras, además, a veces aparecían algunas que no habían sido vistas anteriormente. Por lo anterior se decidió experimentar un tipo de fotografía nocturna, ayudados con luz al ras del piso (figura 18) que dejara ver algunos relieves no visibles con la luz del sol, debido al color del sedimento y al reflejo del mismo. Así, se seleccionaron algunas huellas de las mejor conservadas para realizar la prueba; los resultados fueron satisfactorios al utilizarse cámaras digitales simples, aunque se entiende que utilizando una cámara fotográfica especializada se podrían obtener mejores tomas. El levantamiento fotográfico nocturno con equipo especializado e iluminación artificial adecuada quedó contemplado dentro de la fase futura de la investigación (comunicación verbal, Sección de Paleontología del Centro INAH Coahuila, 2009).

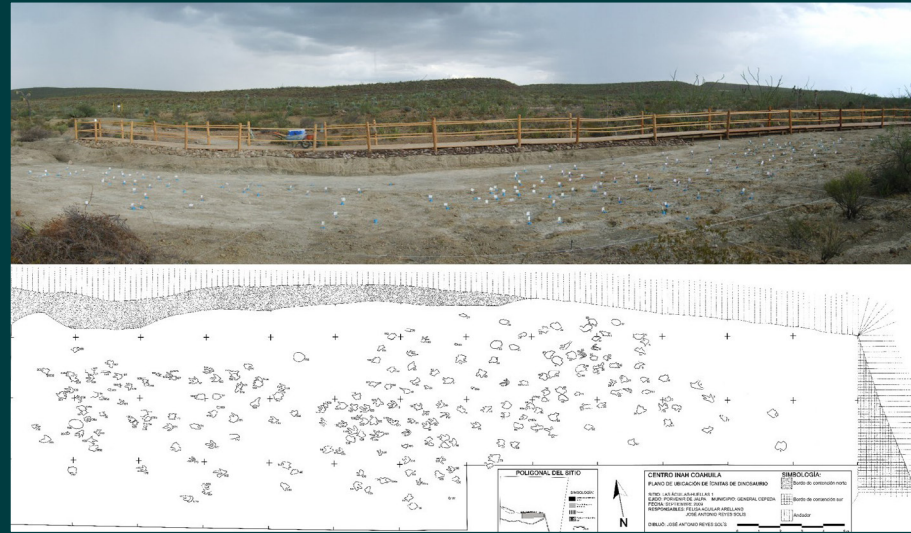
Figura 18. Fotografía con luz rasante de las huellas mejor conservadas del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Con este registro se contabilizaron 207 huellas (figura 19), lo que implica que la localidad es una de las que tiene más abundancia de estas evidencias. La profundidad de las huellas varía, pero muchas de ellas son de algunos centímetros, y también tienen buen tamaño, lo que indica que fueron generadas por individuos muy grandes y pesados. Se identificaron huellas aisladas de hadrosaurios (figura 20), así como rastros que denotan un desplazamiento en dos y cuatro patas, como lo había reportado previamente Rodríguez-de la Rosa y otros, (2004) y Rodríguez de la Rosa (2007), además de huellas de terópodos del tipo ornitómidos (figura 21). Si bien previamente se habían reportado huellas de tiranosáuridos (Rodríguez-de la Rosa et al., 2004; Rodríguez de la Rosa, 2007), en este registro no se logró distinguir tal morfotipo.

Figura 19. Vista general y plano de ubicación de las 207 improntas del sitio paleontológico Las Águilas, ejido Porvenir de Jalpa, municipio de General Cepeda, Coahuila



Fuente: fotografía y dibujo de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Figura 20. Reconstrucción de un hadrosaurio en vida



Fuente: paleoillustración cortesía de Pavel Galván, 2019.

Figura 21. Reconstrucción de un terópodo del tipo ornitomímido en vida



Fuente: paleoillustración cortesía de Pavel Galván, 2019.

Resultados

Considerando las estrategias y las técnicas empleadas en arqueología se hizo el registro de este tipo de contextos paleontológicos, el de huellas de dinosaurios, obteniéndose lo siguiente:

- Se logró la limpieza controlada de un área de 39 x 6 m aproximadamente.
- Se detectó la zona de mayor probabilidad de inundación por agua de lluvia dentro del área de huellas.
- Se estableció un canal de desagüe para evitar deterioro en el área de huellas.
- En este registro se ubicaron 207 huellas dentro del área expuesta, así como dos más en el interior del canal de desagüe.
- Se tiene un registro detallado de cada una de las huellas, el cual incluye un dibujo a escala de la planta y una fotografía individual, así como un registro preliminar de su deterioro.
- Se tiene un registro de las relaciones entre huellas contenidas en cada cuadrante.
- Se elaboró un plano general del área en donde se realizó la limpieza de las huellas, mismo que abarca la ubicación del canal de desagüe de agua de lluvia y la ubicación del andador.
- Se cuenta con un plano de la poligonal del sitio delimitado por la cerca.

Además, con el fin de que la comunidad reconozca la importancia de este patrimonio paleontológico y su valor científico por la singularidad que presenta (Andrés Moreno, 2006), se estableció un programa de puesta en valor con la comunidad del ejido Porvenir de Jalpa (figura 22 y 23). Uno de los apartados diseñados en su momento señala que la gente que participe como guía, custodio y responsable de la administración del sitio, deberá tener una capacitación que involucre conceptos generales de la paleontología, así como información relacionada con los resultados preliminares de la investigación científica de la zona. El objetivo de este apartado es que las personas del ejido compartan a los visitantes información objetiva que les permita hacer conciencia y con esto colaboren en el mantenimiento y conservación del sitio paleontológico Las Águilas (Aguilar Arellano y Polaco, 2009), así como las implicaciones de un mal uso que pueda provocar la pérdida del sitio paleontológico.

Figura 22. Reunión con autoridades del ejido Porvenir de Jalpa, para establecer las medidas de colaboración para la protección del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: fotografía de J. Antonio Reyes Solís, 2009.

Figura 23. Reunión con pobladores del ejido Porvenir de Jalpa, para establecer las medidas de colaboración para la protección del sitio paleontológico Las Águilas



Fuente: fotografía de Felisa J. Aguilar A., 2010.

Discusión

De acuerdo con el registro fósil de las huellas, estas pueden encontrarse aisladas o formando pistas o rastros (Lockley, 1993). Una pista o rastro se define cuando se ubican tres o más huellas consecutivas de un mismo individuo, por lo que el método empleado para su descripción depende de esto, y principalmente se hace una descripción morfológica de cada elemento, lo que no permite contar con un panorama general de todo el yacimiento.

La técnica de registro utilizada en este trabajo permitió tener un inventario controlado de las huellas tomando en cuenta la superficie expuesta (39 x 6 m); así, se obtuvo un registro espacial de las mismas, detectándose diferentes momentos del paso de los organismos e incluso alteraciones de las huellas por el paso continuo de los animales (sobreposición de huellas). Además, el registro individual permitió obtener información sobre el estado de conservación y una descripción de la morfología, lo que a su vez facilitó la confirmación y la identificación a nivel de grupo: hadrosaurios y ornitomíidos.

Aunque el sitio se descubrió en el 2003, no se había hecho un registro total de las huellas expuestas, por lo que no se pudo hacer una evaluación sobre el deterioro de estos elementos. Sin embargo, durante el proceso se detectó pérdida de los contornos de cada huella, lo que no permitía la identificación en su totalidad, salvo por su relación con otras al pertenecer a un mismo rastro, o bien

al distinguirse los dedos o el talón. A partir de lo realizado en este trabajo ya se cuenta con un punto de partida para el monitoreo del deterioro de las huellas, e incluso se sabe de la aparición de otras, algunas de las cuales no se descubrieron con el fin de protegerlas.

Conclusiones

Si bien existe una marcada diferencia entre la paleontología y la arqueología debido a sus objetos de estudio y a los análisis que de sus estudios se obtienen, con el presente trabajo realizado se pudo constatar que es importante poder emplear técnicas que permitan un adecuado registro de la información de los contextos en campo, y en el caso de las huellas de dinosaurio, utilizar el *método de coordenadas cartesianas* permitió cumplir los objetivos planteados: 1) limpieza controlada, 2) registro espacial y total del área expuesta, 3) registro y diagnóstico del estado de conservación de cada una de las 207 huellas. Confirmamos con este trabajo la importancia de la colaboración multidisciplinaria, ya que la formación y las técnicas de registro se enriquecen y robustecen la obtención de la información de los contextos, generando una bitácora sobre las intervenciones, que en este caso sirven como una herramienta de apoyo para el monitoreo del estado de conservación de este singular patrimonio paleontológico.

Reflexiones

Posterior a la realización de este trabajo se llevaron a cabo diferentes acciones para la protección del sitio. El primer paso fue informar de su existencia, por lo que se hizo su registro ante el Instituto Nacional de Antropología e Historia, a través de la Dirección de Registro Público de Monumentos y Zonas Arqueológicas (Aguilar Arellano, 2015). Luego se realizó la delimitación del sitio siguiendo los aspectos técnicos involucrados en la elaboración de las poligonales de las zonas arqueológicas: 1) elección de la localidad, 2) delimitación (definición del área paleontológica con el trazo de la poligonal envolvente, 3) la formación del expediente técnico, y 4) la elaboración de la propuesta de declaratoria (Escartín, 2009).

Es importante señalar que en el sitio paleontológico Las Águilas se han realizado otros estudios empleando diferentes técnicas para su registro, e incluso estudios sobre su taxonomía e interpretaciones de paleoambiente de formación (Gudiño, 2016; Rivera et al., 2017; Gudiño et al., 2018). De esos estudios, en al menos dos de ellos (Gudiño, 2016; Gudiño et al., 2018) fue importante contar

con la base del registro espacial generado con esta técnica, confirmando con ello la prioridad de realizar desde un inicio el registro sistemático y controlado de los elementos en su contexto.

En la actualidad, es necesario reforzar y diseñar actividades que generen un desarrollo sostenible, en donde los fósiles y sus yacimientos pueden ser el punto de atención, y propiciar en los habitantes que viven cerca de ellos una oportunidad, tanto para la obtención de un recurso económico, como para coadyuvar en la protección, conservación y divulgación del patrimonio paleontológico. Este patrimonio debe concretarse en convenios de colaboración entre las diferentes instituciones y la comunidad, ya que solo con la participación colectiva se puede proteger y conservar para las generaciones futuras. Recordemos que los fósiles en México son patrimonio nacional, no tienen un dueño, pero es responsabilidad de todos su protección y conservación.

Referencias

- Aguilar Arellano, F. J. (2006). *El patrimonio paleontológico de Porvenir de Jalpa, General Cepeda: antecedentes, estado actual y su futuro* [Informe inédito]. Archivo de la Sección de Paleontología del Centro INAH Coahuila. 14 pp.
- Aguilar Arellano, F. J. (2015). Conservation of Palaeontological sites in Mexico: legal, research and communication measures for integrated approaches. En *Human Origin Sites and the World Heritage Convention in the Americas* (126-133). *World Heritage, papers 42, HEADS 5, Volume I*. UNESCO.
- Aguilar Arellano, F. J. y Polaco O. J. (2009). El sitio de icnitas de dinosaurio "Las Águilas", Porvenir de Jalpa, General Cepeda, Coahuila: su panorama actual y su proyecto de gestión. En *Memorias del 4to. Encuentro Regional para el Estudio del Patrimonio Cultural del Noreste* (47-48). CONARTE/ Gobierno del Estado de Nuevo León.
- Andrés Moreno, J. A. (2006). Paleontología en Aragón: legislación y aplicación. En F. Torcida Fernández-Baldor, *Huellas que perduran. Icnitas de dinosaurio: patrimonio y recurso. Actas del Simposio Internacional* (111-139). Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León.
- Barker, P. (1993). *Techniques of archaeological excavation*, (3.ª ed.). Routledge.
- Carandini, A. (1996). *Historias en la tierra. Manual de excavación arqueológica* (X. Dupré Raventós, Trad.). Crítica.
- Eberth, D. A., Sampson, S. D., Rodríguez-de la Rosa, R. A., Aguillón-Martínez, M. C., Brinkman, D. B. y López Espinoza, J. (2003). Las Águilas: An unusually

- rich Campanian age vertebrate locale in southern Coahuila. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 23(suppl. 3), 47A.
- Eberth, D. A., Delgado de Jesús, C. R., Lerbekmo, J. F., Brinkman, D. B., Rodríguez-de la Rosa, R. A. y Sampson, S. D. (2004). Cerro del Pueblo Fm (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin, Southern Coahuila, Mexico: reference sections, age, and correlation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(3), 335-352.
- Escartín, A. R. (2009). Aspectos técnicos involucrados en la elaboración de las poligonales arqueológicas (373-387). En S. Mesa Dávila et al., (coords.), *Memoria del registro arqueológico en México, treinta años*. Col. Científica (548). INAH.
- Expedición* (2005). Tras las huellas de los tiranosáuridos en Coahuila. (17), pp. 6-15.
- Galván, P. (2019). Paleart & Scientific illustrations. <https://www.pavelgalvanpaleoart.com/home> Imagen de la portada disponible en <https://www.pavelgalvanpaleoart.com/paleoarte?s=HghOEqRebdZQKME0&i=Y6Wool-37SFHO9Tvd>
- Gudiño Maussán, J. L. (2016). Estudio paleobiológico de las dinosauricnitas de la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío), Coahuila [Tesis de maestría en Ciencias Biológicas, UNAM]. https://repositorio.unam.mx/contenidos/estudio-paleobiologico-de-las-dinosauricnitas-de-la-formacion-cerro-del-pueblo-campaniano-tardio-coahuila-98966?c=B7gdx&d=false&q=*:*&i=3&v=1&t=search_0&as=0
- Gudiño Maussán, J. L., Aguilar Arellano, F. J. y Hernández-Rivera, R. (2018). Aplicación de fotogrametría digital para el registro de las huellas de dinosaurio de la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío), Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 70(2), 307-324. DOI:10.18268/BSGM2018v70n2a3
- Hodder, I. y C. Orton. (1976). *Spatial Analysis in Archaeology*. Cambridge University Press.
- Litvak King, J. (1986). *Todas las piedras tienen 2000 años. Una introducción a la arqueología*. Editorial Trillas.
- Lockley, M. G. 1993. *Siguiendo las huellas de los dinosaurios*. McGraw Hill.
- Lorenzo, J. L. (1954). Técnica de exploración arqueológica. Empleo de las coordenadas cartesianas, según G. Laplace-Jauretche y L. Meroc. En L. Mirambell y J. A. Pérez (comps.), *Prehistoria y Arqueología* (17-30). Antologías, serie Arqueología. INAH.
- Mirambell, L. y J. A. Pérez (comps.). (1991). *Prehistoria y arqueología*. Antologías, serie Arqueología. INAH.
- Nalda, E. (1996). Coleccionismo, saqueo y legislación. *Arqueología Mexicana* (21), 48-53.
- Rivera Sylva, H., Frey, E., Schulp, A. S., Meyer, C. A., Thüning, B., Stinnesbeck, W. y van Hecke, V. (2017). Late Campanian theropod trackways from Porvenir de Jalpa, Coahuila, Mexico. *Palaeovertebrata*, 41(2), 1-6. DOI: 10.18563/pv.41.2.e1
- Rodríguez de la Rosa, R. A. (2007). Hadrosaurian footprints from the Late Cretaceous Cerro del Pueblo Formation of Coahuila, Mexico. En E. Díaz Martínez e I. Rábano (eds.), *4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America* (339-343). Cuadernos del Museo Geominero (8). Instituto Geológico y Minero de España.
- Rodríguez-de la Rosa, R. A., Eberth, D. A., Sampson, S. D., Brinkman, D. B. y López Espinoza, J. (2003). Dinosaur tracks from the Late Campanian Las Aguilas locality, southeastern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 23(suppl. 3), 90A.
- Rodríguez-de la Rosa, R. A., Aguillón-Martínez, M. C., López-Espinoza, J. y Eberth, D. A. (2004). The fossil record of vertebrate tracks in Mexico. *Ichnos*, 11(2), 27-38.
- Servín-Pichardo, R. (2015). Las huellas de los dinosaurios en México y su estudio. *Revista Digital Universitaria*, 16(11). <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num11/art87/art87.pdf>
- Wagstaff, M. (1991). The archaeological 'site' from a geographical perspective. En A. J. Schofield (ed.). *Interpreting Artefact Scatters: Contributions to Ploughzone Archaeology* (27). Monographs of Archaeology (4). Oxbow Books.

CAPÍTULO 2

Los pastizales: un viaje del Pleistoceno a la actualidad

Iván E. Sánchez-Uribe^{1}
Héctor E. Rivera-Sylva²
José Rubén Guzmán-Gutiérrez³*

Introducción

La palabra desierto es utilizada comúnmente por filósofos, teólogos y naturalistas, por lo que tiene una connotación distinta en cada caso; puede servir para describir un espacio vacío y carente de vida, funcionar como alegoría de reflexión espiritual, o para interpretar la interacción de lo vivo y lo no vivo en un espacio natural. En resumen, los desiertos son entidades multifacéticas que, dependiendo del momento en que se tenga contacto con ellos, aportan un valor agregado al crecimiento personal.

En ciencias como la biología pasa algo similar, pues un mismo fenómeno puede abordarse desde diversos ángulos, ya sea como ramas (zoología, taxonomía o paleontología) o como disciplinas “distintas” como pueden ser el arte, las matemáticas o la política; a esto se le llama multidisciplinariedad. Esta palabra, lamentablemente, no es del todo entendida en la mayoría de los círculos académicos formativos, y es por eso que a más de un profesionalista le es difícil satisfacer

¹ Museo del Desierto Chihuahuense (MUDECH) en Delicias, Chihuahua. *Autor de correspondencia: paleodrakontos@gmail.com

² Departamento de Paleontología del Museo del Desierto, Saltillo, Coahuila.

³ MUDECH en Delicias, Chihuahua.

sus necesidades laborales cuando su conocimiento se ve limitado por la falta de una perspectiva u opinión complementaria.

En el caso de la paleontología, desde hace poco más de 30 años se ha demostrado que no solo puede ser abordada por quienes ostentan un título en esta especialidad, sino también por dibujantes, biomédicos, programadores, forenses, biólogos y todo aquel que sea capaz de dar un valor agregado a este conocimiento a través del saber que ya domina. De hecho, teorías como la que se refiere a la caída de un meteorito hace 65 millones de años, con consecuencias de extinción del 80% de la biodiversidad cretácica (límite K/T⁴ o límite K/Pg⁵), no se hubieran comprendido mejor sin conocimientos sobre geología, astronomía o física.

Sin geografía, ecología o genómica hubiera sido complicado entender cómo los dinosaurios, amonites, o la gran variedad de coníferas del Cretácico tardío desaparecieron, para que mamíferos y pastos moldearan el mundo y dieran paso a uno de los ecosistemas más representativos del Cenozoico: los pastizales. En este sentido, el presente trabajo es básicamente un ensayo dirigido a quienes gustan de la temática paleontológica, pero a su vez, busca resaltar parte del trabajo que instituciones como el Museo del Desierto Chihuahuense (MUDECH) y Museo del Desierto de Saltillo desarrollan para dar a conocer la riqueza del patrimonio fósil del país. Asimismo, se busca sensibilizar sobre la importancia que han tenido este tipo de ecosistemas desde el Pleistoceno hasta la actualidad, y su impacto sobre la megafauna mexicana.

Antecedentes

¿Qué es un pastizal?

En general, un pastizal se define como un tipo de vegetación dominada por especies de la familia *Poaceae*⁶: un grupo de plantas de crecimiento anual, con un solo cotiledón (hoja embrionaria), hojas sumamente alargadas, e inflorescencias en forma de espiga. Esta vegetación es capaz de crecer en suelos pobres, con

pH⁷ extremos y bajo condiciones de climas intensos. Además, su fenología⁸ puede ir desde formas arbustivas hasta arbóreas, como es el caso de los bambús; con métodos de reproducción sexual y asexual (semilla/estolón⁹), los cuales dependiendo de las condiciones ambientales viran la efectividad de uno u otro.

Al ser ecosistemas casi cosmopolitas, los pastizales reciben varios nombres locales, los cuales van desde sabanas (África), praderas (en algunas partes de América y Europa), estepas (en los círculos polares), o humedales, si bordean o se incluyen en cuerpos de agua, solo por mencionar algunos ejemplos. Sus ciclos de vida en la mayoría de los casos son cortos, ya que estos dependen en gran manera de las temporadas de lluvia, mismas que no necesariamente suelen ser anuales; sin embargo, cuando esto pasa se vuelven una fuente muy redituable de alimento y refugio para aves y mamíferos, los cuales, evolutivamente hablando, han crecido de forma íntima con este tipo de vegetación.

¿Qué es un mamífero?

DeBlase (1974) y Hickman (1998) definen a la clase *Mammalia* como: cordados de corazón tetracavitario¹⁰, cerebro grande, cráneo del tipo sinápsido¹¹, con una dentición especializada que ayuda a mejorar la obtención de nutrientes, con tegumento queratinoso¹² (a veces ausente) y un desarrollo embrionario del tipo amniota¹³; además tienen una alta radiación adaptativa que se refleja en los distintos “diseños” de miembros motrices, los cuales van desde los que sirven para caminar o correr, hasta los que permiten nadar o volar gracias a diversas variantes anatómicas en dedos, brazos y piernas.

El nombre de estos animales hace referencia a su capacidad de desarrollar glándulas mamarias (del latín *mamma* = seno), las cuales funcionan tanto para remarcar el dimorfismo sexual como para alimentar a sus crías. Actualmente se reconocen cerca de 4450 especies de mamíferos en el mundo.

7 Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución; el pH se mide en una escala de 0 a 14, en la cual un pH de 7 es neutro.

8 En botánica, la palabra fenología hace referencia a la forma física que una planta toma, por ejemplo: arbórea, arbustiva, rastrera, etc.

9 Estolón es un término biológico que refiere, para este caso, el hecho de que una planta se reproduzca a partir de yemas que se ramifican desde la raíz o de la base de su tallo, hasta generar un nuevo individuo independiente del primero.

10 Dos aurículas y dos ventrículos.

11 Con una sola fenestra (orificio craneal), ubicada de forma consecuente a la cavidad ocular.

12 Término anatómico que hace referencia a pelo o vello.

13 Término que refiere a la composición anatómico/funcional de un embrión que desarrolla cuatro envolturas: corion, alantoides, amnios y saco vitelino.

4 Del alemán Kreide (Cretácico)/Tertiär (Terciario).

5 Pg hace referencia a la palabra Paleógeno, término que sustituye al concepto Terciario, de acuerdo con la International Commission on Stratigraphy (ICS) y la International Union of Geological Sciences (IUGS) a partir de 2004.

6 Anteriormente conocida como superfamilia *Gramineae*.

La sinergia pastizales/mamíferos

Como se mencionó anteriormente, los pastizales son la base de muchísimas cadenas tróficas, incluyendo la del humano; de estos ambientes se obtuvieron granos de importancia económica, como el trigo (*Triticum aestivum*), maíz (*Zea mays*¹⁴) o cebada (*Hordeum vulgare*). Por ello, en términos de biomasa los pastizales tienen una dinámica particular ya que el flujo energético es constante, pero la fauna y en específico los mamíferos, hacen que esta se haga con mayor rapidez. Para esto, existen dos importantes adaptaciones anatómico/evolutivas del grupo *Mammalia* que lo permiten:

- a) Dentición especializada, producto de la radiación adaptativa del grupo, en el que se incluye coronas altas, esmalte grueso o crecimiento dentario constante como medida “preventiva” de desgaste por la ingesta de hojas y tallos de poáceas (*Poaceae*), ricas en sílice.
- b) Sistema digestivo complejo, útil para extraer la mayor cantidad de nutrientes, el cual incluye varios compartimentos estomacales y la presencia de diastemas¹⁵.

Los pastizales de Norteamérica: una referencia al Pleistoceno mexicano

En los actuales territorios de Canadá, Estados Unidos de América (EUA) y México se ubican 55 espacios geográficos con características de pastizales, mismos que son áreas de alta prioridad en cuanto a su conservación debido a los servicios socioambientales que proporcionan, entre ellos: funcionar como sumideros de carbono, barreras contra la erosión y sistemas de captación de agua.

En el Desierto Chihuahuense se reconocen 13 de estas áreas, de las cuales dos (Janos y Valles Centrales) son propias de Chihuahua; en el caso específico de Janos se pueden observar dos especies que dan pistas sobre cómo era la vida a finales del Pleistoceno: el perrito de la pradera (*Cynomys ludovicianus*) y el bisonte o búfalo americano (*Bison bison*). De acuerdo con el registro fósil de Norteamérica, los ancestros de ambos taxones formaron parte de la megafauna norteamericana de la última era glacial, y básicamente estarían catalogados como sobrevivientes de la gran extinción de hace 10,000 años; pero ¿qué ven-

tajas tuvieron el bisonte y el perrito de la pradera, que el mamut colombino o el caballo americano no?

Aunque hay teorías que dicen que el decaimiento de la megafauna se debió a la inclusión del *Homo sapiens* en Norteamérica y a su búsqueda de presas redituables, es muy probable que las causas hayan sido otras, ya que incluso especies menos provechosas y que compartían ambientes similares como la *Capromeryx minor*¹⁶, sucumbieron ante la extinción.

Por otro lado, existe una teoría que habla de que en realidad el cambio climático que se vivió a finales del Pleistoceno (conocida popularmente como era de hielo) y el Holoceno (época actual), se dio de forma tan rápida que muchas de las especies que componían los ecosistemas pleistocénicos no pudieron adaptarse con facilidad, trayendo en consecuencia su extinción. Para fines de este texto se sostendrá esta teoría, ya que de acuerdo con los autores es la que presenta un cuadro más integrativo.

Teoría del cambio climático y los ciclos de Milankovitch

La crisis ambiental actual está íntimamente vinculada con el reconcomiendo de un cambio climático acelerado, presente en el pensamiento colectivo desde hace casi 20 años, sin embargo, como fenómeno geográfico ha estado presente en casi todas las extinciones masivas que el planeta ha registrado; por lo tanto y como una nota sugerente, sería una buena opción entender estos fenómenos desde lo que la historia dice, en vías de vislumbrar y prevenir un futuro posible.

Pero ¿qué causó el cambio climático del Pleistoceno y la extinción de la Megafauna? El astrónomo yugoslavo Milutin Milankovitch, a principios del siglo pasado describió una serie de fenómenos astronómicos que afectan los movimientos naturales del planeta Tierra (rotación, traslación y precesión) cada 41,000 años, siendo el aumento o disminución de las superficies glaciales las consecuencias más visibles de estos ciclos. En otras palabras, las observaciones de Milankovitch dan elementos para considerar una elongación atípica de la órbita terrestre, la cual explicaría los ciclos glaciales e interglaciares registrados entre los 2 mda¹⁷ y 10,000 años¹⁸ aproximadamente.

14 Aunque este taxón está considerado como especie domesticada, su origen silvestre refiere a un ancestro de la especie *Zea perennis* (teocintle), la cual se distribuye en varias partes de Norte y Centroamérica.

15 Espacios maxilares sin dientes, mismos que junto con las mejillas sirven para manipular el bolo alimenticio.

16 *Capromeryx minor* es una especie emparentada con la *Antilocapra americana* o berrendo, visible aún en los pastizales de Valles Centrales.

17 Millones de años.

18 En la lógica estratigráfica el tiempo se entiende como una recta numérica, donde entre más antigua sea la época por referirse, esta tomará un lugar proporcional a la izquierda de un punto cero, el cual se irá acercando al mismo cuando se mencionen periodos geológicos más recientes.

Lo anterior trajo como resultado que los casquetes polares aumentaran y disminuyeran su superficie y volumen paulatinamente, echando mano tanto de la humedad ambiental como de cuerpos oceánicos y marítimos¹⁹. De forma colateral, estos fenómenos contribuyeron a la formación intermitente de puentes y corredores que pudieron enlazar nuevas áreas continentales con las ya existentes, lo cual desencadenó varios fenómenos de migración biológica impulsados por la necesidad de nuevos espacios y recursos; es por eso que los pastizales tropicales y en específico los de México pleistocénico, jugaban un papel importante en todo este proceso.

México en el Pleistoceno

Para ese momento, el territorio mexicano asimilaba un diseño orográfico muy similar al actual debido a la tectónica entre las placas norte y sudamericana. En este caso, un nuevo sistema montañoso llamado Eje Volcánico Transversal se integraba con las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur. Estos elementos en conjunto funcionaron como barreras físicas que amortiguaron los efectos del clima boreal preponderante, facilitando condiciones y climas más nobles y similares a las que México tiene en la actualidad.

Esta combinación de factores facilitó que grupos biológicos provenientes de latitudes mayores, así como grupos que se estaban estableciendo a causa del intercambio faunístico con Sudamérica, hallaran micrositos que dispararon su especiación, con lo cual se obtuvo lo que hoy en día se conoce como megafauna mexicana. Esta incluyó proboscídeos, bóvidos, camélidos, equinos, suidos, cánidos, félidos, úrsidos, y roedores; así como perezosos gigantes, osos hormigueros, gliptodontes, armadillos, toxodontes y marsupiales. Una vez establecidos, los pastizales mexicanos funcionaron a manera de nichos biológicos que dieron refugio y alimento a diversas especies, tanto por su capacidad de carga²⁰, como por las relaciones interespecíficas²¹ que se fueron desarrollando durante esta "convivencia".

¹⁹ De acuerdo con el proyecto Coastlines of the Ice Age, estos pudieron haber alcanzado hasta la región Centro Norte de los EUA.

²⁰ Vocablo que refiere a cuántos individuos de una o de varias especies puede sostener un ecosistema sin que este entre en conflicto.

²¹ Término que ocupa la ecología para describir la interacción que hay entre dos o más especies dentro de un mismo ecosistema.

Nueva localidad mega faunística para Chihuahua

De acuerdo con el registro fósil, se sabe que los pastizales y vegetación del tipo xerófila sirvió como fuente de alimento de la megafauna que se estableció en el Desierto Chihuahuense del Pleistoceno tardío. Aunque es debatible esta evidencia dentro del estado de Chihuahua, el registro fósil de fauna de la época es frecuente y descansa en depósitos calichosos de la edad Rancholabreano (21 a 12 mil años aproximadamente).

Por desgracia, muchas de estas localidades son objeto de saqueo y de ellas se extraen las piezas debido a que las poblaciones cercanas son ubicadas sin mucho problema. En la mayoría de los casos los fragmentos terminan formando parte de colecciones privadas o en venta como *souvenirs*; por esto mismo, las fuentes bibliográficas fidedignas en torno del Pleistoceno chihuahuense muchas veces son escasas, tanto por la falta de reportes oficiales, como porque los métodos existentes de acceso a esta información están limitados o están mal difundidos.

Atendido ese aspecto, entre los años 2013 y 2015 un equipo de técnicos del Museo del Desierto Chihuahuense atendió el reporte de una localidad pleistocénica del municipio de Julimes (imagen 1). De este trabajo se rescató material fosilífero que se encontraba empotrado en una pared de componente calichoso, que fue afectada por la erosión de un arroyo intermitente.

Imagen 1. Referencia geográfica del área de estudio



Fuente: ilustración del Biól. Iván Erick Sánchez Uribe.

Método

El material encontrado fue preparado en papel estaño, vendas y yeso, y finalmente se le trasladó al Laboratorio de Paleontología del MUDECH, en donde recibió tratamiento con poliacetato de vinilo para su consolidación. La limpieza se realizó con curetas dentales, lo que permitió identificar de forma preliminar evidencia de herbívoros, entre los que destacan equinos y proboscídeos.

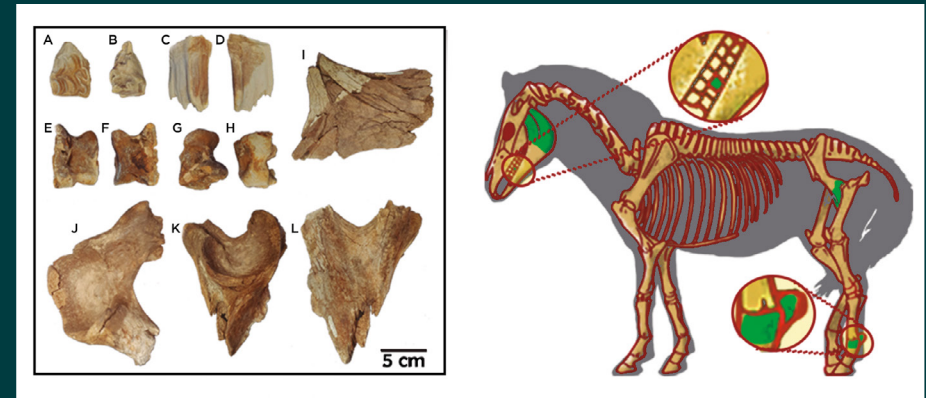
Resultados

Desafortunadamente, por cuestiones administrativas no se tuvo con este material mayor avance por cerca de cinco años, más allá de ser depositado en gavetas (pero sin tener clave de colección). Fue hasta principios del año 2020 cuando en una segunda incursión se identificaron cuatro *dive taxa* y un quinto taxón a finales de año, mismos se describen a continuación:

- **Espécimen: 001**
- *Determinación taxonómica*
- Orden: Perissodactyla, Owen, 1848
- Familia: Equidae, Gray, 1821
- Género: *Equus*, Linnaeus, 1758
- Especie: *E. cf. Mexicanus* Hibbard, 1955
- Clave(s) de colección: MDCHCPVP001, MDCHCPVP003, MDCHCPVP004 y MDCHCPVP005

Este ejemplar se describe como un solo individuo, representado por un premolar superior (MDCHCPVP001), un fragmento de hueso pélvico con área de inserción femoral (MDCHCPVP003), un astrágalo izquierdo (MDCHCPVP004), y un fragmento proximal de mandíbula -ramal izquierdo- (MDCHCPVP005). Debido a lo fragmentado del material, de momento es difícil dar una determinación más clara y por ello, con base en el trabajo de Messing (1986), el ejemplar queda confinado (cf) a la especie *Equus mexicanus*, propuesta por Hibbard en 1955 (Imagen 2).

Imagen 2. Evidencias del espécimen 001, confinadas a la especie *Equus mexicanus* conformado por las piezas MDCHCPVP001 (A-D), MDCHCPVP003 (J-L), MDCHCPVP004 (E-H) y MDCHCPVP005 (I)



Fuente: Biól. Iván Erick Sánchez Uribe (ilustración) e Ings. Nora Fuentes y Liz Nava (fotografía).

- **Espécimen: 002**
- *Determinación taxonómica*
- Orden: Proboscidea Illiger, 1811
- Familia: Elephantidae Gray, 1821
- Género: *Mammuthus*, Brookes, 1828
- Especie: *M. cf. Columbi* Falconer, 1857
- Clave(s) de colección: MDCHCPVP002, MDCHCPVP008, MDCHCPVP009, MDCHCPVP010A-D y MDCHCPVP011

Este ejemplar fue la principal razón por la que se atendió este reporte. Se describe como un solo individuo, representado por una laminilla (fragmento de batería dentaria) con clave de catálogo MDCHCPVP002, fragmento de costilla (MDCHCPVP008), fragmento de escápula (MDCHCPVP009), hueso pélvico muy fragmento (MDCHCPVP010A-D), y una vértebra posiblemente cervical (MDCHCPVP011), la cual fue adjudicada a este mismo individuo posteriormente a su reporte oficial. Debido a lo fragmentado del material es difícil dar una determinación más clara, por lo que con base en el trabajo de Messing (1986), el ejemplar queda confinado a la especie *M. cf. Columbi*, propuesta por Falconer en 1857 (imagen 3).

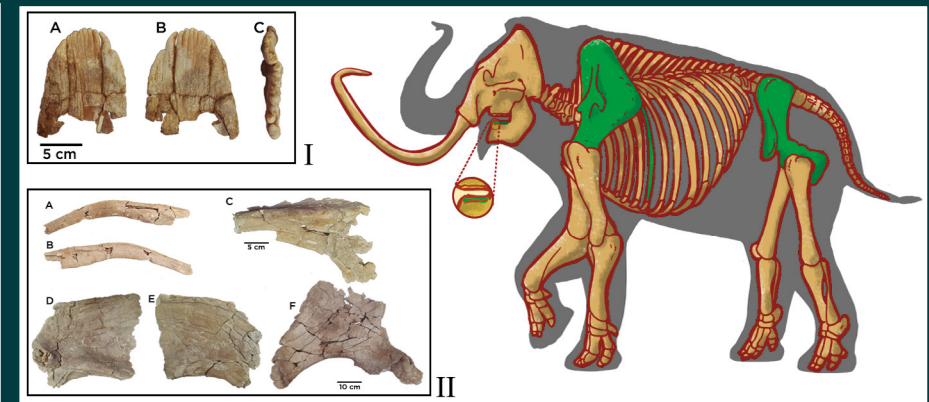
- **Espécimen: 003**
- *Determinación taxonómica*
- Orden: Artiodactyla, Owen, 1848
- Familia: Bovidae, Gray, 1821
- Género: *Bison*, Hamilton-Smith, 1827
- Clave(s) de colección: MDCHCPV015

Durante la colecta y la primera fase de revisión en laboratorio esta pieza había sido identificada como vertebra de équido, sin embargo, en la segunda etapa de identificación se observó lo pronunciado de la espina neural o apófisis espinosa, así como la forma de las apófisis transversas, que son características de las primeras vertebra torácicas de bóvido; en este sentido, el ejemplar con clave de catálogo MDCHCPV015 se describe con pertenencia al género *Bison* de acuerdo con el trabajo de Messing (1986).

Dado que solo se recuperó esta pieza en el punto de colecta reportado, es difícil determinar hasta el momento a qué especie pertenece, sin embargo, su presencia sirvió como fósil índice para determinar la edad Rancholabreana del lecho. Así mismo y de acuerdo con una adecuada revisión bibliográfica, esta pieza se convierte en el primer reporte oficial del género *Bison* en el estado de Chihuahua (imagen 4).

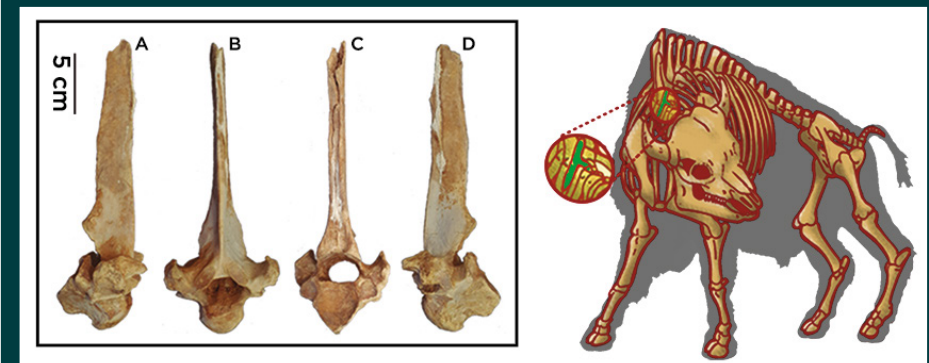
Imagen 3. Evidencias del espécimen 002, confinadas a la especie *Mammuthus columbi*

Conformado por un fragmento de batería dentaria, con número de catálogo MDCHCPV002 (cuadro I), y las piezas osteológicas MDCHCPV008 (A-B), MDCHCPV009 (C), MDCHCPV10A (D-E) y MDCHCPV10B (F) (cuadro II). Cabe mencionar que las piezas MDCHCPV10C y MDCHCPV10D corresponden al hueso pélvico, pero no fueron incluidas en este reporte debido a su fragilidad y complejidad para ser manipuladas. Asimismo, la pieza MDCHCPV01 no fue incluida originalmente en el espécimen, debido a una confusión en su registro



Fuente: Fuente: Biól. Iván Erick Sánchez Uribe (ilustración) e Ings. Nora Fuentes y Liz Nava (fotografía).

Imagen 4. Evidencia del espécimen 003, confinado al género *Bison* conformado por la pieza MDCHCPV015 (A-D)

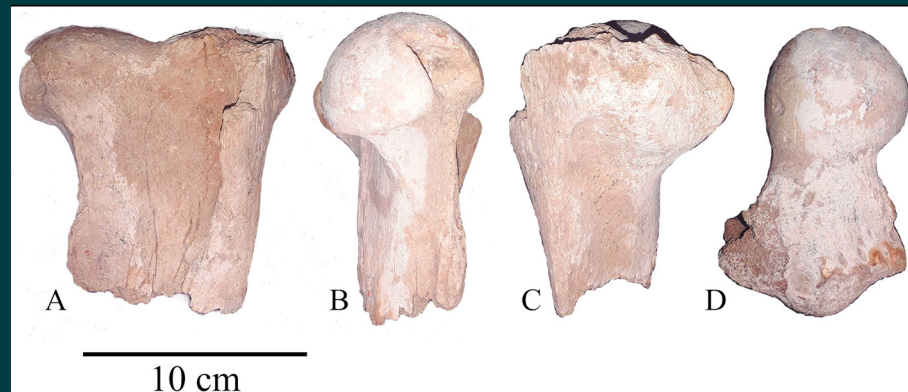


Fuente: Fuente: Biól. Iván Erick Sánchez Uribe (ilustración) e Ings. Nora Fuentes y Liz Nava (fotografía).

- **Especimen: 004**
- *Determinación taxonómica*
- Superorden: Xenarthra, Cope, 1889
- Orden: Pilosa, Flower, 1883
- Suborden: Folivora, Delsuc, 2001
- Familia: Mylodontidae, Gill, 1872
- Clave(s) de colección: MDCHCPVP012

El ejemplar en cuestión inicialmente estuvo catalogado como un segundo individuo, posiblemente juvenil, afín a grupo *Proboscidae*, pero no fue incluido en trabajos anteriores debido a que no era clara su descripción. Sin embargo, durante un proceso de organización de la colección MUDECH realizado a finales de 2020, se observó que la apófisis era muy ancha en proporción al grueso de la diáfisis de un proboscideo, por lo que, al comparar bibliográficamente dicha pieza con fotografías de otros ejemplares, se concluyó que se trata del extremo distal de un humero de *Xenarthra*, afín a la familia Mylodontidae, y se le asignó la clave de catálogo MDCHCPVP012 (imagen 5).

Imagen 5. Evidencia del espécimen 004, con posible afinidad a la familia Mylodontidae (A-D)

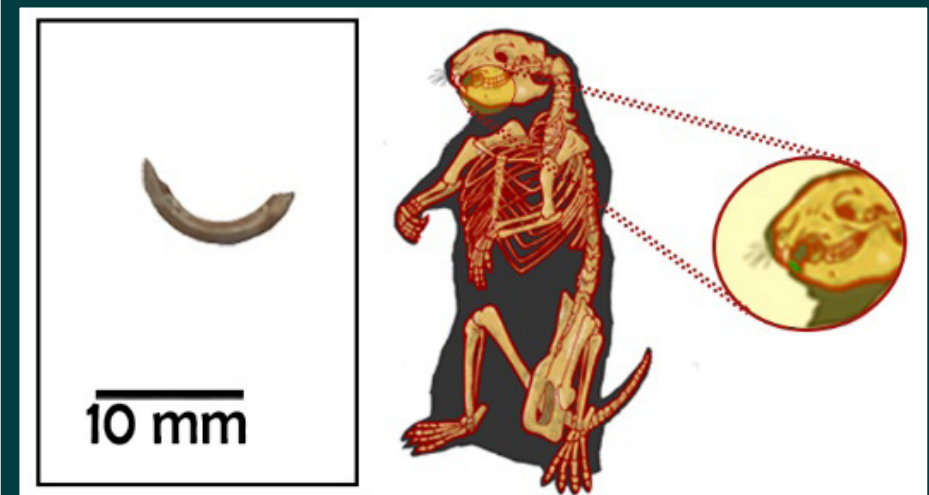


Fuente: fotografía tomada por Ings. Nora Fuentes y Liz Nava.

- **Especimen: 005**
- *Determinación taxonómica*
- Orden: Rodentia, Bowdich, 1821
- Clave(s) de colección: MDCHCPVP014

Este ejemplar fue descubierto en condiciones de laboratorio, durante el proceso de limpieza y consolidación de la pieza MDCHCPVP009; básicamente fue descrito como un incisivo inferior de roedor y catalogado con el número MDCHCPVP014. Taxonómicamente, dicho hallazgo no es del todo significativo para determinar una jerarquía más específica, sin embargo, sí permite entender algunos elementos importantes del paleoambiente en cuestión, así como áreas de oportunidad referidas a esta área de estudio.

Imagen 6. Evidencia del espécimen 005, con posible afinidad al género *Cynomys* conformado por la pieza MDCHCPVP014



Fuente: Biól. Iván Erick Sánchez Uribe (ilustración) e Ings. Nora Fuentes y Liz Nava (fotografía).

Discusión

El Desierto Chihuahuense actual

Actualmente el Desierto Chihuahuense²² está considerado como una ecorregión que se distribuye desde la región centro sur de los EUA, hasta los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas, así como por algunas zonas de la parte norte de Querétaro e Hidalgo. Su vegetación nativa es una combinación de matorrales principalmente del tipo xerófilo, además, está bordeado por pastizales, y en las zonas de montaña, por bosques de pino.

Estos mosaicos de vegetación ya existían con una configuración similar durante el Rancholabreano de Chihuahua, y es posible que los especímenes descritos en este trabajo formaran parte de estos ecosistemas. De hecho, bajo referencia de trabajos que más adelante se analizarán, es posible que los ejemplares MDCHCPVP014 y MDCHCPVP015 jugaran un papel importante en el equilibrio de los pastizales de la época.

Antes que todo, hay que recordar que la capacidad de carga de estos ecosistemas se vio claramente alterada a raíz del cambio climático, producto del “reajuste” del plano orbital, lo que trajo no solo temperaturas menos severas, sino también cambios en su distribución geográfica. Dado que geológicamente estos cambios fueron a corto plazo, las especies se valieron de diversas estrategias para evitar su extinción, entre ellas: la reducción de tamaño en proporción a la disponibilidad de recursos; su distribución en espacios geográficos muy limitados pero con los recursos específicos necesarios (lo que a su vez generó endemismos); y explorar sinergias con miembros de la misma especie o de otras (fenómenos reconocidos por la teoría ecológica como relaciones intra e interespecíficas, respectivamente). De acuerdo con Sierra-Corona y otros, (2015), los pastizales de Janos se mantienen sanos debido a que esta última estrategia fue explorada por bisontes (*Bison bison*) y perritos de la pradera (*Cynomys ludovicianus*), los cuales lograron una sinergia efectiva a través hábitos propios.

En este sentido, el bisonte contribuye a esta sinergia gracias a su hábito de rodarse sobre la vegetación seca para eliminar ectoparásitos²³ y restos de pelambre estacional, lo cual, indirectamente facilita la reintegración de materia

orgánica al suelo, la liberación de semillas y en cierto modo, su escarificación²⁴. Finalmente, el sistema de pastoreo de estos bovinos reduce la posibilidad de que las especies con crecimientos leñosos proliferen en estas áreas; además de contribuir con la reintegración de nitrógeno y otros nutrientes, a través de la excreta y la orina.

Por otro lado, los hábitos fosforiales²⁵ de los perritos de la pradera evitan que el suelo se compacte y ayudan a que se oxigene y drene, debido a lo complejo y extenso de sus galerías. Además, sus hábitos alimenticios incluyen brotes, hojas frescas, raíces y semillas, y con ello se produce un efecto “podadora” a nivel de suelo y subsuelo, permitiendo que sean aprovechados así los recursos a los que el bisonte no tiene acceso y contribuyendo a que los procesos biogénicos²⁶ no se estanquen, lo cual mejora las condiciones de otros herbívoros, incluido el bisonte. Aunado a ello, habría que mencionar que al ser una especie prolifera en términos de reproducción, los perritos de la pradera son fuente de alimento de carnívoros de talla pequeña a mediana, como coyotes, hurones, zorros o aves rapaces.

Conclusiones

Si el modelo descrito por Sierra-Corona y otros (2015) de algún modo se pudiera extrapolar al paleoambiente donde habitaron los ejemplares de esta localidad, se podrían obtener las siguientes deducciones:

1. Entre los 21 y 10 000 años el género taxonómico *Bison* estuvo presente en los pastizales del Desierto Chihuahuense; de momento es difícil saber a cuál de sus especies pertenece la pieza MDCHCPVP015, ya que en el Rancholabreano tanto *Bison latifrons*, *B. antiquus* y *B. bison*, estaban siguiendo una línea de sustitución ecológica, que deja a este último como el representante actual del grupo para Norteamérica.
2. Aunque existen reportes bibliográficos de otras localidades fósiles al norte de Chihuahua con evidencia de este género, esos lugares no son de fácil ac-

22 Se le llama así por el antecedente histórico de principios del siglo XIX, cuando se incluía a la mitad de la región este de Sonora y al noroeste y norte de Coahuila, como parte del estado Chihuahua, espacio físico donde se ubica la región central de esta zona árida.

23 Pulgas, garrapatas, etcétera.

24 Dicho término refiere a la ruptura o desgaste de las partes más duras de una semilla (testa), con lo cual se facilita la germinación de la misma.

25 Término que refiere al hábito de cavar galerías y madrigueras.

26 Ciclos naturales en los que participan carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P) y Azufre (S) en forma de productos y subproductos de procesos bioquímicos.

ceso, y por ello el actual reporte se puede interpretar como el primero para todo el estado, o bien, el primer reporte de la región suroriente de este.

3. *M. columbi* y *E. mexicanus* son *taxa* fósiles comunes en casi toda la República Mexicana, así como en el estado de Chihuahua, por lo tanto no representa alguna novedad significativa; sin embargo, si se interpreta su presencia bajo la información de Corona-Sierra y otros (2015), es posible que esta sinergia datara desde el Pleistoceno y que un número amplio de ejemplares de *Bison* de sus tres especies, así como de roedores similares al género *Cynomys*, coadyuvaran a la subsistencia de estos y otros herbívoros dentro de los pastizales del Desierto Chihuahuense de aquella época primitiva.
4. La constante presencia en el norte del país, de localidades con material fragmentado y entremezclado refuerza la idea de que las condiciones climáticas de los pastizales desérticos y matorrales xerófilos están presentes en México desde finales del Pleistoceno; y esto sugiere las condiciones típicas de acarreo que se viven actualmente en este tipo de ecosistemas en temporada de lluvias. Cabe aclarar que hasta el momento no se ha encontrado evidencia de vegetal en la localidad, pero el hecho de encontrar piezas tan pequeñas como un diente de roedor (MDCHCPVP014) junto con material de mayor talla, lo sugiere.
5. Respecto a esta última pieza, como ya se ha dicho, no resulta diagnóstica para determinar una jerarquía taxonómica más específica que el orden. Sin embargo, los trabajos de Sierra-Corona y otros (2015) y González-Uribe (2011), nos dan argumentos para considerar que el roedor en cuestión pueda tratarse de alguna especie afín al género *Cynomys*. En caso de que esto fuera así, las piezas MDCHCPVP014 y MDCHCPVP015 (roedor y bisonte, respectivamente), darían mayor evidencia de que la localidad data del Rancholabreano, y de que la alianza entre estas especies coadyuvó a que sobrevivieran a la depauperación de los ecosistemas pleistocénicos mexicanos.
6. Este último punto enfatiza la importancia de esta localidad, así como la necesidad de ser monitoreada y dada de alta de manera adecuada, ya que como se mencionó anteriormente, existen pocas referencias del Pleistoceno chihuahuense, siendo la más sólida el trabajo realizado por Henry J. Messing en 1986.
7. La primera etapa de este trabajo ya fue presentada de manera formal en el 80th Annual Meeting-Society of Vertebrate Paleontology bajo el título "A new local fauna from the late Pleistocene of the state of Chihuahua, México".

Agradecimientos

Para fines del desarrollo de este documento y control del material reportado, se extiende un especial agradecimiento a la ingeniera geóloga Rosalba Lizbeth Nava Rodríguez, actual responsable del Laboratorio de Paleontología del Museo del Desierto Chihuahuense.

Referencias

- Arroyo-Cabrales, J., y Montellano, M. B. (2002). *Avances en los estudios paleomastozoológicos de México*. Col. Científica (443), serie Arqueología (365). Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Bravo-Cuevas V. M., Jiménez-Hidalgo, E. y Priego-Vargas, J. (2011). Taxonomía y hábito alimentario de *Equus conversidens* (Perissodactyla, Equidae) del Pleistoceno Tardío (Rancholabreano) de Hidalgo, centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(1), 65-82.
- Carroll, R. L. (1988). *Vertebrate Paleontology and Evolution*. 698 pp. W. H. Freeman and Company.
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L. y Fan, J.-X. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36(3), 199-204.
- Cooper, A., Turney, C., Hughen, Brook, B. W., McDonald, H. G. y Bradshaw, C. J. A. (2015). Abrupt warming events drove Late Pleistocene Holarctic megafaunal turnover. *Science*, 349(6248), 602-606.
- DeBlase, A. F. y Martin, R. E. (1974). *A manual of Mammalogy with keys to families of the world*. 2.ª ed. W. C. Brown Company Publisher.
- Falcon, N. (2012). *Crónicas del cosmos: Curiosidades de astronomía y astrofísica*. Cosmográfica C. A./Universidad de Carabobo/Fondo Editorial APUC.
- González-Uribe, D. U. (2011). Contribución al modelo de nicho ecológico de perrito llanero mexicano y su relación con la disminución de su rango geográfico, así como la evaluación de su riesgo de extinción [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León, México]. <https://cd.dgb.uanl.mx/bitstream/handle/201504211/16293/20039.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hickman, C. P. Jr., Roberts L. S. y Parson, A. (1998). *Principios integrales de zoología* (4.ª ed., F. Prados, trad.). Mc Graw Hill-Interamericana.
- Hildebrand, M. (1998). *Analysis of vertebrate structure* (3.ª ed.). John Wiley & Sons Inc.

- Messing, H. J. (1986). A late Pleistocene-Holocene fauna from Chihuahua, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 31(3), 277-288.
- Morán-Zenteno, D. J., Cerca, M. y Duncan-Keppie, J. (2005). La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, t. LVII, (3), 319-341.
- Romer, A. S. y Parson, T. S. (1984). *Anatomía comparada* (5.ª ed., I Lebedeff, trad.). Interamericana.
- Romer, A. S. (1968). *Notes and Comments on Vertebrate Paleontology*. The University of Chicago Press.
- Rzedowski, J. (2005). *Vegetación de México* (1.ª ed. digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sierra-Corona, R., Davidson, A., Fredrickson, E. L., Luna-Soria, H., Suzan-Azpíri, H., Ponce-Guevara, E., y Ceballos, G. (2015). Black-Tailed Prairie Dogs, Cattle, and the Conservation of North America's Arid Grasslands. [Published online]. *Plos One*; 10(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118602>
- Sour, F. T. y Montellano, M. B. (1999). Concepto de especie en organismos fósiles y las escuelas de clasificación biológica. En Pedro García *et al.* (comps.), *Paleobiología: Lecturas seleccionadas*, 127-137. Las prensas de Ciencias/Facultad de Ciencias, UNAM.
- Carey-Webb, J., Becerra, A., Anchondo, A. y Rendón-Herrera, G. (2020). Una solución natural: los pastizales de Chihuahua. NRDC. <https://www.nrdc.org/es/experts/jessica-carey-webb/solucion-basada-naturaleza-pastizales-chihuahua>

CAPÍTULO 3

Entendiendo los procesos ecológicos y evolutivos de la biodiversidad en la península de Baja California: una aproximación genética

Francisco Javier García-de León^{1*}

Introducción

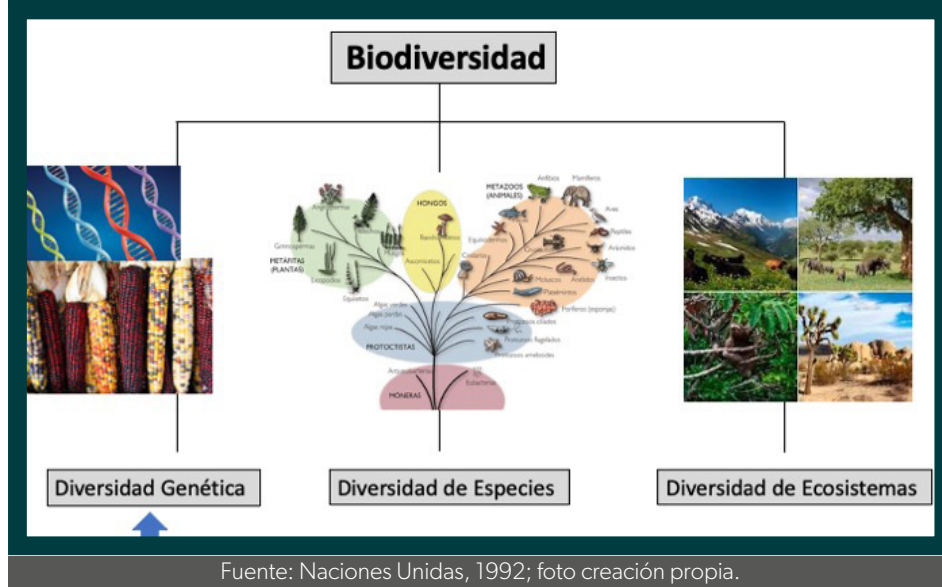
Biodiversidad es un término que hace referencia a los seres vivos y a los ambientes donde se desarrollan; también incluye las interacciones entre los animales, las plantas, el agua, el suelo y el aire que los rodean (Naciones Unidas, 1992; Chediack, 2009). Su significado varía dependiendo del contexto, por ejemplo, en el ámbito académico estas diferencias dependen de la disciplina y del área de trabajo del investigador (Núñez *et al.*, 2003). A pesar de ello, el concepto ha dejado claro su utilidad para conocer, conservar y usar de forma sostenible los recursos naturales.

La biodiversidad ha sido analizada en los niveles de diversidad de especies y diversidad de ecosistemas, sin embargo, dentro del marco del Convenio para la Biodiversidad firmado en Río de Janeiro en 1993, se reconoció un tercer nivel: el de los recursos genéticos (figura 1) (Naciones Unidas, 1992). Este nivel es quizás el menos usado para los fines de monitoreo (Hunter *et al.*, 2018), debido probablemente a los altos costos de los análisis y la falta de conocimiento,

¹ Laboratorio de Genética para la Conservación, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR). Av. IPN 195, col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B. C. S., México. C. P. 23096. *Autor de correspondencia: fgarciadl@cibnor.mx

así como la capacidad técnica de los ecólogos interesados en la conservación y manejo (Chediack, 2009).

Figura 1. Niveles jerárquicos de la biodiversidad según el Convenio para la Biodiversidad.



En los últimos años, debido a los adelantos en la secuenciación de genomas completos y la alta capacidad de analizar grandes volúmenes de información, se ha podido evaluar de forma rutinaria la diversidad genética a nivel de genomas, impactando a las diferentes áreas de la biología teórica y aplicada (Garner et al., 2016). Así, el objetivo de esta contribución es resaltar los estudios de filogeografía y genética de poblaciones, como instrumentos importantes para el conocimiento, conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los desiertos de la península de Baja California (PBC).

Antecedentes

Las disciplinas que tratan sobre el origen, mantenimiento y evolución de la biodiversidad, importantes para el conocimiento, conservación y uso sostenible de la biodiversidad, indudablemente son la filogenética, la filogeografía y la genética de poblaciones. La filogenética emplea el concepto de caracteres homólogos

como información de base para reconstruir hipótesis de ancestro-descendencia, también llamados árboles filogenéticos. Aquí es importante resaltar la frase de Dobzhansky (1973): “Nada en biología tiene sentido excepto a la luz de la evolución”, al recordar la importancia de la teoría de la evolución como una herramienta poderosa para explicar los procesos biológicos y sus usos potenciales para beneficio humano.

La filogeografía comparada, por su parte, se encarga de examina los patrones geográficos de variación genética (genealogías de genes) de varias especies codistribuidas usando métodos estadísticos explícitos (Avice, 2000). La genética de poblaciones describe la variación y distribución de la frecuencia alélica para explicar los procesos microevolutivos que ocurren a nivel de poblaciones o especies estrechamente relacionadas. Los estudios en esta disciplina se realizan mediante el análisis de las fuerzas que hacen variar las frecuencias alélicas (deriva, migración, mutación, sistemas de reproducción y selección) (Hartl y Clark, 2006) y la genética del paisaje, que toma en cuenta las características del paisaje como factores que influyen los patrones de distribución geográfica de la diversidad genética (Manel et al., 2003). Algunas de las preguntas que pretenden resolver estas disciplinas son:

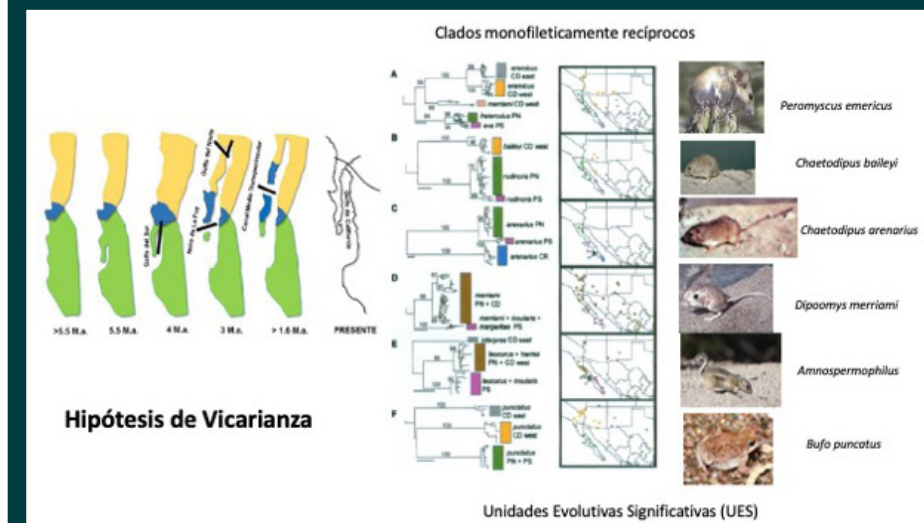
1. ¿Qué procesos ecológicos y/o evolutivos han configurado los patrones geográficos de diversidad genética de los organismos desérticos?
2. ¿Por qué es importante una visión genética en el conocimiento, conservación y manejo sostenible de la biodiversidad?

La PBC es la segunda península más larga y geográficamente aislada del mundo (Grismer, 2000); ocupa alrededor de 1,300 km de extensión. En general, se coincide en que la región posee una historia geológica compleja y algunos autores destacan que la historia geológica puede ser dilucidada a partir de la información genética de los organismos (Riddle et al., 2000). La región muestra una amplia diversidad críptica, es decir muchas especies presentan una amplia variación tanto genética como morfológica a largo de la península, por lo que no es extraño que en la PBC se encuentre una de las áreas naturales de conservación de la biodiversidad más grandes de México (Área Natural Protegida Valle de los Cirios). En este gran escenario también se puede encontrar especies con alto potencial biotecnológico, como, por ejemplo, los venenos de las víboras de cascabel.

La tectónica de placas generalmente explica la formación de la PBC y del golfo de California, siendo estos acontecimientos geológicos (eventos vicarian-

tes) los factores que pudieron ocasionar las diferencias genéticas de los organismos de la región noroeste de México, entre los más comentados en la literatura están: 1) La formación del golfo de California durante el Mioceno hace aproximadamente 5.5 millones de años (Ma), lo que aisló el continente de la península; 2) La aparición del istmo de La Paz durante el Plioceno (3 Ma), que separó la región del Cabo del resto de la península por un canal marítimo transpeninsular; 3) La formación de la parte norte del golfo de California durante el Plioceno (3 Ma), que separó las biotas del desierto cálido peninsular y continental, y del norte del golfo de California y el sur de California y Arizona; 4) La ocurrencia del canal medio transpeninsular en el Pleistoceno medio (>1.6 Ma), que aisló las biotas peninsulares norte y sur a través de una vía marítima en la región central de Vizcaíno (figura 2).

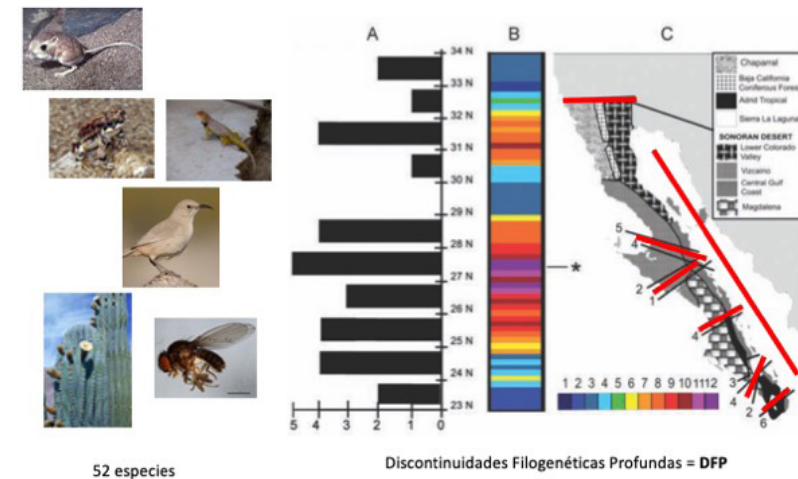
Figura 2. Eventos geológicos que separaron masas de tierra en la región noroeste de México (para explicación ver texto), interpretados a partir de las relaciones filogeográficas de mamíferos y anfibios de la península de Baja California. Se resaltan los clados monofiléticamente recíprocos (también reconocidos como Unidades Evolutivas Significativas).



Fuente: Modificado de Riddle y otros, 2000.

Los estudios filogeográficos realizados con secuencias del ADN² mitocondrial para diferentes especies de mamíferos y anfibios, muestran que la distribución espacial de la variación genética no es homogénea a lo largo de la península; en lugar de ello, dicha variación se presenta a manera de discontinuidades filogeográficas profundas (DFP) en ciertas regiones, las cuales se pueden detectar con árboles filogenéticos que muestran clados monofiléticamente recíprocos y apoyan la hipótesis de eventos vicariantes previamente descritos (Riddle et al., 2000) (figuras 2 y 3). Estos clados también son reconocidos como Unidades Evolutivas Significativas (Moritz, 1994).

Figura 3. Distribución latitudinal de discontinuidades filogeográficas profundas a lo largo de la península de Baja California para 52 taxones. (A) Frecuencia de discontinuidades angostas en 19 taxones; (B) frecuencia de discontinuidades angostas y anchas en 52 taxones; (C) tipos de vegetación en la península y ubicación de las discontinuidades que sugieren los canales marítimos. El asterisco (*) indica el área con 14 discontinuidades filogeográficas.



Fuente: Modificado de Dolby y otros, 2015.

² Sigla del ácido desoxirribonucleico, proteína compleja que se encuentra en el núcleo de las células y es el principal constituyente del material genético de los seres vivos.

Sin embargo, las hipótesis de vicarianza, como la de los canales medio transpeninsulares, se enfrentan a retos que no son posibles de conciliar, por ejemplo, los siguientes:

1. La mayoría de los estudios filogeográficos, importantes para reconstruir la historia evolutiva de las especies, se han inferido con un solo gen mitocondrial, dándose explicaciones *ad hoc* y dado que la mitocondria no recombina, las interpretaciones pueden reflejar divergencias de la molécula y no necesariamente la verdadera historia de las especies (Takahata, 1989).
2. Los canales medio transpeninsulares debieron impedir el flujo genético de todas las especies en el momento de su aparición, sin embargo, el patrón filogeográfico parece tener una correlación negativa con la capacidad de dispersión de las especies, por lo que solo una cuarta parte de las 52 especies analizadas por Dolby y otros, (2015) no muestran un DFP (figura 3). Lo anterior es debido a efectos tales como la tasa de migración elevada en aves e insectos, expansiones poblacionales recientes, o una escasa resolución de los marcadores moleculares usados.
3. La hipótesis del canal medio transpeninsular del Plio-Pleistoceno es difícil de aceptar debido a la falta de evidencia de depósitos sedimentarios de una edad entre 2 a 1 Ma.
4. Los eventos vicariantes deberían afectar al genoma de los organismos a tasas diferentes, lamentablemente, para la fauna y flora de la península no hay muchos estudios genómicos, por lo que es difícil determinar si los niveles de diferenciación genética con medidas como F_{ST} , la cual es una métrica común, proporciona evidencias de fenómenos de especiación reciente o no (Tine et al., 2014).

De acuerdo con lo anterior se resaltan dos preguntas difíciles de responder con las hipótesis vicariantes: ¿Por qué la vicarianza no permitió los mismos niveles de divergencia para todas las especies en una misma área geográfica? Si los canales medio transpeninsulares ocurrieron durante el Plio-Pleistoceno: ¿Por qué el rango de distribución no se expandió después de que las barreras geográficas desaparecieron? Otras explicaciones alternativas son, por ejemplo, 1) cambios climáticos del Holoceno, 2) el efecto de selección ocasionado por gradientes ecológicos (especiación simpátrica) y la heterogeneidad espacial existente en la península, y 3) interacciones biológicas y la selección sexual.

Mi grupo de trabajo ha contribuido con el conocimiento de estas otras explicaciones alternativas en el Noroeste de México, principalmente con la generación de nuevos datos a partir de la comparación de dos tipos de marcadores genéticos: los microsátélites, que son marcadores nucleares con altas tasas de mutación, y secuencias del ADN mitocondrial con tasas de mutación más lenta, además de un muestreo de grupos taxonómicos codistribuidos y análisis estadísticos sofisticados. Estas estrategias metodológicas han generado información nueva y relevante, pero también han resaltado la complejidad de otros procesos ecológicos y evolutivos útiles para entender el origen, mantenimiento y evolución de la biodiversidad en esta región del país. Junto con estos esfuerzos, también hemos encontrado recursos genéticos con amplias potencialidades para desarrollos biotecnológicos, por lo que comentaré un ejemplo.

Materiales y métodos

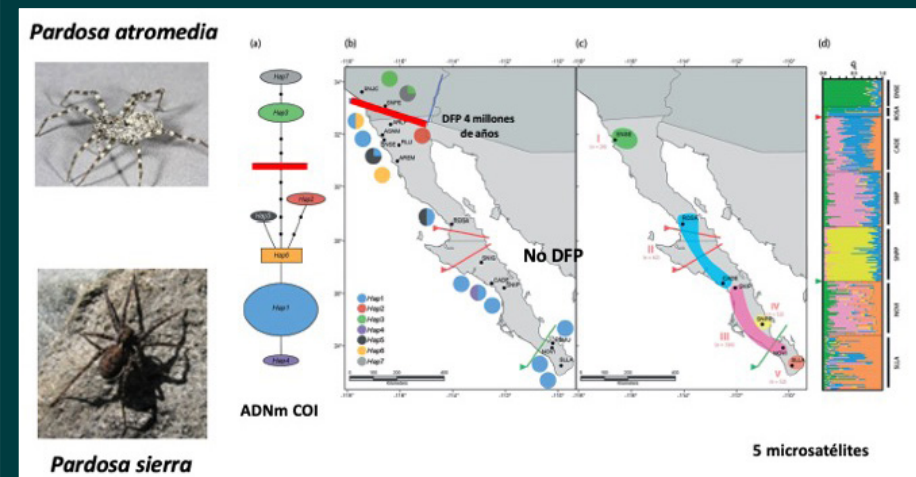
Las muestras biológicas que se usaron para este estudio fueron recolectadas con el financiamiento de un proyecto Conacyt (CB-2008-01-106925) titulado "Filogeografía Comparada en el Noroeste de México", excepto las víboras de cascabel, las cuales fueron recolectadas mediante recursos propios, además, los análisis de los venenos fueron financiados por el proyecto Conacyt PDCPN-6113. Brevemente explicado, en el laboratorio de Genética para la Conservación, del Centro de Investigaciones Biológicas, S. C., desarrollamos marcadores nucleares específicos del tipo microsátélites en las arañas y el cardón, y para las especies arañas y colibríes se secuenciaron varios genes del ADN mitocondrial. Se usaron los métodos de la filogeografía y genética de poblaciones. Para los marcadores microsátélites se usaron métodos bayesianos para reconocer el número de poblaciones, y para los genes mitocondriales se reconstruyeron árboles filogenéticos y estimaciones de tiempo de divergencia, para entender las relaciones de linajes mitocondriales y los tiempos en que divergieron los diferentes linajes. Además, se emplearon las redes haplotípicas para interpretar la demografía histórica. También, se usó el modelado de nicho ecológico con el método de Maxent, para estimar la probabilidad de ocurrencias en el rango de distribución de las especies en tiempos actuales y durante el Último Máximo Glacial. Para más detalle de los métodos consultar la bibliografía citada.

Resultados y discusiones

Un primer ejemplo es el de un grupo de arañas conocidas como arañas lobo, del género *Pardosa* y muy comunes en los desiertos del noroeste. Estas arañas viven estrechamente ligadas a los oasis de la PBC, por lo que inicialmente se pensó que su estructura genética dependía de la distribución espacial de los oasis, sin embargo, usando secuencias del ADN mitocondrial (CO1) y la construcción de redes haplotípicas, se pudo detectar una diversidad críptica, es decir, dos especies: una en el norte (California, Estados Unidos, que corresponde a *Pardosa atromedia*), y la otra endémica, que habita la PBC y corresponde a *P. sierra*. Esta última especie tiene dos poblaciones disjuntas a ambos extremos de la PBC (González-Trujillo et al., 2016). Los marcadores microsatélites detectaron cinco poblaciones sin ninguna relación con los oasis ni con las hipótesis vicariantes (figura 4).

Figura 4. Patrón filogeográfico y estructura genética de *P. sierra* en la península de Baja California.

(a) Red de haplotipos basada en 38 secuencias de CO1. (b) Distribución latitudinal de siete haplotipos del gen CO1. (c) Número de poblaciones genéticamente homogéneas (I-V) determinadas con cinco loci microsatélites en el programa Structure. (d) En el diagrama, cada barra horizontal representa un individuo y cada color representa la proporción de miembros que corresponden a cada población definida por Structure. Las líneas y flechas en los mapas indican los supuestos canales transpeninsulares. DFP = discontinuidad filogeográfica profunda.

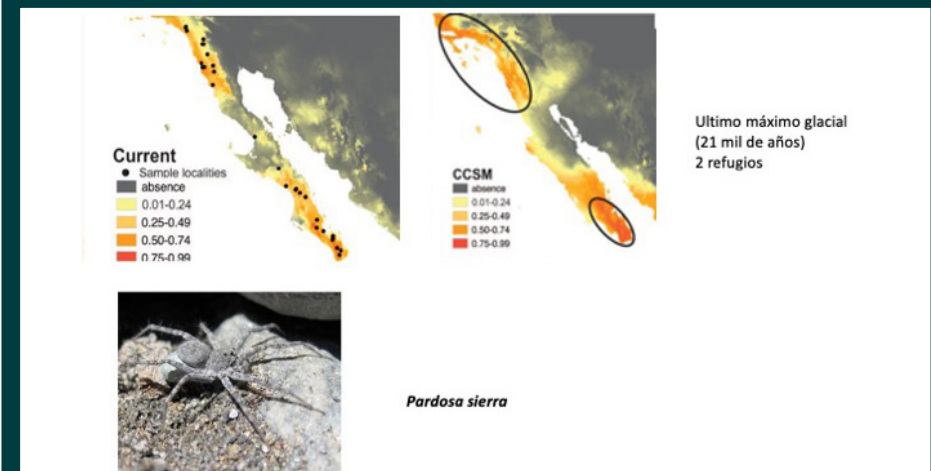


Fuente: Modificado de González Trujillo y otros, 2016.

Empleando la modelación de nicho que predice los hábitats potenciales y al usar dos variables climáticas actuales y del pasado, se descubrió que la especie presentó dos refugios en ambos extremos de la península de Baja California durante el Último Máximo Glacial, lo que podría explicar la estructura genética observada por los marcadores genéticos utilizados (figura 5).

Figura 5. Modelos de distribución basados en nichos en *P. sierra* usando el programa Maxent.

A la izquierda el modelo de tiempo actual, a la derecha el modelo correspondiente al Último Máximo Glacial (LGM) hace 21,000 años. Las barras de colores indican la probabilidad de un hábitat favorable para *P. sierra* y el rojo indica el valor más alto. Los puntos en el modelo actual indican las ubicaciones utilizadas para generar modelo y los círculos indican refugios potenciales durante el LGM.



Fuente: Modificado de González-Trujillo y otros, 2016.

Resumiendo, este invertebrado muestra un patrón filogeográfico que se puede explicar por la presencia de un evento vicariante norteño. Los datos morfológicos de los genitales de los machos y genéticos del ADN mitocondrial indican que la divergencia es a nivel de especies, siendo *P. sierra* la especie endémica de la PBC y *P. atromedia* la especie más norteña (Correa-Ramírez et al., 2010). Los datos microsatelitales apuntan a la ocurrencia de presuntos híbridos en una zona intermedia de la distribución de ambas especies. Otros estudios realizados para analizar la selección sexual de ambas especies (Méndez-Salinas, 2013) permitieron proponer una explicación alternativa para este DFP, la cual está relacionada con el fenómeno de zonas híbridas que funcionan como una

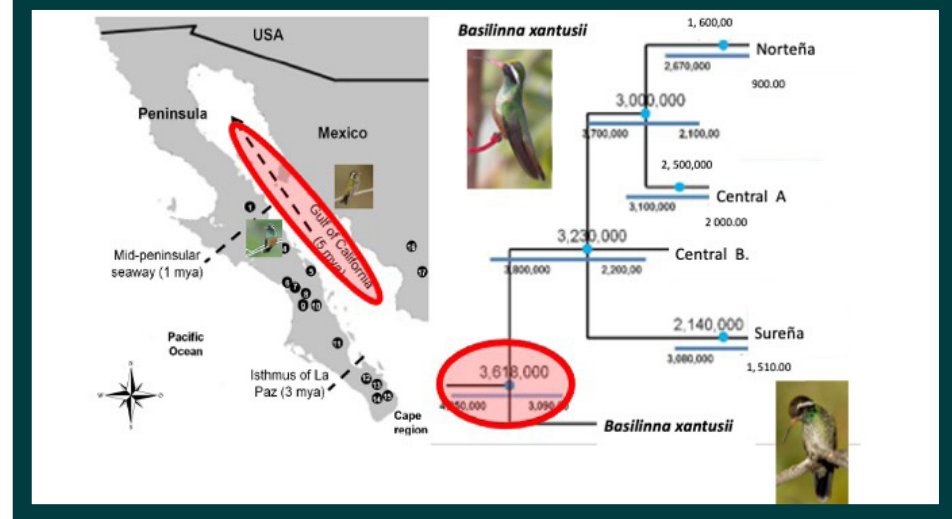
zona de reforzamiento para la identidad de cada especie. A nivel de poblaciones, la estructura genética dentro de *P. sierra* parece responder a una expansión poblacional a partir de dos refugios.

Como segundo ejemplo tenemos al colibrí endémico de la Península de Baja California; esta ave es una especie con dimorfismos sexual, que está también estrechamente relacionada a los oasis. Recientemente se revisó la taxonomía del género y ahora se reconoce como *Basilinna* (*Hylocharis*) *xantusii*. Usando secuencias de tres genes del ADN mitocondrial y análisis estadísticos bayesianos, se determinaron tres poblaciones genéticamente diferentes a lo largo de la PBC: una norteña, una central y una sureña (figura 6).



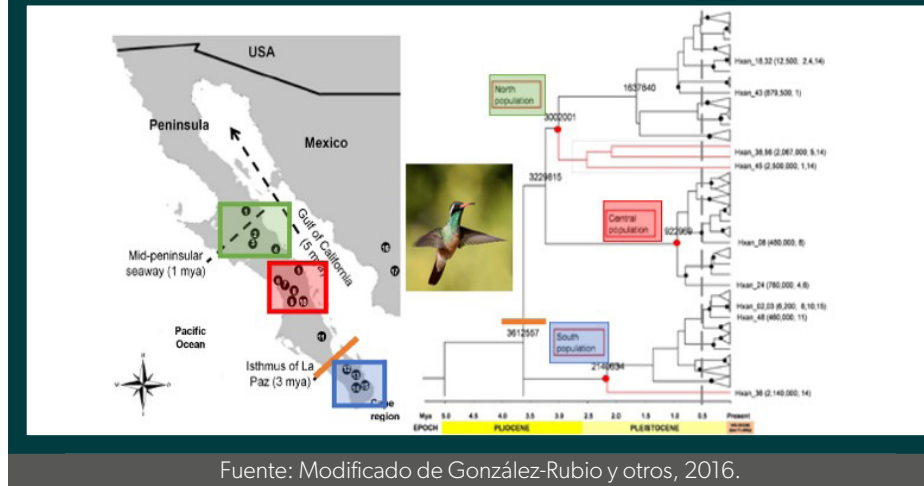
Las estimaciones de los tiempos de divergencia entre grupos filogeográficos en la PBC permitieron fechar dos DFP. El primero, que apoya la hipótesis de la formación del golfo de California, ratificó la divergencia entre *Basilinna xantusii* peninsular y *Basilinna leucotis*, su especie hermana habitante del continente; algo parecido a lo que ocurrió con las arañas lobo aunque con un tiempo de divergencia menor al que se estimó por métodos geológicos (> de 5 millones de años) (figura 7).

Figura 7. Estimaciones de tiempos de divergencia para *Basilinna xantusii* y *Basilinna leucotis*, basados en secuencias concatenadas de ADNmit (Cyt-b, CO1, ND2), utilizando un reloj molecular log-normal no correlacionado relajado, implementado en Beast. Se resalta la discontinuidad filogenética causada por la formación del golfo de California.



Un segundo DFP se descubrió en el istmo de La Paz durante el Plioceno tardío hace 3 Ma, que separó la población sureña de las restantes del centro y sur (figura 8).

Figura 8. Estimaciones de tiempos de divergencia para *Basilinna xantusii* y *Basilinna leucotis*. Se resalta la discontinuidad filogenética causada por la formación del istmo de La Paz.



Usando 16 loci microsatélites para las mismas muestras analizadas con los marcadores mitocondriales, se determinó que la estructura genética de la especie consiste en cinco poblaciones a lo largo de su distribución (García-de León et al., 2022). Esta estructura está determinada principalmente por la dispersión sesgada de las hembras, la filopatria de los machos, las variables climáticas como la estacionalidad de la precipitación y posiblemente la urbanización de los oasis; una hipótesis que tendrá que ser confirmada con más estudios de laboratorio y campo.

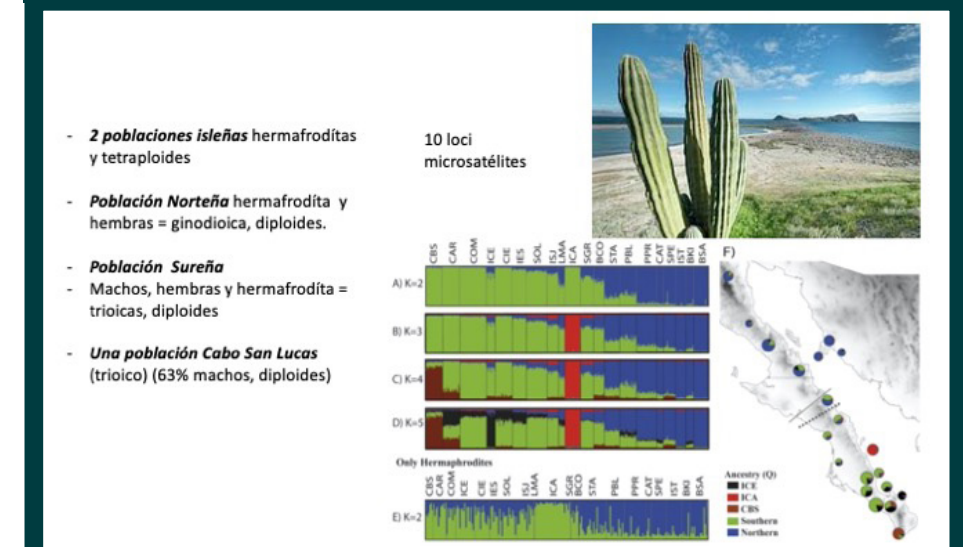
Resumiendo, para este colibrí endémico el patrón filogeográfico antiguo puede explicarse por la ocurrencia de dos eventos vicariantes: la formación del golfo de California que separa dos especies hermanas, y el istmo de La Paz que permitió la divergencia de una población sureña. Las fluctuaciones climáticas ocurridas durante los últimos 21,000 años pudieron haber afectado el entorno, pero actualmente los factores ecológicos (heterogeneidad ambiental) y la capacidad dispersiva sesgada a las hembras, son los factores que están determinando la distribución geográfica de la diversidad genética de este colibrí endémico de la PBC.

Un tercer y último ejemplo es el de una de las cactáceas ícono de la PBC: el cardón *Pachycerus pringlei*. Esta es la cactácea dominante del paisaje en toda la península y muestra amplias interacciones con muchos grupos de animales y

plantas. Usando diez loci microsatélites y analizando la estructura floral y la ploidía de estos organismos (Gutiérrez Flores et al., 2016, 2017, 2018) se determinaron cinco poblaciones genéticamente homogéneas; una población norteña (BCN) constituida por hembras y hermafroditas (sistema de reproducción ginodióico); una población sureña (BCS) formada por machos, hembras y hermafroditas (sistema de reproducción trióico); una población en Cabo San Lucas con un sistema de reproducción trióico, pero en donde los machos alcanzan una abundancia del 65%; y dos poblaciones isleñas en las cuales los individuos son todos hermafroditas (islas Catalana y Cerralvo). Además, las poblaciones isleñas son diploides ($2n = 22$) y el resto de las poblaciones, tanto en la PBC como en Sonora, son tetraploides ($2n = 44$) (figura 9).

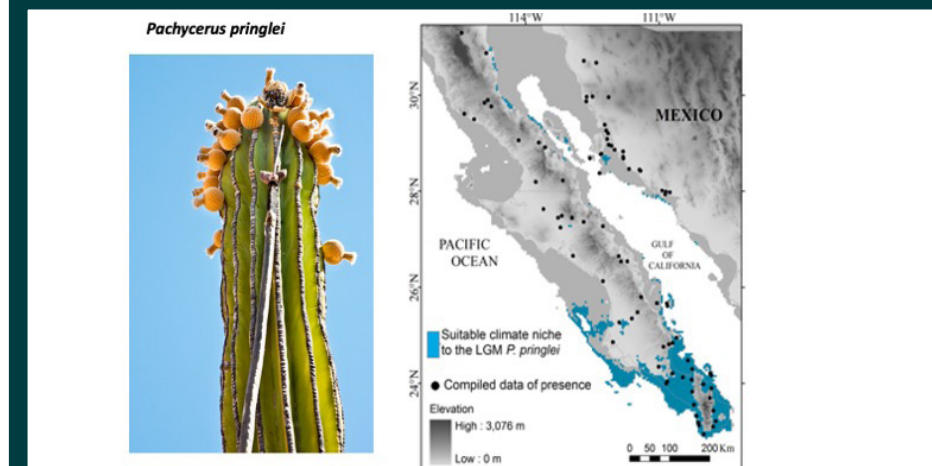
Figura 9. Análisis bayesiano basado en 10 microsatélites polimórficos en *Pachycereus pringlei*.

(A-D) Gráficos de barras de la Structure representan la ascendencia individual a través de diferentes valores de K, basados en 522 individuos de *P. pringlei*. (E) Dos grupos más probables basados en 234 individuos hermafroditas de *P. pringlei*. (F) Los gráficos circulares representan la ascendencia genética de la Structure con K = 5 poblaciones. Los tamaños de los gráficos circulares aumentan al aumentar el tamaño de la muestra. La línea discontinua representa la división geográfica de los grupos del norte y del sur. La línea gris continua representa el canal marítimo transpeninsular de Baja California.



Usando modelación de nicho, se descubrió que esta especie empleó como refugio la región sur de la PBC durante el Último Máximo Glacial (figura 10).

Figura 10. Modelación de nicho ecológico durante el Último Máximo Glacial (hace 21,000 años) determinado para *Pachycereus pringlei*. Áreas de color azul con mayor probabilidad de contener un nicho apropiado para la especie.

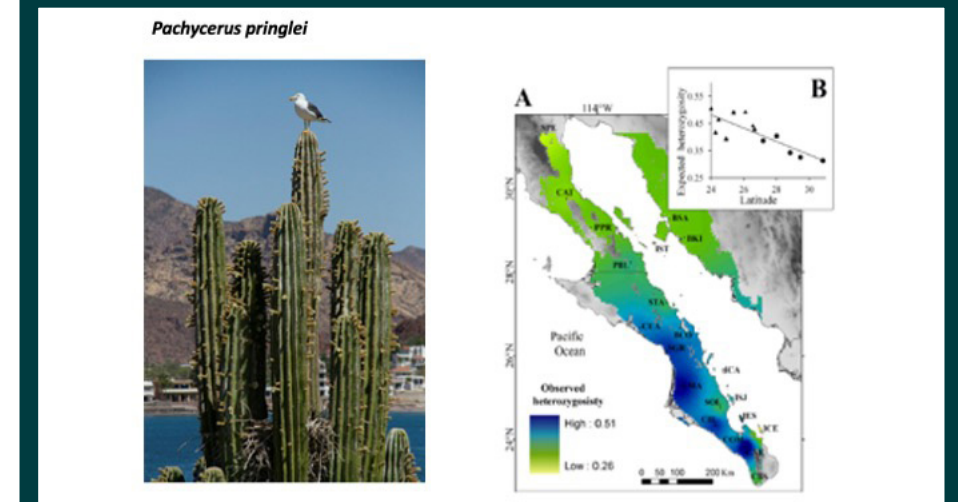


Fuente: Modificado de Gutiérrez Flores y otros, 2016.

Al restablecerse las condiciones climáticas desérticas después del Último Máximo Glacial, el cardón se dispersó hacia el norte; esto fue detectado mediante un patrón de aislamiento por distancia, en donde los individuos más próximos geográficamente están más relacionados genéticamente (figura 11). Actualmente en el norte hay mayor número de hembras y hermafroditas, lo cual resalta el éxito de estos sistemas de reproducción durante la expansión poblacional.

Figura 11. Patrón de aislamiento por distancia.

(A) Patrón geográfico de diversidad genética (heterocigosidad observada) en todo el rango de distribución de *Pachycereus pringlei*, calculado a partir de diez marcadores moleculares de microsatélites. (B) Representación gráfica de los valores de diversidad a lo largo de la latitud. Los triángulos y los círculos representan sitios de muestra de las poblaciones del sur y del norte, respectivamente.



Fuente: Modificado de Gutiérrez Flores y otros, 2016.

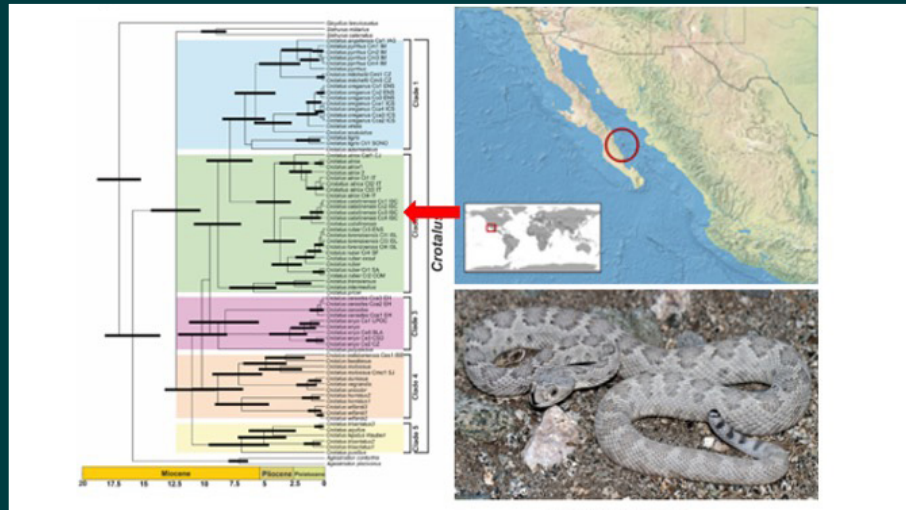
Resumiendo, para esta especie las hipótesis vicariantes parecen no haber afectado a la variación genética determinada por los loci microsatélites, sin embargo, las fluctuaciones climáticas en los últimos 21 mil años la obligaron a refugiarse en la región sur. Posteriormente se estableció un patrón de aislamiento por distancia debido a la dispersión, misma que está fuertemente correlacionada con la variación geográfica de la tasa de autofecundación, asociada a diferentes capacidades de colonización de los sexos. El aislamiento de las hermafroditas en islas profundas podría ser un mecanismo de adaptación, lo cual tendrá que ser corroborado en el futuro.

La biodiversidad como fuente de desarrollo biotecnológico

Recientemente, nuestro grupo de trabajo inició con estudios sobre las víboras de cascabel de las islas del golfo de California (Ruiz-Sánchez et al., 2019), con el objetivo de comprender las relaciones filogenéticas entre las especies y en particular, si estas especies están más relacionadas con la península de Baja California o con las especies continentales de México; también, si los tiempos de divergencia de estas relaciones son consistentes con la formación de las islas. Se realizó el

análisis filogenético y se estimaron los tiempos de divergencia utilizando inferencia bayesiana con dos genes mitocondriales (12S y 16S); en general, el tiempo de divergencia para todas las especies de *Crotalus* endémicas es consistente con la formación de las islas. Además, las especies insulares están emparentadas con sus congéneres en la Península de Baja California o México continental (figura 12).

Figura 12. Estimación de tiempos de divergencia, basado en un enfoque bayesiano de las especies de *Crotalus* del golfo de California, la península de California y el territorio continental de EUA y México, a partir de marcadores genéticos mitocondriales (12S y 16S). A la derecha se denota la ubicación geográfica de la Isla Catalana, donde habita la especie endémica *Crotalus catalinensis*.

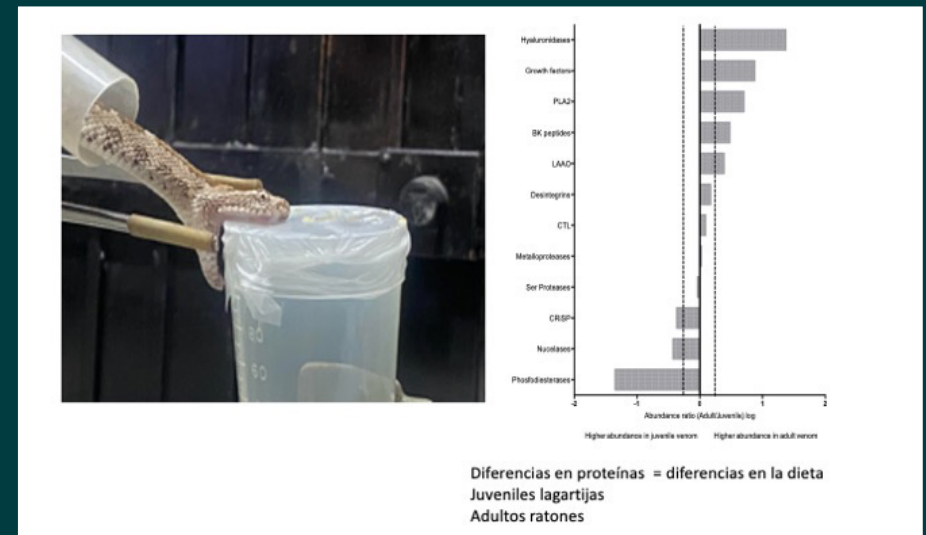


Fuente: Modificado de Ruiz-Sánchez y otros, 2019.

En un segundo estudio, se buscó determinar si la constitución bioquímica del veneno de estas víboras cambia a lo largo del tiempo; para ello se analizó la variabilidad ontogenética en la composición del veneno de ejemplares jóvenes y adultos de *Crotalus catalinensis*, mediante análisis de espectrometría de masas (Arnaud Franco et al. 2021). Se descubrió que, las diferencias en la composición proteica de los venenos, está relacionada con la dieta de los organismos: los juveniles se alimentan de lagartijas y los adultos de ratones (figura 13). Es interesante y por ello se resalta que, los venenos que han sido analizados para otras espe-

cies de cascabel han sido patentados como químicos antiinflamatorios y como agentes contra el cáncer. Nuestro análisis de venenos procura emplear un marco de análisis evolutivo para mejorar el uso potencial biotecnológico de los venenos en estos organismos.

Figura 13. Comparativa de proteínas relacionadas con toxinas entre venenos de *Crotalus catalinensis* adultos y juveniles. A la izquierda, toma de muestra de venenos. A la derecha, se indica la expresión diferencial de las toxinas, la cual se definió como un incremento de dos veces en la proporción de abundancia (líneas de puntos).



Diferencias en proteínas = diferencias en la dieta
Juveniles lagartijas
Adultos ratones

Fuente: Modificado de Arnaud Franco y otros, 2021.

Expectativas

La socialización de los esfuerzos de investigación es una parte de nuestro trabajo en la que se carece de experiencia; por ello, una de las motivaciones para participar en coloquios y para escribir, es compartir las experiencias adquiridas, sobre todo con otros investigadores que trabajan diferentes enfoques (históricos, sociales, económicos, etc.), buscando también incidir en el proceso de enseñanza-aprendizaje a nivel básico y medio superior. Una pequeña reflexión sobre el valor de uso de la biodiversidad podría ayudar a comunicar las ideas. Es sabido que el humano pierde interés cuando desconoce el valor de uso de las cosas, sin embargo, cuando comprende cómo los seres vivos se han originado, se han mante-

nido y han evolucionado hasta los tiempos actuales, y además comprende cómo el mismo ser humano intenta escudriñar los complejos procesos de sobrevivencia y adaptación, entiende mejor la importancia de conocer, conservar y usar sosteniblemente los recursos genéticos en una de las zonas más extremas del país.

Consideramos que, si lo antes expresado se aprende en las primeras etapas de la formación, se podrá hacer una impronta profunda, necesaria para la conservación de la naturaleza en su conjunto. Por todo lo anterior es que se busca encontrar eco entre los estudiantes, los lectores y las personas en general, para poder desarrollar esfuerzos conjuntos con el fin de sensibilizar sobre estos temas en la región Noroeste de México.

Conclusiones

Todos los estudios realizados por nuestro grupo de trabajo revelan incertidumbres en la interpretación de la información genética, sobre todo ante las hipótesis hegemónicas de vicarianza, aun así, está claro que los patrones filogeográficos de taxones codistribuidos observados pueden responderse con otras explicaciones alternativas, como las siguientes cuatro: refugios del Último Máximo Glacial y subsecuente expansión poblacional (arañas, aves y cactus); heterogeneidad espacial (aves) y especiación ecológica; hibridación de especies estrechamente relacionadas y/o reforzamiento (arañas, aves); y sistemas de reproducción y ploidía (cactus).

Estos estudios son relevantes para la conservación de especies usando los niveles de diversidad genética de taxones codistribuidos y el concepto de potencial evolutivo, también son útiles para el descubrimiento de nuevos modelos biotecnológicos y, en última instancia, porque en este mundo compartimos el planeta Tierra con otros millones de especies y no tenemos el derecho de exterminarlas solo por ser humanos.

Agradecimientos

Al Conacyt, por los proyectos CB-2008-01-106925 y PDCPN-6113. A los estudiantes: Ricardo González Trujillo (Posdoc, 2015); Miguel Correa Ramírez (Doctorado, 2010); Carina Gutiérrez Flores (Doctorado, 2015); Cristina González Rubio (Doctorado, 2016); Sarai Esquivel Bobadilla (Maestría, 2011); Emiliano Méndez Salinas (Maestría, 2013); Adrián Lozano Garza (Maestría, 2013); Tania Valdivia Carrillo (Maestría, 2014); y Georgina Morales Flores (Maestría, 2020). A los colegas investigadores: María Luisa Jiménez (CIBNOR), María Carmen Blázquez (CIBNOR), José Luis León de la Luz (CIBNOR), Ricardo Rodríguez Estrella (CIBNOR),

Patricia González Zamorano (CIBNOR), Eduardo Romero Vivas (CIBNOR), Susana Favela (UANL), Eduardo Ruiz Sánchez (UNAM) y Hugo Cota Sánchez (U. Saskatchewan, Canadá). Al laboratorio de Genética para la Conservación.

Referencias

- Arnaud Franco, G. A., García-de León, F. J., Beltrán Morales, L. F. y Carbajal Saucedo, A. (2021). Proteomic comparison of adult and juvenile Santa Catalina rattlesnake (*Crotalus catalinensis*) venom. *Toxicon*, 193:55-62.
- Avise, J. C. (2000). *Phylogeography: The history and formation of species*. Harvard University Press.
- Chediack, S. E. (2009). Conceptos generales sobre biodiversidad y manejo de recursos naturales. En Chediack, S. E. (comp.). *Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿para qué?*, 13-27. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Correa-Ramírez, M. M., Jiménez, M. L. y García-de León, F. J. (2010). Testing species boundaries in *Pardosa sierra* (Araneae: Lycosidae) using female morphology and COI mtDNA. *Journal of Arachnology*. 38(3):538-554.
- Dobzhansky, T. 1973. Nothing in biology makes sense except in the light of Evolution. *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129.
- Dolby, G. A., Bennett, S. E. K., Lira-Noriega, A., Wilder, B. T. y Munguía-Vega, A. (2015). Assessing the geological and climatic forcing of biodiversity and evolution surrounding the gulf of California, *Journal of the Southwest*. 57(2-3), 391-455.
- García-de León, F. J., Rodríguez-Estrella, R., Mendoza-Portillo, V., Morales-Flores, G. y Jiménez-Guevara, C. D. (2022). Contemporary genetic structure of Xantus's Hummingbird (*Basilinna xantusii*) in the Baja California peninsula. *Ibis*. <https://doi.org/10.1111/ibi.13126>
- Garner, B. A., Hand, B. K., Amish, S. J., Bernatchez, L., Foster, J. T., Miller, K. M. y Luikart, G. (2016). Genomics in conservation: Case studies and bridging the gap between data and application. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(2), 81-83.
- González-Rubio, C., García-de León, F. J. y Rodríguez-Estrella, R. (2016). Phylogeography of endemic Xantus' hummingbird (*Hylocharis xantusii*) shows a different history of vicariance in the Baja California peninsula. *Molecular Phylogenetic and Evolution*, 102:265-277.

- González-Trujillo, R., Correa-Ramírez, M. M., Ruiz-Sánchez, E., Méndez Salinas, E., Jiménez, M. A. y García-de León, F. J. (2016). Pleistocene refugia and their effects on the phylogeography and genetic structure of the wolf spider *Pardosa sierra* (Araneae: Lycosidae) in the Baja California Peninsula. *Journal of Arachnology*, 44(3):367-379.
- Grismer, L. L. (2000). Evolutionary biogeography on Mexico's Baja California peninsula: A synthesis of molecules and historical geology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(26):14017-14018.
- Gutiérrez Flores, C. García-de León, F. J., León de la Luz, J. L. y Cota-Sánchez, J. H. (2016). Microsatellite genetic diversity and mating systems in the columnar cactus *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 22:1-10.
- Gutiérrez Flores, C., Cota-Sánchez, J. H., León de la Luz, J. L. y García-de León, F. J. (2017). Disparity in floral traits and breeding systems in the iconic columnar cactus *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Flora*, 235:18-28.
- Gutiérrez Flores, C., Cota-Sánchez, J. H., León de la Luz, J. L. y García-de León, F. J. (2018). Variation in chromosome number and breeding systems: implications for diversification in *Pachycereus pringlei* (Cactaceae). *Comparative Cytogenetics*, 12(1):61-82.
- Hartl, D. L. y Clark, A. G. (2006). *Principles of Population Genetics* (4.ª ed.). Sinauer Associates.
- Hunter, M. E., Hoban, S., Bruford, M. W., Segelbacher, G. y Bernatchez, L. (2018). Next generation conservation genetics and biodiversity monitoring. *Evolutionary Applications*, 11:1029-1034.
- Manel, S., Schwartz, M. K., Luikart, G. y Taberlet, P. (2003). Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics. *Trends in Ecology and Evolution*, 18:157-206.
- Méndez-Salinas, E. (2013). La selección sexual sobre el cortejo como potencial motor de especiación y diversificación en *Pardosa sierra* Banks, 1989 (Araneae: Lycosidae) [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste]. <http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/155>
- Moritz, C. (1994). Defining "evolutionarily significant units" for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 9:373-375.
- Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la diversidad biológica. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Núñez, I., González-Gaudiano, E. y Barahona, A. (2003). La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. *Interciencia*, 28(7): 387-393.
- Riddle, B. R., Hafner, D. J., Alexander, L. F. y Jaeger, J. R. (2000). Cryptic vicariance in the historical assembly of a Baja California Peninsular Desert biota. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(26):14438-14443.
- Ruiz-Sánchez, E., Arnaud, G., Cruz-Andrés, O. R. y García-de León, F. J. (2019). Phylogenetic relationships and origin of the rattlesnakes of the gulf of California islands (Viperidae: Crotalinae: Crotalus). *The Herpetological Journal*, 29(3):167-177.
- Takahata, N. (1989). Gene genealogy in three related populations: Consistency probability between gene and population trees. *Genetics*, 122: 957-966.
- Tine, M., Kuhl, H., Gagnaire, P.-A., Louro, B., Desmarais, E., Martins, R. S. T., Hecht, J., Knaust, F., Belkhir, K., Klages, S., Dieterich, R., Stueber, K., Piferer, F., Guinand, B., Bierne, N., Volckaert, F. A. M., Bargelloni, L., Power, D. M., Bonhomme, F., Canario, A. V. M. y Reinhardt, R. (2014). European sea bass genome and its variation provide insights into adaptation to euryhalinity and speciation. *Nature Communication*, 5. <https://doi.org/10.1038/ncomms6770>

CAPÍTULO 4

Presencia de cánidos en contextos arqueológicos en el norte de Sonora

Carlos Cruz Guzmán^{1*}
Silvia Ivet Nava Maldonado²

Introducción

De acuerdo con Schwartz (1998) lo más notable de los perros es su capacidad para adaptarse a las necesidades de las personas con las que viven; los perros han demostrado ser seres increíblemente flexibles. Valadez Azúa y otros (2014, p. 597) indican que el perro es uno de los vertebrados con mayor presencia en el registro arqueológico mesoamericano, porque comúnmente sus huesos, cráneos o esqueletos completos son encontrados asociados a pasajes culturales del pasado de todo tipo: basureros domésticos, unidades habitacionales, áreas de actividad, entierros u ofrendas de alto valor simbólico. Estos datos, unidos a su condición de animal doméstico, le hace “poseedor” de un enorme potencial como fuente de información relacionada con el esquema de vida de quienes le emplearon en el pasado.

En las culturas que se desarrollaron en el Norte de México sucede de manera semejante. Waters (2008, p. 3) indica que la presencia de cánidos en sitios arqueológicos norteros es extensa y que estos jugaron diferentes roles, tanto en la vida como en la muerte, aunque reconoce que el significado de dichas espe-

¹ Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). *autor de correspondencia: carloscruzguzman76@hotmail.com

² INAH.

cies no ha sido abordado del todo, por lo que información valiosa ha quedado sin explorar. Coincidimos con Valdez Azúa y otros (2014, pp. 612-615) respecto a que la presencia de cánidos en los contextos arqueológicos es amplia y variada, por lo que estos hallazgos deben evaluarse de acuerdo con su contexto para identificar el significado del perro en las antiguas civilizaciones prehispánicas.

Los perros han acompañado al hombre desde hace mucho tiempo y han sido partícipes de numerosas actividades domésticas (como animal de compañía y/o guardia, compinche de juegos, caza, fuente de pieles o pelo, ropa, joyería y hasta comida) y rituales; también forman parte de la historia oral y el arte (véase Taylor y otros, 2008, p. 1; Waters, 2008, p. 3).

Sin embargo, el género *Canis* incluye a los perros, coyotes, lobos y chachales, lo que deja en claro que en el registro arqueológico se han omitido especies a favor del perro. Es muy probable que existan otras especies animales subrepresentadas, por lo que identificar en la medida de lo posible qué mamíferos tenemos en los contextos es sumamente importante para realizar interpretaciones más acertadas, pues no solo los perros han jugado roles específicos e importantes durante su vida e incluso en su muerte, en actividades asociadas con el hombre.

Este trabajo se enfoca en los hallazgos más recientes sobre cánidos, obtenidos en las excavaciones arqueológicas en la región norte de Sonora; es de especial interés para arqueólogos, biólogos y público en general interesado en el aprovechamiento del desierto a partir de la interpretación de la evidencia recuperada de los antiguos pobladores de la región.

Antecedentes

A partir de los trabajos realizados durante el Proyecto de Salvamento Arqueológico Gasoducto Sásabe-Puerto Libertad, se intervinieron 23 sitios arqueológicos en los municipios de Saric, Altar, Caborca y Pitiquito, en el Noroeste del estado de Sonora. En este proyecto se identificaron numerosos contextos habitacionales, productivos y fúnebres de diversas ocupaciones. Los asentamientos habitacionales muestran un constante aprovechamiento de la biota en su sentido más amplio; no solo conocían la fauna y la flora, sino que tenían un amplio conocimiento del ecosistema, el cual incluía el suelo, ríos, arroyos y la orografía, lo favoreció el aprovechamiento de dichos recursos cuyos restos quedaron representados en los diferentes contextos arqueológicos al interior de hornos, fogones, hoyos de poste, inhumaciones y cremaciones, entre otros.

Los contextos productivos abarcan desde el aprovechamiento a nivel micro, hasta el de gran escala y se observó una constante ocupación de un área con recursos. Los contextos fúnebres están representados por la inhumación y la cremación, tanto humanas como animales. Es precisamente sobre los restos animales, en específico del género *Canis*, que este trabajo presenta algunos de los resultados obtenidos a partir de las investigaciones realizadas.

Método

El análisis arqueofaunístico fue realizado por los zooarqueólogos M. Fabiola Torres-Estévez y Dr. Gilberto Pérez Roldán, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Nava Maldonado y Cruz Guzmán, 2018, pp. 1215-1249). La metodología seguida fue la siguiente:

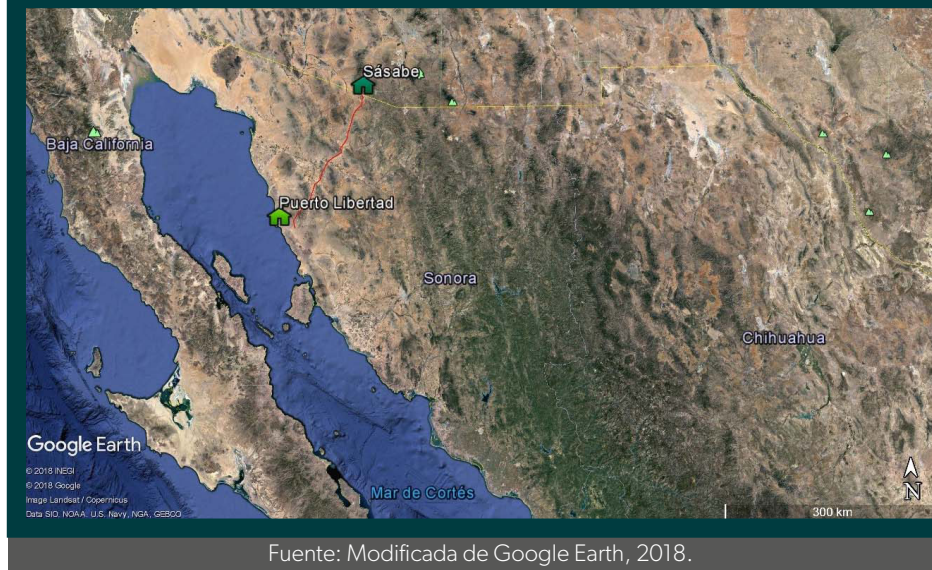
- a) Identificación taxonómica, en la cual se registró el número de restos identificados y el número mínimo de individuos identificados
- b) Identificación anatómica
- c) Identificación de agentes tafonómicos naturales y búsqueda de marcas de manipulación
- d) Búsqueda de datos sobre la exposición del hueso al calor o fuego

A partir de este análisis se recuperaron 3021 restos identificados con un número mínimo de 105 individuos, representantes de 80 especies diferentes de vertebrados e invertebrados.

Resultados

En la figura 1 se muestra la ubicación general de los sitios arqueológicos al Noroeste de Sonora donde se identificó presencia de cánidos en diferentes contextos.

Figura 1. Se observa en rojo el área donde se identificaron los sitios mencionados en este trabajo.



Fuente: Modificada de Google Earth, 2018.

En el sitio Los Varela se registró una inhumación animal expuesta en superficie: era un ejemplar de *Canis lupus familiaris*, depositado al interior de una fosa debajo de una casa; estaba en posición decúbito lateral izquierdo, semi flexionado, con el cráneo colocado en posición nadir-cenit y con las extremidades estaban ligeramente flexionadas. La orientación de la inhumación era este-oeste, en la cual el cráneo estaba ubicado al oeste y la cola hacia el sur (Nava Maldonado y Cruz Guzmán, 2018, pp. 849-852). El análisis del esqueleto indicó que se trataba de un individuo juvenil, sin tratamiento térmico. La tibia derecha presentó osteofitos en la diáfisis y patologías en las vértebras dorsales (véase figura 2).

Por su parte, en el sitio El Carrizal se localizó durante un sondeo una inhumación animal de *Canis lupus familiaris* (Blanquel, 2013); no se describieron las características sobre el contexto, posición o materiales asociados a dicho elemento arqueológico. El análisis arqueofaunístico mostró que era un individuo de 4.5 meses de edad.

A su vez, en el sitio El Cuchillón 3 se identificó un ejemplar de *Canis sp.* depositado al interior de una fosa debajo de una casa; aunque estaba muy alterado se pudo identificar que fue colocado en decúbito lateral izquierdo, semi flexionado y con las extremidades ligeramente flexionadas. La orientación de la

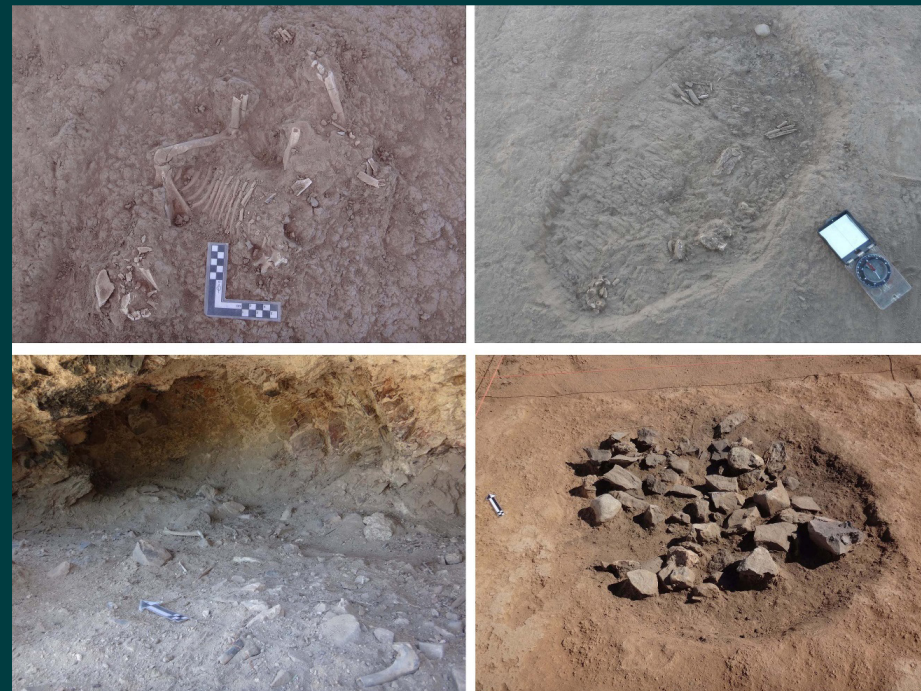
inhumación era este-oeste, el cráneo ubicado al este y la cola hacia el oeste (Nava Maldonado y Cruz Guzmán, 2018, p. 361). No fue posible determinar otras características del espécimen (figura 2).

En este mismo sitio, se identificó una falange proximal de *Canis sp.* en el fondo de un hoyo de almacenamiento; estaba quemada a una temperatura aproximada de 400°C y pertenecía a un individuo adulto. Asociado al resto óseo se registraron un disco perforado de cerámica, rocas angulosas y ceniza. En el fondo de otro hoyo de almacenamiento cercano se identificó un metápodo de *Canis sp.*, que perteneció a un individuo adulto.

En tanto, en el sitio El Cuchillón 1 se localizó en la parte media de una elevación un pequeño abrigo rocoso; al interior del mismo se registró una capa de materia orgánica (chollas quemadas), debajo de la cual se identificaron numerosos fragmentos de huesos con evidencia de exposición al fuego (directo o indirecto). La evidencia sugiere que la quema fue realizada en el mismo lugar, esto debido a la acumulación de ceniza, carbón y restos de madera quemada encontrados en el lugar. Además, el techo y algunas zonas de las paredes mostraban partes ahumadas de color negro.

Ahí mismo, en El Cuchillón 1, se identificaron en un espacio menor a 1 m² restos de cánidos (*Canis sp.*), coyote (*Canis latrans*), guajolote, paloma aliblanca, tuza, sapo, rana, tortuga, liebre, conejo, concha, serpiente, cérvido, felino y zorrillo (Nava Maldonado y Cruz Guzmán, 2018, pp. 318-322). El estudio de la fauna indicó que los restos de coyote eran de un individuo subadulto, sin tratamiento térmico, mientras que los huesos de cánido presentaron exposición al fuego (cocido) y pertenecieron a un individuo adulto (véase figura 2).

Figura 2. Arriba a la izquierda: *Canis lupus familiaris* identificado en Los Varela. Arriba a la derecha: *Canis lupus familiaris* identificado en El Cuchillón 3. Abajo a la izquierda: restos óseos de *Canis sp.* y de *Canis latrans* junto con otras especies animales. Abajo a la derecha: fogón con restos de *Canis sp.* en el fondo.



Fuente: Imágenes del archivo del Proyecto de Salvamento Arqueológico Gasoducto Sáabe-Puerto Libertad.

En el sitio Arroyo AAAA3 se identificó un fogón con rocas expuestas al fuego, concentración de ceniza, carbón y hueso animal quemado en el fondo. Los restos óseos pertenecían a dos vértebras caudales completas de un individuo adulto de *Canis sp.*, las cuales mostraban exposición al fuego (una cocida y otra quemada) (Nava Maldonado y Cruz Guzmán, 2018, pp. 8-70).

Por su parte, en el sitio AAAA1 se registró un hallazgo semejante: en el fondo de un fogón con rocas expuestas al fuego y concentración de ceniza y carbón, se recuperaron restos óseos de animal que correspondían a los huesos largos de un cérvido, así como molares y un radio de un cánido (*Canis sp.*), además de huesos largos de otro mamífero no identificado (Nava Maldonado y Cruz

Guzmán, 2018, pp. 168-169). Los restos óseos presentaban exposición al fuego: los del cánido estaban cocidos y los de cérvido estaban quemados (figura 2).

También, en estos sitios se tiene registro de algunos hallazgos aislados de *Canis sp.* desde la superficie hasta en pozos, pero no muestran un contexto claro al cual ser asociado. Estos restos presentan exposición al fuego (directa o indirecta).

Discusión

En este punto, es relevante considerar la presencia de cánidos en otros contextos en sitios arqueológicos en Sonora. Varios autores (Martínez-Lira et al., 2011, p. 42; Carpenter et al., 2003, p. 18; Carpenter et al., 2015, pp. 235-237) reportaron numerosos entierros de perros domésticos (*Canis familiaris*) en el sitio arqueológico La Playa durante las fases San Pedro y Ciénega; sin embargo, indican que no hay evidencia de que los perros fueran parte de la dieta humana, y sugieren que estos animales tuvieron un rol diferente a la alimentación de los antiguos pobladores. Carpenter y otros (2015, pp. 235-237) consideran que el hecho de haber colocado a los cánidos dentro de áreas para inhumaciones humanas, probablemente refleje una relación significativa que se daba entre ellos, al ser los canes enterrados de manera comunal o ritual.

Contextos semejantes fueron localizados en el sitio Las Capas, en Arizona, donde se identificaron restos parcialmente articulados de un cánido (*Canis sp.*) al interior de una fosa (Ruble et al., 2008, pp. 105-107). También se registró un depósito ritual³, consistente en una fosa que contenía un par de cráneos de cánidos, uno enfrente del otro (Ruble et al., 2008, p. 137). Igualmente, La Motta (2008, p. 8) identificó dos cánidos en contextos que se interpretaron como rituales de clausura de dos kivas al centro de Arizona.

En otro tipo de contextos arqueológicos, Amador Bech (2017a; 2018) indica que ha identificado escenas de caza de venados que parecen ser perseguidos por perros, en los petrograbados de La Proveedora en Caborca, Sonora. Del mismo modo, en otras excavaciones se han identificado pendientes en piedra y concha con motivos zoomorfos, los cuales muy probablemente representen

³ Definen depósitos rituales como aquellos que cumplen con las expectativas derivadas de las comparaciones interculturales, es decir, son redundantes y estandarizados, pero distintivos y separados de los depósitos derivados de las actividades mundanas. No son conjuntos de facto, pues no fueron abandonados inesperadamente durante el uso o almacenados para su utilización posterior; más bien, los elementos fueron colocados deliberadamente en fosas y enterrados con otras intenciones, sea para desgastarse durante los rituales o para romperse (Ruble et al., 2008, p. 137).

cánidos, y estos son objetos que pueden trascender los fines prácticos y tener un amplio significado simbólico (véase Nava Maldonado y Cruz Guzmán, 2018).

Al analizar colecciones de materiales arqueológicos, Ferg (2008, p. 7) describe el hallazgo de tres vasijas zoomorfas de cánidos que pudieran estar descansando o durmiendo; las características de las mismas sugieren que podría tratarse de perros, y que el uso de las ollas podría ser esotérico pero desconocido. Por su parte, Brody (2008, p. 10) realiza un análisis estilístico a la cerámica Mimbres, donde intenta diferenciar animales por especie, y concluye que para saber si un cánido es un perro debe estar asociado con actividades humanas, mientras que aquellos que no lo están, son otra especie (coyote, por ejemplo); aunque reconoce que la división puede ser arbitraria.

En nuestro caso, los perros de los sitios El Carrizal y Los Varela son muy semejantes en características a los identificados en La Playa (en la forma de depósito, su posición y porque se encontraron sin ofrendas cerca de inhumaciones humanas); aparentemente coinciden con la temporalidad, aunque solo tengamos fechamientos por asociación en el ejemplar del sitio Los Varela. El cánido del sitio El Cuchillón 1 no pudo ser identificado más allá de la especie, pero de acuerdo con su tratamiento mortuario y contexto es posible que se trate de un perro. Sin embargo, los contextos identificados en los sitios El Cuchillón 3, Rancho AAAA1 y Rancho AAAA3 no son comunes en la arqueología de la región.

Por otro lado, etnográficamente, Rea (1981, p. 69) indica que el perro y el coyote representan un tabú alimenticio⁴ por todas las tribus de desierto, a excepción de los *Mohave* (mojaves), esto, a pesar de ser un recurso nutritivo disponible, lo que sugiere que los tabúes funcionaban como símbolos de identidad de grupo. Aunque Rea reconoce que entre menor sea la disponibilidad de los recursos, menores serán las restricciones y viceversa (p. 69).

De igual forma, Casteter y Underhill (1935, pp. 69 y 72), así como Nabhan y otros (1982, p. 137), mencionan que las mascotas de los pápagos⁵ en los viejos tiempos eran perros (*Canis familiaris*) y algunas especies de aves. Los perros se usaban para proteger las casas y rara vez para cazar. Eran de una raza era pequeña y blanca, de compleción parecida a la de un coyote (*Canis latrans lestes*), pero con pelaje más suave y solo la mitad del tamaño. Los coyotes solo se mantenían como mascotas si se capturaban jóvenes, sin embargo, Nabhan y otros (1982, p.

137) indican que el coyote era empleado con fines religiosos, aunque no especifica más.

Casteter y Underhill (1935, pp. 69 y 72) mencionan que el uso del carcaj es relativamente reciente entre los pápagos y que una de las pieles utilizadas para elaborarlos era la del coyote, misma que se trabajaba tal y como era retirada del animal (sin ningún tratamiento).

Coincidimos con Rea (1981, p. 69) en la consideración de que el aprovechamiento de los recursos utilizados por los pueblos antiguos es ignoto y que desconocemos por completo la importancia de los tabús específicos. Además, varias especies de animales y plantas han sido diezmadas o extirpadas localmente debido a la destrucción del desierto, por lo que el uso de estas por los grupos indígenas pudo haber cambiado o desaparecido por completo.

También concordamos con Valadez Azúa y otros (2014, p. 597) al considerar que cada región cultural tuvo un esquema religioso particular que se manifestaba en el desarrollo de las festividades, en las deidades involucradas, en el tipo de eventos ceremoniales, en los elementos que rodeaban las actividades funerarias, religiosas o domésticas, en las cuales es claro que el perro era un participante.

Los pápagos consideran que su hábitat posee propiedades alimentarias y rituales; sobre la fauna piensan que el coyote, el venado, el águila y el búho son animales que tienen características rituales por ser personajes de la mitología de su pueblo (Alvarado, 2007, p. 14). De igual forma, en el sistema de parentesco bilateral, en términos rituales se reconoce un tipo de parentesco de linaje que funciona entre dos mitades: buitre y coyote (Alvarado, 2007:22).

Amador Bech (2009) indica que en la cosmogonía o'odham (nombre que se dan a sí mismos los indígenas llamados por los españoles pápagos) el coyote tiene un papel primordial al ser una deidad demiurgo⁶, creada por un principio dual (el acercamiento de Sol y Luna dan origen a Coyote, quien es dios-hombre-animal); es una de las energías sustantivas que rigen al cosmos y a los seres vivos, y cuya oposición complementaria mueve todas las cosas. De igual forma, durante un patrón mítico que define la transmisión cíclica de la función de dios regidor en distintas etapas de la creación cósmica, Coyote obtiene la posición hegemónica y con ello la conducción del destino de los hombres (p. 17).

Coyote tiene los atributos del tramposo, quien a decir de Amador (2009, p. 19) es un rasgo característico tanto en el chamanismo del noroeste de México y suroeste de Estados Unidos, como de Mesoamérica. Coyote está presente en

⁴ En este caso el tabú se entiende como una prohibición alimentaria en sentido general para toda la comunidad.

⁵ Grupo indígena que actualmente ocupa el territorio donde se realizaron los trabajos arqueológicos.

⁶ Según la filosofía platónica y gnóstica es el artífice o alma universal, el principio ordenador de los elementos preexistentes (Amador, 2009, p. 16).

numerosos mitos o'odham, por ejemplo, en aquel donde engaña a la tortuga y le quita las semillas de pitaya del saguaro y las dispersa por todo el desierto, dando así a los hombres esa planta sagrada que es vital para la dieta, la construcción de las casas tradicionales, la elaboración de la bebida ritual embriagante y otras tantas cosas (p. 28). Sin embargo, para Dody Fugate (en Taylor et al., 2008, p. 4) el arribo de los españoles (quienes traen el concepto de dominación del hombre sobre los animales) cambió el pensamiento de los pueblos indígenas, y así los perros se volvieron simples mascotas.

Conclusión

En este breve esbozo se puede observar que los cánidos tienen una gran presencia tanto en los contextos arqueológicos como en la cosmogonía y vida diaria de los grupos indígenas que conviven en el desierto de Sonora. Ya sea como perro o como coyote, es evidente que el conocimiento con el que se cuenta actualmente sobre el papel de los cánidos en el noroeste de Sonora es minúsculo. En nuestro caso, tenemos una muestra arqueológica muy reducida y en malas condiciones de conservación, lo cual permitió determinar únicamente el género y no la especie en algunos ejemplares; esto ocasiona conflicto al intentar interpretar ciertos contextos, pues desconocemos si se trata de un perro o de un coyote.

Lo anterior es relevante porque el tratamiento de cada una de estas especies podría ser muy diferente en un mismo grupo cultural. Desconocemos la continuidad de los grupos en el área, o si la periodificación tan extensa permite considerar un comportamiento, uso o actitud única hacia los cánidos, por lo que la utilización de la etnografía debe ser tomada con reservas. Sin embargo, es posible hacer algunas observaciones sobre los datos presentados.

Donde se pudo determinar género y especie vimos que el coyote estuvo presente en contextos ceremoniales o religiosos, y aparentemente no estuvo involucrado en actividades domésticas. Sin embargo, es relevante poder establecer si se trata de un espécimen cazado, mantenido cautivo o criado desde cachorro. Trabajos realizados en otras zonas culturales (véase Sugiyama et al., 2015) muestran resultados alentadores al analizar los isótopos estables de C4 en restos óseos animales, lo cual podría indicarnos si fueron ejemplares domésticos, cazados o cautivos, debido al tipo de alimentación que recibieron.

Entre los siglos I y II d. C., el perro parece haber sido objeto de consideraciones específicas, al ser parte de contextos funerarios cercanos al hombre. Sin embargo, en ocupaciones más tardías, los cánidos (por lo menos entre los siglos

VII y IX d. C.) aparecen en contextos domésticos asociados a la alimentación, pues presentan huellas de haber sido procesado (cocidos) al interior de fogones de casas y/o conjuntos habitacionales. Aunque no sabemos si son perros o coyotes, es claro el consumo de cánidos junto con otras especies animales. Por otra parte, en el tratamiento mortuorio las cremaciones animales se hacen presentes, sobre todo de perros y cérvidos, y en menor medida de ranas, tortugas, conejos, liebres y zorrillos.

Otro aspecto muy importante a considerar, es la necesidad de obtener elementos asociados a contextos definidos para profundizar la interpretación sobre los cánidos; por ejemplo, en nuestro caso fue posible determinar la presencia de un coyote y un perro (asociados con otros animales) con exposición al fuego al interior de un abrigo rocoso, lo que permite estudiar la relación de fuego, animales y cueva en un momento determinado del tiempo.

El estudio conjunto de los huesos animales con la cultura material aún es una tarea pendiente que debe realizarse; hacemos patente que la transdisciplinariedad es clave para realizar estas investigaciones. El análisis e interpretación de los restos óseos de los cánidos pueden aportar evidencia sobre la vida cotidiana, ceremonial y religiosa vinculada de estas dos especies animales que han convivido desde hace más de 15,000 años.

Referencias

- Alvarado Solís, N. (2007). *Pápagos*. CDI.
- Amador Bech, J. (2009). Mitos de origen o'odham y su relación con el entorno natural y la cultura. En Pérez-Taylor, R., et al. (Eds.). *Antropología del desierto: Desierto, adaptación y formas de vida* (1.ª ed.), pp. 93-132. El Colegio de Chihuahua/Universidad Autónoma de Ciudad Juárez/Centro Académico de Estudios Históricos.
- Amador Bech, J. (2017a). Análisis iconográfico del arte rupestre de la tradición Trincheras del desierto de Sonora: ¿Estados alterados de conciencia o simbolismo mágico-religioso? <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22597.91362>
- Amador Bech, J. (2017b). *Símbolos de la lluvia y la abundancia en el desierto de Sonora: Lineamientos generales para la interpretación del arte rupestre y estudio de caso* (1.ª ed.). Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Amador Bech, J. (2018). El simbolismo mítico de los animales en el arte rupestre del desierto de Sonora y su relación con las tradiciones mesoameri-

- canas y del suroeste de los Estados Unidos. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35009.66403>
- Blanquel, D. (2013). Informe técnico del rescate del salvamento arqueológico gasoducto Sásabe Puerto-Libertad. [Mecanuscrito]. Archivo Técnico del INAH, Sonora.
- Brody, J. (2008). When is a Dog in Mimbres Art? *Archaeology Southwest*, 22(3), 10-11.
- Carpenter, J., Sánchez, G. y Villalpando, E. (2003). Sonora precerámica: del Arcaico y del surgimiento de las aldeas agrícolas. *Arqueología*, (29), pp. 5-29.
- Carpenter, J., Sánchez, G., Watson, J. y Villalpando, E. (2015). The La Playa Archaeological Project: Binational Interdisciplinary Research on Long-Term Human Adaptation in the Sonoran Desert. *Journal of the Southwest*, 57(2-3), pp. 213-264.
- Castetter, E. y Underhill, R. (1935). *The Ethnobiology of the Papago Indians*. Biological series, 4(3). University of New Mexico.
- Ferg, A. (2008). A Rare Breed. *Archaeology Southwest*, 22(3), p. 7.
- La Motta, V. (2008). Canid Sacrifices from Homol'ovi I. *Archaeology Southwest*, 22(3), p. 8.
- Martínez-Lira, P., Arroyo-Cabrales, J. y Carpenter, J. (2011). Faunal Remains and Subsistence Practices at the Archaeological Site La Playa, in Sonora, Mexico. *KIVA: The Journal of Southwestern Anthropology and History*, 77(1), pp. 33-58.
- Nabhan, G., Rea, A., Reichhardt, K., Mellink, E. y Hutchinson, C. (1982). Papago Influences on Habitat and Bioetic Diversity: Quitovac Oasis Ethnoecology. *Journal of Ethnobiology*, 2(2), pp. 124-143.
- Nava Maldonado, S. I. y Cruz Guzmán, C. (2018). *Informe Técnico Final del Proyecto de Salvamento Arqueológico Gasoducto Sásabe-Puerto Libertad* [Mecanuscrito, Sección de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia]. Centro INAH Sonora.
- Rea, A. (1981). Resource Utilization and Food Taboos of Sonoran Desert Peoples. *Journal of Ethnobiology*, 1(1), pp. 69-83.
- Ruble, E. C., Wöcherl, H., Dutt, A. R. y McClelland, J. (2008). Feature Descriptions. En Marbry, J. E. (Ed.). *Las Capas: Early Irrigation and Sedentism in a Southwestern Floodplain*. *Anthropological Papers*, (28), pp. 95-132.
- Schwartz, M. (1998). *A History of Dogs in the Early Americas*. Yale University Press.
- Sugiyama, N., Somerville, A. y Schoeninger, M. (2015). Stable Isotopes and Zooarchaeology at Teotihuacan, Mexico Reveal Earliest Evidence of Wild Carnivore Management in Mesoamerica. *Plos One*, 10(9), pp. 1-14.
- Taylor, T., Ferg, A. y Fugate, D. (2008). Dogs in the Southwest. *Archaeology Southwest*, 22(3), pp. 1-2.
- Valadez Azúa, R., Blanco Padilla, A., Rodríguez Galicia, B. y Pérez Roldán, G. (2014). El perro en los contextos zooarqueológicos mesoamericanos. En Gotz C. M. y Emery, K. M. (Eds.). *La arqueología de los animales en Mesoamérica*. Lockwood Press.
- Waters, J. (2008). Early Dog Burials in the Southern Southwest. *Archaeology Southwest*, 22(3), p. 3.

Sección de biología

En este apartado se citan dos capítulos sobre el estado biológico de taxones del Desierto Chihuahuense: *Echinocactus horizonthalonius* y ascolíquenes; ambos capítulos analizan el estado de estos organismos en el área conocida como los médanos de Samalayuca y en zonas aledañas.

El capítulo 5 consiste en el análisis del crecimiento de *Echinocactus horizonthalonius*, que es un cactus típico del Desierto Chihuahuense, cuya distribución se extiende desde el centro de México hasta el sur de Estados Unidos. La envergadura de este estudio radica en la generación de información sobre el estado ecológico de esta especie dentro de la sierra Presidio, Samalayuca, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Entendiendo que, como todos los cactus, esta especie tiene un ritmo de crecimiento lento, las implicaciones biológicas de su pérdida serían incalculables, y hay que considerar que ha sido reportado que la especie se usa con escaso control, principalmente como planta ornamental.

Por su parte, en el capítulo 6 se analiza la ecología de los ascolíquenes en la región natural protegida Médanos de Samalayuca, ubicada en el municipio de Juárez, Chihuahua. Este estudio documenta la evidencia de la presencia de ascolíquenes en el Desierto Chihuahuense, lo que permite determinar áreas en donde existe mayor humedad a pesar de ser tierras desérticas, además de ampliar la información sobre zonas de perturbación antropogénica y contaminación ambiental.

Resulta prioritario, para la conservación y el adecuado manejo de los recursos bióticos de los desiertos, generar información sobre taxones de crecimiento frágil, como los que en esta sección se presentan. Ambos trabajos de investigación van dirigidos a la comunidad estudiantil y científica.

Martha Patricia Olivas Sánchez

CAPÍTULO 5

Ecología de *Echinocactus horzonthalonius* (Cactaceae) dentro de la sierra Presidio, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

José Valero-Galván^{1*}
José María Arguijo-Núñez²
Raquel González-Fernández³

Introducción

Hoy en día, es fundamental entender la estructura poblacional y los ciclos reproductivos de las plantas nativas de cada ambiente, particularmente en aquellas especies cuyas poblaciones se han clasificado como vulnerables o endémicas. En México, las áreas que presentan la mayor diversidad de cactáceas endémicas son las zonas áridas y semiáridas del valle de Tehuacán y los Desiertos de Chihuahua y Sonora. De estas tres zonas áridas, el Desierto Chihuahuense es el que presenta la mayor diversidad de cactáceas tanto a nivel nacional como mundial. En términos generales, se han documentado 324 especies distribuidas en 39 géneros, siendo los más importantes en la región *Mammillaria*, *Opuntia*, *Coryphantha* y

¹ Adscrito al Departamento de Ciencias Químico-Biológicas del Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB), en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Juárez, Chihuahua, C. P. 32310, México. *Autor de correspondencia: jose.valero@uacj.mx

² ICB-UACJ.

³ ICB-UACJ.

Echinocereus. Esta riqueza biológica se ha documentado principalmente en los estados de Chihuahua, San Luis Potosí, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

En Chihuahua se han documentado 145 taxones de la familia de las cactáceas, distribuidos en 123 especies y 22 variedades. De esos taxones, el 21% son endémicos del estado. Sin embargo, en se ha observado que en esta área las plantas están siendo ilegalmente recolectadas y vendidas, además existe un cambio de uso del suelo y sus hábitats naturales están siendo destruidos (Mancilla-Ramírez et al., 2020; Aragón-Gastélum et al., 2017). También, las plantas que viven en estas áreas presentan baja tasa de crecimiento, baja densidad poblacional, alta mortalidad en plantas juveniles y una distribución restringida. Estas características son presiones negativas para las especies de cactáceas y conllevan a la reducción de sus poblaciones.

Se sabe que bajas densidades poblacionales pueden llevar al fracaso en la reproducción sexual en las poblaciones (Martínez-Peralta y Mandujano, 2011); sin embargo, dentro del estado de Chihuahua existe escasa información acerca de la estructura poblacional y las características morfométricas, tanto de la planta, como de la semilla de *E. Horizontalonius*. Debido a esta problemática es urgente realizar estudios encaminados a: 1) conocer la biodiversidad y centros de endemismo, 2) conocer las estructuras poblacionales de las especies de cactáceas de la región, con la finalidad de identificar las consecuencias de la pérdida de biodiversidad.

Lo anterior es con la finalidad de promover la conservación de estos ecosistemas, conocer los procesos ecológicos y proveer de mejores servicios ecológicos en la región. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue la generación de información sobre la ecología de *E. horizontalonius* dentro del área Sierra Presidio, Samalayuca, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, y comparar las variables morfométricas y la capacidad de germinación de la semilla en condiciones *in vitro*. Este trabajo de investigación va dirigido a la comunidad estudiantil y científica, y presenta una contribución al conocimiento de la dinámica poblacional de *E. horizontalonius* en la sierra de Presidio, ya que se identificó un desarrollo progresivo en esa dinámica.

Antecedentes

La familia Cactaceae se distribuye en México con un total de 653 especies pertenecientes a 48 géneros (Bravo, 1975). La República mexicana, gracias a su latitud, topografía y condiciones climáticas, abarca la mayor abundancia y diversidad de

cactáceas del continente americano. Dentro de la subfamilia Cactoideae, tribu Cactae, se encuentra el género *Echinocactus*. La especie *E. horizontalonius* se distribuye en los Estados Unidos de América (USA) en los estados de Arizona, Nuevo México y Texas; y la República Mexicana en los estados de Sonora y los que conforman el Desierto Chihuahuense: Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí. Esta especie se desarrolla sobre matorrales desérticos, rosetófilos y micrófilos, de 800 a 1800 m de altitud (Hinojos-Mendoza y Contreras-García, 2016).

La morfología de las *E. horizontalonius* las define como plantas simples con un tallo globoso semi deprimido o columnar corto, con altura de 10 a 15 cm (pudiendo llegar hasta los 30 cm), con un diámetro de 10 a 15 cm. Son de color verde claro a glauco. Poseen de 5 a 13 costillas, típicamente 8, de tamaño amplio, sin punta, rectas o dispuestas en espiral, incluso lisas. En algunas ocasiones presentan tubérculos suaves, separados por hendiduras transversales estrechas. Las areolas son de forma circular, por lo regular separadas a una distancia de 1 o 2 cm, pero en algunos individuos adultos pueden llegar a confluir.

Además, las espinas de *E. horizontalonius* son gruesas, semi aplanadas, regularmente rectas o curvas, de color rojizo a castaño rojizo y en algunas ocasiones grisáceo, con muy poca diferenciación entre centrales y radiales. Las flores tienen entre 5 a 6.5 cm de longitud, son de color rosa con tonalidades rojizas y brotan en el ápice de la planta. El pericarpelo está provisto de escamas con abundantes pelos y lana axilar, de coloración blanca (Bravo, 1991).

Junto con otras especies del género *Echinocactus*, han sido asignadas a un uso ornamental desde la época prehispánica por los antiguos pobladores del Valle de México. Ocurría con las cactáceas de forma globoide de este género y con las del género *Mammillaria*, que eran nombradas como Huitznahuac o Comitl, y su importancia radicaba en su uso durante los rituales religiosos debido a su contenido de alcaloides (Bravo, 1975). Por su parte, Flores y Velazco-Macías (2008) mencionan que la biznaga verde (*E. platyacanthus*) se consume en forma de confitura o se emplea como ingrediente en la cocina mexicana. También, los pobladores otomíes del estado del Hidalgo han empleado *E. platyacanthus* en el hilado de la fibra de ixtle (Munguía-Vázquez et al., 2018).

Los estudios de la estructura poblacional de cactáceas se han realizado con el objetivo de precisar el estatus actual de la población y detectar los estados más vulnerables en sus poblaciones. Sin embargo, dentro del estado de Chihuahua existe escasa información acerca de la estructura poblacional y características morfométricas del género *Echinocactus*. Trejo-Alvarado (2018) analizó

la densidad presente de una población de *E. parryi* en la sierra de Samalayuca, Ciudad Juárez, Chihuahua (0.118 individuos/m²), con una estructura poblacional compuesta por 5 clases y una proporción de 51% de la clase I (plantas juveniles), y la clasificó como una población progresiva.

En otras regiones, como en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, la estructura poblacional de *E. platyacanthus* presentó 7 clases (basadas en el diámetro de las plantas), siendo las plántulas la de menor proporción (0.4%), mientras que las juveniles constituyeron una proporción intermedia (26.1%) y los adultos presentaron la mayor abundancia (73.5%) (Jiménez y Torres-Orozco, 2003). Por otro lado, en un reciente estudio realizado en una población localizada en Arizona, USA, se observó que la abundancia de *E. horzonthalonius* disminuyó un 50% en un periodo que abarcó de 1995 a 2017 (McIntosh et al., 2020).

Materiales y métodos

Área de estudio

La sierra Presidio se encuentra al norte del estado de Chihuahua, dentro de los municipios de Juárez y Guadalupe; su superficie se localiza entre 31°23'6.43" latitud Norte y 106°23'52.02" latitud Oeste. Su vegetación característica es matorral xerófilo espinoso y predomina la gobernadora (*Larrea tridentata*), hojásén (*Flourensia cernua*) y nopales (*Opuntia* spp.).

Diseño de muestreo

Se realizó una evaluación durante el mes de noviembre de 2019, con duración de 6 h. De forma aleatoria se seleccionaron 5 cuadrantes de terreno de 10 m de largo x 10 m ancho (100 m²/cuadrante), abarcándose así un total de 500 m². Los cuadrantes 1 al 5 presentaron las siguientes altitudes: 1307, 1309, 1318, 1335 y 1385 msnm⁴, respectivamente; en cada uno de los cuadrantes se localizaron todos los individuos de *E. horzonthalonius*, y se fijó su georreferenciación mediante un localizador GPS.

Análisis morfométrico de las plantas

Se midió altura, diámetro, número de botones florales y número de costillas de cada uno los individuos encontrados en cada cuadrante.

⁴ 4 Metros sobre el nivel del mar.

Estructura poblacional. Para determinar las etapas vegetativas de los individuos de *E. horzonthalonius* se emplearon los datos de diámetro y altura medidos de la planta; y para determinar su volumen se utilizó la fórmula $V = \pi r^2 \times \text{altura}$, a partir del cual se establecieron 6 clases para catalogar los diferentes individuos estudiados (cuadro 1).

Cuadro 1. Clases fenológicas de *E. horzonthalonius* establecidas en función del volumen de la planta

Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V	Clase VI
0 – 385 cm ³	386 – 770 cm ³	771 – 1154 cm ³	1155 – 1539 cm ³	1540 – 1924 cm ³	> 1925 cm ³

Fuente: Elaboración propia.

Colecta de semillas. Las semillas de los frutos se obtuvieron de aquellos individuos que las presentaban en cada cuadrante; se resguardaron en bolsas de polietileno con cierre hermético y se etiquetaron con base en el cuadrante de procedencia, individuo, fecha y coordenadas. Luego se transportaron al laboratorio de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y una vez ahí las semillas se revisaron y almacenaron en un tubo de microcentrífuga estéril a temperatura ambiente.

Análisis morfométrico de las semillas. Se seleccionaron al azar 20 semillas por cuadrante y se pesaron de forma individual mediante una balanza analítica (Mettler Toledo AJ150). Enseguida, las 20 semillas por cuadrante se colocaron sobre un papel milimétrico, alineadas a una distancia de 1 mm y se tomó una fotografía. Las fotografías se analizaron por medio del programa ImageJ (ImageJ®, USA) y se determinó el área, el perímetro, la longitud y el diámetro de cada una de las semillas de cada cuadrante.

Método germinación de semillas. La germinación de las semillas se llevó a cabo en cajas de Petri. Se empleó suelo del mismo sitio de colecta de las semillas, el cual se tamizó para eliminar impurezas mayores a 10 mm, y se esterilizó dentro de una charola de aluminio (sin marca) en una estufa (Shel Lab®) a 70 °C durante 1 h. Las semillas de *E. horzonthalonius* se desinfectaron en 3 ml de hipoclorito de sodio (NaClO) por 3 min, posteriormente se enjuagaron en 3 ml de agua destilada estéril, con agitación manual y constante durante 1 min y, por último, se sumergieron en 3 ml de fungicida Captan 50% durante 2 min, con agitación constante. También, se agregaron 25 g de arena a cada una de las cajas

Petri, junto con 11 ml de agua destilada estéril, y posteriormente se colocaron 15 semillas en cada una de ellas. Cada tratamiento constó de 3 repeticiones, utilizándose en total 15 cajas Petri y 225 semillas.

Se consideró como semilla germinada toda aquella en la que se apreció la emergencia de la radícula. La germinación se realizó durante 20 días en una cámara bioclimática a una temperatura constante de 25°C, con un fotoperiodo con un ciclo de 16 h de luz proveniente de lámparas de luz fría fluorescente y 8 h de oscuridad. Para determinar las variaciones entre los índices de germinación de las semillas de los diferentes cuadrantes, se emplearon las fórmulas propuestas por Labouriau y Valadares (1976).

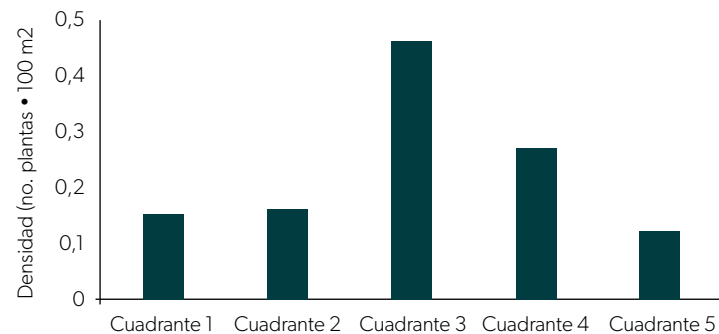
Análisis estadístico. Los resultados obtenidos se evaluaron en el programa IBM® SPSS® Statistics versión 23. Para el análisis de las variables morfológicas de las plantas, semillas y porcentajes de germinación se realizó un análisis de ANOVA de una vía, y las diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos se determinaron mediante una prueba de comparación múltiple de Duncan. Finalmente, se realizó una correlación de Pearson.

Resultados y discusiones

Estructura poblacional

En total se contabilizaron 124 individuos en los 5 cuadrantes estudiados. Los valores de la densidad oscilaron entre 0.12 y 0.46 individuos/m², siendo el cuadrante 5 el de menor densidad y el cuadrante 3 el que presentó la mayor densidad (figura 1).

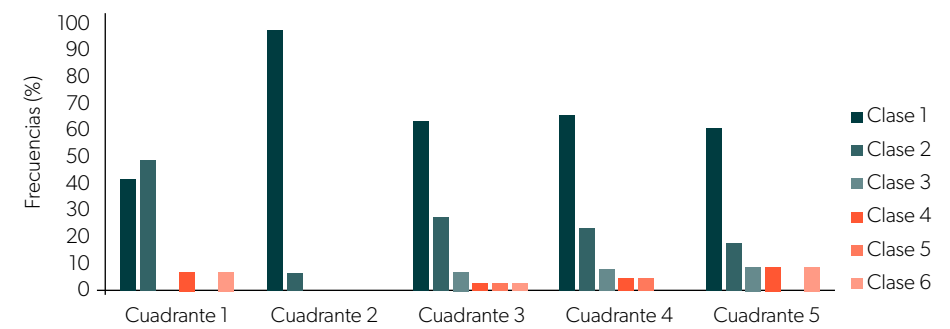
Figura 1. Densidad poblacional de *E. horizonthalonius* en los diferentes cuadrantes



Fuente: Elaboración propia.

Aunque no existen estudios de la densidad de plantas en poblaciones de *E. horizonthalonius* en el estado de Chihuahua, se ha determinado una densidad de 0.13 individuos/m² en poblaciones de *E. platyacanthus* en el estado de Hidalgo (Ruiz-Barrera, 2012). Asimismo, la densidad presente una población de *E. parryi* en la sierra de Samalayuca fue de 0.118 individuos/m² (Trejo-Alvarado, 2018). Por otra parte, en cuanto al análisis de la estructura poblacional se encontró que la Clase 1 fue la más abundante y estuvo presente en todos los cuadrantes (figura 2).

Figura 2. Estructura poblacional de *E. horizonthalonius* en la sierra de Presidio, Chihuahua, México



Fuente: Elaboración propia.

Las frecuencias con valores intermedios ocurrieron en la Clase 2, la cual se presentó en conjunto con la Clase 1 en todos los cuadrantes. La frecuencia más alta para la Clase 2 se encontró en el cuadrante 1 (46.6%) y la más baja en el cuadrante 2 (6.25%). Las frecuencias con los valores más bajos se obtuvieron en la Clase 5 y solo se observaron individuos de esta categoría dentro de los cuadrantes 3 y 4. Aunque no existen resultados de la estructura poblacional en comunidades de *E. horizonthalonius*, para otras especies del género sí se han realizado varios estudios.

Jiménez-Sierra y Torres-Orozco (2003) determinaron en una población de *E. platyacanthus* en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, siete clases de tamaño en función de su diámetro, y observaron que la de las plántulas presentó la menor proporción (0.4%); los juveniles constituyeron una proporción intermedia (26.1%) y los adultos presentaron la mayor abundancia (73.5%). Estos resultados permitieron concluir que la población se comportó como de tipo regresivo, ya que los resultados mostraron que la población ha experimentado una reducción en sus tasas de reclutamiento, reducción asociada principalmente a actividades

antropogénicas, como la extracción de individuos. Los resultados obtenidos en nuestra investigación mostraron un crecimiento progresivo, ya que se componen por una mayor proporción de plántulas (86.7%) en relación con una escasa proporción de plantas adultas (4.5%), lo que indica que la población se encuentra en vías de desarrollo.

Análisis morfométrico de las plantas

El análisis de los caracteres morfométricos de *E. horizonthalonius* mostraron que no hay diferencias significativas en las medias de las características de altura, diámetro, relación alométrica, botones florales, costillas y número de semillas entre los cinco cuadrantes evaluados; sin embargo, se observaron diferencias significativas en el volumen de las plantas analizadas (cuadro 2). No obstante, los valores de altura, diámetro, volumen y número de botones florales en las plantas del cuadrante 1 fueron más elevados, mientras que aquellas del cuadrante 4 presentaron los valores más bajos. En el caso del número de costillas, no se observó variación entre los cinco cuadrantes debido a que todas las plantas presentaron ocho costillas. El número de semillas fue más bajo en el cuadrante 3, mientras que el valor máximo lo presentó el cuadrante 2.

Cuadro 2. Características morfométricas de las plantas de *E. horizonthalonius* analizadas en los diferentes cuadrantes de la sierra Presidio. Se presenta el estadístico descriptivo en términos de la media \pm desviación estándar. La media de los valores que contienen la misma letra indica subconjuntos homogéneos para una $p \leq 0.05$ de acuerdo con la prueba de medias de Duncan.

Característica	Cuadrante 1	Cuadrante 2	Cuadrante 3	Cuadrante 4	Cuadrante 5	ANOVA ($p \leq 0.05$)
Altura (cm)	70.59 \pm 34.28 ^a	54.37 \pm 26.81 ^a	50.42 \pm 27.43 ^a	46.79 \pm 39.15 ^a	52.78 \pm 46.06 ^a	0.25
Diámetro (cm)	87.61 \pm 33.74 ^a	86.83 \pm 42.24 ^a	79.34 \pm 36.37 ^a	68.44 \pm 36.28 ^a	73.37 \pm 43.87 ^a	0.43
Relación altura/diámetro	0.94 \pm 0.64 ^a	0.66 \pm 0.19 ^a	0.71 \pm 0.49 ^a	0.67 \pm 0.46 ^a	0.61 \pm 0.29 ^a	0.32
Volumen (cm ³)	544.8 \pm 593.27 ^b	51.0 \pm 134.25 ^a	401.3 \pm 455.31 ^b	337.0 \pm 460.6 ^{ab}	507.6 \pm 666.38 ^b	0.03
Núm. botones	1.27 \pm 1.44 ^a	1 \pm 1.41 ^a	0.67 \pm 1.06 ^a	0.37 \pm 0.69 ^a	1 \pm 1.28 ^a	0.1
Núm. costillas	8 \pm 0 ^a	8 \pm 0 ^a	8 \pm 0 ^a	8 \pm 0 ^a	8 \pm 0 ^a	1
Núm. semillas	20.5 \pm 12.32 ^a	20.67 \pm 35.5 ^a	7.4 \pm 3.98 ^a	13.13 \pm 11.47 ^a	12.17 \pm 13.6 ^a	0.51

Fuente: Elaboración propia.

En este estudio también se observaron correlaciones significativas entre las variables diámetro y altura ($r = 0.80$; $P \leq 0.01$), relación altura-diámetro y altura ($r = 0.64$; $P \leq 0.01$), volumen y altura ($r = 0.79$; $P \leq 0.01$), núm. botones y altura ($r = 0.47$; $P \leq 0.01$), volumen y diámetro ($r = 0.80$; $P \leq 0.01$), núm. botones y diámetro ($r = 0.43$; $P \leq 0.01$), volumen y relación altura-diámetro ($r = 0.30$; $P \leq 0.01$), núm. botones y relación altura-diámetro ($r = 0.27$; $P \leq 0.01$), núm. botones y volumen ($r = 0.36$; $P \leq 0.01$). Aunque no existen estudios relacionados a la caracterización morfofisiológica de plantas de *E. horizonthalonius*, en un estudio de poblacional de *E. platyacanthus* se evaluó la producción de botones, flores y frutos y el número de costillas, mostrándose con ello que el diámetro o altura de la planta presentó una correlación positiva con el número de costillas y los frutos producidos ($r = 0.61$, $p < 0.00$) (Díaz et al., 2008).

Análisis morfológico de las semillas

El análisis de las características morfológicas de las semillas mostró diferencias significativas entre los cuadrantes analizados (cuadro 3). En general, se observó que las semillas del cuadrante 5 presentaron los valores más altos en longitud, diámetro, área, perímetro y volumen, mientras que las semillas del cuadrante 1 tuvieron los valores más bajos en longitud, diámetro, área, perímetro y volumen (cuadro 3). El peso de la semilla del cuadrante 2 fue el más bajo, mientras que el promedio del peso de las semillas del cuadrante 5 fue el más alto (cuadro 3). Estos resultados fueron similares a la longitud y diámetro de las semillas evaluadas por Sánchez-Salas y otros (2015). Sin embargo, las características de peso, longitud y área de las semillas de *E. horizonthalonius* fueron más elevadas a las determinadas en semillas de *E. parryi* (Trejo-Alvarado, 2018).

Cuadro 3. Características morfométricas de la semilla de *E. horizonthalonius* desarrollándose en los diferentes cuadrantes de la sierra Presidio. Se presentan el estadístico descriptivo en términos de la media \pm desviación estándar. La media de los valores que contienen la misma letra indica subconjuntos homogéneos para una $p \leq 0.05$ de acuerdo con la prueba de medias de Duncan.

Característica	Cuadrante 1	Cuadrante 2	Cuadrante 3	Cuadrante 4	Cuadrante 5
Peso (g)	0.0064 \pm 0.00 ^b	0.0051 \pm 0.00 ^a	0.0062 \pm 0.00 ^b	0.0075 \pm 0.00 ^c	0.0073 \pm 0.00 ^c
Longitud (cm)	2.98 \pm 0.24 ^{bc}	3.07 \pm 0.22 ^{cd}	2.82 \pm 0.16 ^a	2.88 \pm 0.22 ^{ab}	3.2 \pm 0.22 ^d
Diámetro (cm)	2.2 \pm 0.22 ^a	2.34 \pm 0.2 ^b	2.36 \pm 0.17 ^b	2.32 \pm 0.21 ^{ab}	2.45 \pm 0.23 ^b
Relación longitud/diámetro	1.37 \pm 0.16 ^c	1.33 \pm 0.16 ^b	1.2 \pm 0.12 ^a	1.25 \pm 0.14 ^{ab}	1.31 \pm 0.12 ^b
Área (cm ²)	4.94 \pm 0.56 ^a	5.62 \pm 0.56 ^{cd}	5.38 \pm 0.62 ^{bc}	5.04 \pm 0.68 ^{ab}	5.93 \pm 0.71 ^d
Perímetro (cm)	8.36 \pm 0.52 ^a	8.95 \pm 0.48 ^{cd}	8.75 \pm 0.56 ^{bc}	8.56 \pm 0.7 ^{ab}	9.16 \pm 0.56 ^d
Volumen (cm ³)	11.48 \pm 2.63 ^a	13.26 \pm 2.25 ^a	12.38 \pm 1.8 ^a	12.31 \pm 2.52 ^a	15.36 \pm 3.61 ^b

Fuente: Elaboración propia.

En este estudio también se encontró una correlación positiva entre la altitud de los diferentes cuadrantes y las variables morfológicas de las semillas. Se observó una correlación entre longitud y altitud ($r = 0.13$; $P \leq 0.01$), diámetro y altitud ($r = 0.28$; $P \leq 0.01$), área y altitud ($r = 0.28$; $P \leq 0.01$), perímetro y altitud ($r = 0.30$; $P \leq 0.01$), volumen y altitud ($r = 0.29$; $P \leq 0.01$), relación y longitud ($r = 0.61$; $P \leq 0.01$), área y longitud ($r = 0.62$; $P \leq 0.01$), perímetro y longitud ($r = 0.61$; $P \leq 0.01$) y volumen y longitud ($r = 0.44$; $P \leq 0.01$). A la vez, se encontró correlación entre área y diámetro ($r = 0.49$; $P \leq 0.01$), perímetro y diámetro ($r = 0.46$; $P \leq 0.01$) y volumen y diámetro ($r = 0.92$, $P \leq 0.01$). También se encontraron las siguientes correlaciones: perímetro y área ($r = 0.93$; $P \leq 0.01$), volumen y área ($r = 0.67$; $P \leq 0.01$) y volumen y perímetro ($r = 0.63$; $P \leq 0.01$).

Índices de germinación de las semillas

Los resultados obtenidos para los parámetros de germinación de las semillas no mostraron diferencias significativas para el índice de velocidad de germinación, el tiempo medio de germinación y la velocidad media de germinación entre los cinco cuadrantes; no obstante, el porcentaje de germinación de semillas presen-

tó diferencias estadísticamente significativas, oscilando de 3.3% (cuadrante 5) a 15.5% (cuadrante 1) (cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros de germinación de semillas de *E. horizonthalonius* cultivadas en el área de Samalayuca, México en los diferentes cuadrantes. Se presentan el estadístico descriptivo en términos de la media \pm desviación estándar. La media de los valores que contienen la misma letra indica subconjuntos homogéneos para una $p \leq 0.05$ de acuerdo con la prueba de medias de Duncan.

Parámetro	Cuadrante 1	Cuadrante 2	Cuadrante 3	Cuadrante 4	Cuadrante 5	ANOVA ($p \leq 0.05$)
Germinación (%)	15.55 \pm 2.22 ^c	7.77 \pm 1.11 ^a	6.66 \pm 2.22 ^a	8.88 \pm 6.66 ^a	3.33 \pm 1.11 ^a	0.014
Índice de velocidad de germinación (días)	0.68 \pm 0.08 ^a	0.43 \pm 0.16 ^a	0.43 \pm 2.26 ^a	0.51 \pm 0.41 ^a	0.16 \pm 0.03 ^a	0.193
Tiempo medio de germinación (días)	11.83 \pm 0.04 ^a	7.97 \pm 3.69 ^a	8.39 \pm 4.10 ^a	7.14 \pm 2.85 ^a	11.25 \pm 3.75 ^a	0.355
Velocidad media de germinación (días ⁻¹)	0.08 \pm 0.00 ^a	0.15 \pm 0.07 ^a	0.15 \pm 0.07 ^a	0.16 \pm 0.06 ^a	0.06 \pm 0.00 ^a	0.151

Fuente: Elaboración propia.

El cuadrante 1 presentó los valores más altos en el índice de velocidad de germinación y tiempo medio de germinación, en tanto que el cuadrante 5 tuvo los valores más bajos del índice de velocidad de germinación y de velocidad media de germinación; a su vez, el cuadrante 4 presentó los valores más altos en la velocidad media de germinación. Estos resultados indicaron que las semillas del cuadrante 1 mostraron una tendencia a germinar más rápido que las semillas de los otros cuatro cuadrantes, mientras que las semillas del cuadrante 5 germinaron más lentamente en comparación con las semillas de los otros cuadrantes.

Al correlacionar los parámetros de germinación de la semilla con las características morfométricas de la planta de *E. horizonthalonius*, los resultados mostraron que el índice de velocidad de germinación se correlacionó positivamente con el diámetro ($r = 0.97$; $P \leq 0.01$), el porcentaje de germinación con el diámetro ($r = 0.99$; $P \leq 0.01$), el área con el diámetro ($r = 0.87$; $P \leq 0.05$), el diámetro con el perímetro ($r = 0.91$; $P \leq 0.02$), el perímetro con el área ($r = 0.99$; $P \leq 0.01$) y el volumen con el perímetro ($r = 0.93$; $P \leq 0.02$). El índice de velocidad de germinación presentó una correlación positiva con el perímetro ($r = 0.95$; $P \leq 0.01$) y

el porcentaje de germinación con el perímetro ($r = 0.90$; $P \leq 0.03$). El índice de velocidad media de germinación se correlacionó con el volumen ($r = 0.95$; $P \leq 0.01$), el porcentaje de germinación y el índice de velocidad de germinación ($r = 0.94$; $P \leq 0.01$) y la velocidad media de germinación con el tiempo medio de germinación ($r = 0.97$; $P \leq 0.01$).

Conclusiones

Se considera que la población de *E. horzonthalonius* en la sierra Presido, Samalayuca, presenta un desarrollo progresivo, debido a que preponderadamente se determinó un mayor número de plántulas y juveniles respecto al número de adultos, los cuales fueron relativamente escasos. También, se encontró que las semillas del cuadrante 5 presentaron las mejores características morfológicas, mientras que las semillas del cuadrante 1 presentaron características inferiores. El peso de las semillas del cuadrante 2 fueron las más livianas, y las del cuadrante 5 las más pesadas. El porcentaje de germinación de *E. horzonthalonius* en general fue bajo, debido a que, probablemente, es una especie en la que las semillas requieren un proceso de escarificación. Por lo anterior es que en futuras investigaciones se podrían analizar los procesos de germinación de esta semilla usando medios alternativos, para aumentar su germinación en condiciones *in vitro*.

Referencias

- Aragón-Gastélum, J. L., Badano, E., Yáñez-Espinosa, L., Ramírez-Tobías, H. M., Rodas-Ortiz, J. P., González-Salvatierra, C. y Flores, J. (2017). Seedling survival of three endemic and threatened Mexican cacti under induced climate change. *Plant Species Biology*, 32(1), pp. 92-99.
- Bravo, H. (1975). *Las cactáceas de México* (Vol. I). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bravo, H. (1991). *Las cactáceas de México* (Vol. II). Universidad Nacional Autónoma de México. 119 pp.
- Díaz, H., Navarro, M. y Rodríguez C. (2008). Aspectos de la morfometría y fenología reproductiva de *Echinocactus platyacanthus* en la Barranca Huexotitlanapa en Tecali de Herrera, Puebla. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 53(4), pp. 100-107.
- Flores, G., Velazco-Macías, C. (2008). Importancia de las cactáceas como recurso natural en el noreste de México. *Ciencia-UANL*, 11(1), pp. 5-11.

- Hinojos-Mendoza, G., Ox, S. y Contreras-García, L. (2016). *Manual de identificación de especies de flora: Zona del Desierto Chihuahuense*. Ases.
- Jiménez-Sierra, C. y Torres-Orozco, R. (2003). Estado actual de las poblaciones de la biznaga dulce *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) en el SE de Puebla. *Contactos*, 47, pp. 28-34.
- Labouriau, L. G. y Valadares, M. E. B. (1976). On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait) Ait.f. *Anais Academia Brasileira de Ciências*. 48, pp. 263-284.
- Mancilla-Ramírez, M. R., Flores-Vázquez, J. C., Martínez-Peralta, C., Aguilar Morales, G. y Mandujano, M. C. (2020). Cuatro Ciénegas as a refuge for the living rock cactus, *Ariocarpus fissuratus*: Demographic and Conservation Studies. En Mandujano, Maria C., Pisanty, I. y Eguiarte, L. E. (Eds.). *Plant Diversity and Ecology in the Chihuahuan Desert: Emphasis on the Cuatro Ciénegas Basin*. Pp. 183-195. Springer.
- Martínez-Peralta, C. y Mandujano, M. C. (2011). Reproductive ecology of the endangered living rock cactus, *Ariocarpus fissuratus* (Cactaceae). *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 138(2), pp.145-155.
- McIntosh, M. E., Boyd, A. E., Arnold, A. E., Steidl, R. J. y McDade, L. A. (2020). Growth and demography of a declining, endangered cactus in the Sonoran Desert. *Plant Species Biology*, 35(1), pp. 6-15.
- Munguía-Vázquez, A., Cárdenas-Camargo, I. y Rangel-Villafranco, M. (2018). Uso y conocimiento de cactáceas en la comunidad otomí de El Alberto, en Ixmiquilpan (Hidalgo, México). *Ambiente y Desarrollo*, 22(43), pp. 1-13.
- Ruiz-Barrera C. (2012). Distribución y Etnobotánica de *Echinocactus Platyacanthus* Link & Otto (Cactaceae) en el Valle del Mezquital [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_ruiz_barrera.pdf
- Sánchez-Salas, J., Flores, J., Muro-Pérez, G., Arias-Montes, S. y Jurado, E. (2015). Morfometría de semillas en la cactácea amenazada de extinción *Astrophytum myriostigma* Lemaire. *Polibotánica*, (39), pp. 119-131.
- Trejo-Alvarado, J. (2018). Aspectos ecológicos de *Echinocactus parryi* (Engelmann) con base en el gradiente sierra de Samalayuca [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez]. <http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/4698>

CAPÍTULO 6

Ascolíquenes de las comunidades vegetales del área natural protegida Médanos de Samalayuca, municipio de Juárez, Chihuahua

*Rocío Alejandra Zúñiga González
Irma Delia Enríquez Anchondo
Martha Patricia Olivas Sánchez
Miroslava Quiñónez Martínez²*

Introducción

Los líquenes forman una estructura compleja como resultado de una asociación simbiótica entre un hongo (reino Fungi) y un organismo fotosintético, como un alga (reino Protista) o una cianobacteria (reino Monera). El resultado de esta asociación es muy distinto a la apariencia independiente de estos organismos (Chaparro-de Valencia y Aguirre-Ceballos, 2002), ya que su compleja sociedad los dota de un alto grado de organización y caracteres morfofisiológicos peculiares (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente [ANPA], 2001). Esa asociación propicia en los organismos la capacidad de habitar diversos entornos, sean desérticos, tropicales o fríos y los lleva a ocupar alrededor del 12% de los ecosistemas terrestres (Kirk et al., 2008).

¹ Las cuatro autoras de este capítulo están adscritas al Departamento de Ciencias Químico Biológicas, en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Municipio de Juárez, Chihuahua, México, C. P. 32310.

² Autor de correspondencia: mquinone@uacj.mx

El estado de Chihuahua es rico en especies de hongos y líquenes debido a la gran diversidad de tipos de vegetación; sin embargo, la mayoría de los estudios de riqueza de especies sobre líquenes se han realizado en ecosistemas de bosques. En el municipio de Juárez y sus alrededores el estudio de líquenes es escaso, pero en el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Médanos de Samalayuca, ubicada en dicho municipio y que forma parte del Desierto Chihuahuense, se ha encontrado evidencia del desarrollo de estos organismos. El presente estudio, que va dirigido a la comunidad estudiantil y científica, presenta una contribución de la riqueza de ascolíquenes en algunas comunidades vegetales de esta área protegida.

Antecedentes

La gran mayoría de las especies de líquenes conocidas para México son ascolíquenes, que cuentan con 2,829 especies (Herrera-Campos et al., 2014). Los estados con más especies conocidas son Baja California y Veracruz, seguidos por Chihuahua, Baja California Sur y Sonora, con más de 500 especies cada uno. En Chihuahua, las familias de líquenes más representativas son *Parmeliaceae*, *Lecanoraceae*, *Physciaceae* y *Collemataceae* (Chacón-Ramos et al., 2014; Brodo et al., 2001).

La estructura compleja de los líquenes, también llamada talo, está determinada por el hongo y el organismo fotosintético (Will-Wolf et al., 2011). Los líquenes poseen una variedad de estructuras vegetativas, formas de crecimiento, reproducción y biotipos; por tanto, la morfología externa e interna puede ser diferente, respondiendo a las condiciones o factores ambientales y a la misma simbiosis (Barreno-Rodríguez y Pérez-Ortega, 2003). Ecológicamente, se caracterizan por su capacidad de colonizar la roca desnuda y ser formadores de suelo junto con otros organismos, constituyendo lo que se conoce como costras biológicas (Castillo-Monroy y Benítez, 2015; Belnap y Gillette, 1998). Igualmente, favorecen en la prevención de la desertificación y restauración del suelo erosionado. (Shepherd et al., 2002).

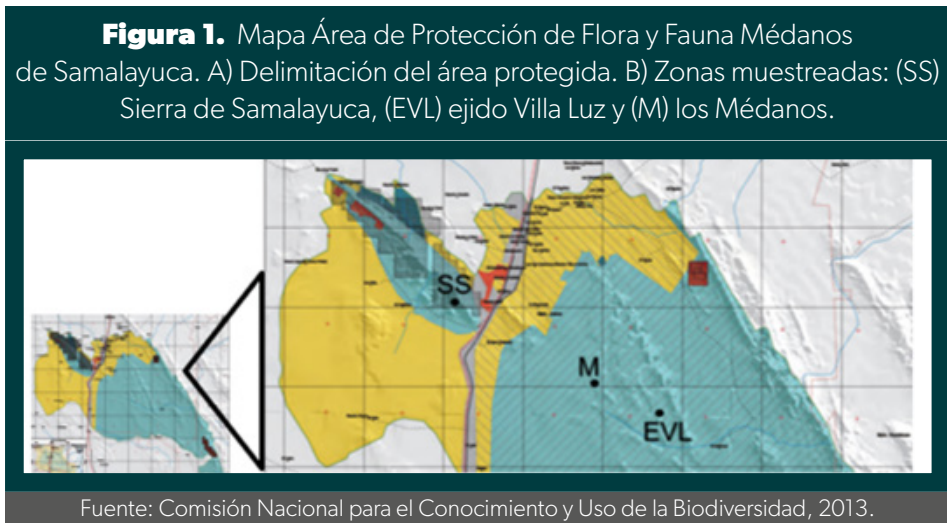
Los líquenes son productores primarios, ya que conforman parte de la dieta de algunos animales (Seaward, 2008; Barreno-Rodríguez y Pérez-Ortega, 2003); asimismo, son sitio de hábitat y refugio para invertebrados y utilizados por aves para anidación y camuflaje (Nash III, 2008; Brodo et al., 2001). Además, poseen la capacidad de bioacumulación de elementos como nitrógeno, fósforo y azufre e incluso contaminantes orgánicos y metálicos (Boonpeng et al., 2017).

Económicamente, se han usado como fuente de alimento para ciertos animales y el hombre; también en la industria química para la obtención de colorantes, aceites esenciales y perfumes (Chaparro-de Valencia y Aguirre-Ceballos, 2002); de igual forma, se han utilizado ampliamente en la industria química como fuente de tintes y colorantes, para la elaboración de perfumes y en la medicina tradicional o terapéutica debido a la amplia gama de metabolitos secundarios que poseen (Rather et al., 2018; Devkota et al., 2017; Illana-Esteban, 2012; Barreno-Rodríguez y Pérez-Ortega, 2003; Brodo et al., 2001).

Materiales y métodos

El APFF Médanos de Samalayuca se localiza en los municipios de Juárez y Guadalupe, atravesada por la Carretera Federal 45 y el Ferrocarril México-Ciudad Juárez. Se encuentran parte de los ejidos Ojo de la Casa, Villa Luz, Samalayuca y El Vergel. En esta área convergen ecosistemas desérticos complejos con características similares, comportamiento climático y tipos de suelos que determinan aptitudes de manejo y explotación (Comisión Nacional de Áreas Protegidas [Conanp] y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2013). La clasificación según Köppen es BWKx' (e'), que por su grado de humedad pertenece a climas secos o áridos, por su temperatura a templados y por su régimen de lluvias a intermedio. De acuerdo con la clasificación propuesta por Miranda y Hernández (1963), la vegetación predominante es: matorral inerme parvifolio, matorral de médanos subinerme, pastizal amacollado abierto, pastizal inducido y matorral de médanos.

En esta área se seleccionaron tres zonas (figura 1): la sierra Samalayuca (SS), el ejido Villa Luz (EVL) y los Médanos (M). La sierra Samalayuca, con las coordenadas 31°18'48.9" N – 106°30'44.5" W, está constituida por la vegetación micrófila subinerme, con matorrales de tipo micrófilo semiespinoso (Conanp y Semarnat, 2013). El ejido Villa Luz se localiza en las coordenadas 31°17'47.4" N – 106°21'22.6" W y está constituido por el matorral de médanos subinerme (Miranda y Hernández, 1963; Conanp y Semarnat, 2013). Los Médanos, con las coordenadas 31°17'16.6" N – 106°23'59.0" W, está constituido por el matorral de médanos (Conanp y Semarnat, 2013).



Se realizaron las tomas de muestras en los años 2016 y 2017 en estos sitios y se aplicó un muestreo dirigido. Cada especie diferente se colectó, se guardaron en bolsas de cartón y fueron trasladadas al laboratorio de Biodiversidad de la UACJ. Esta investigación es de tipo retrospectiva, por lo que se tomaron en cuenta las especies que fueron colectadas de 2009 a 2015, mismas que se habían resguardado en el laboratorio mencionado.

Cada especie se caracterizó de acuerdo con su morfología externa e interna, y se identificó con ayuda de la literatura especializada (Brodo et al., 2001; Nash III et al., 2002; Nash III et al., 2007) así como con la ayuda de claves dicotómicas de Barreno Rodríguez y Pérez Ortega (2003). El nombre científico y la taxonomía de cada especie se consultaron en Consortium of North American Lichen Herbaria (2018), Index Fungorum Partnership (2018) y Global Biodiversity Information Facility (2018).

Resultados y discusiones

En este estudio se muestran las 18 especies registradas en las zonas áridas de Médanos de Samalayuca, identificadas dentro del reino Fungi, phyla Ascomycota, distribuidos en tres clases, tres subclases, ocho órdenes, diez familias y doce géneros, las cuales se describen a continuación, así como su distribución y hábitat.

Afin *Acarospora* sp. (figura 2)

Distribución y hábitat: su distribución es cosmopolita pero común en hábitats áridos abiertos. Se encuentra sobre suelo, rocas ácidas o básicas u otros líquenes (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad del matorral de médanos.

Características morfológicas: talo crustáceo, verrucoso, areolado, escumuloso o placoides. Superficie superior marrón pálido a medio, o negruzca o amarillo; opaca o brillante, lisa a rugosa. Areolas semiredondas a irregulares. Apotecio de tipo lecanorino, uno o más por areola, inmerso en el talo. Disco usualmente redondo, negro o marrón a rojo o amarillo (Brodo et al., 2001).



Afin *Acarospora contigua* (figura 3)

Distribución y hábitat: se distribuye al oeste de Norteamérica. Se encuentra principalmente en rocas ácidas, localizadas en los 500 a 3,350 metros de elevación (Brodo, et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinermes.

Características morfológicas: talo rimoso-areolado. Superficie superior amarilla, plana, suave y opaca. Presenta areolas angulares, con apotecios inmersos, de uno o más por areola. Apotecio de tipo lecanorino, con disco negruzco a marrón rojizo, cóncavo a plano, redondo a irregular (Brodo et al., 2001).

Figura 4. *Acarospora strigata*



Figura 5. *Buellia spuria*



Fuente: Elaboración propia.

Afin Acarospora strigata (figura 4)

Distribución y hábitat: Cosmopolita, común en Arizona, sureste de California, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua y Sonora. Se encuentra en piedra caliza o granito (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerme.

Características morfológicas: talo areolado a verruculoso, a veces forma áreas rimosas areoladas y en ocasiones es escuamuloso. Superficie superior marrón con algunos tintes negruzcos, blancos o gris azulado. Tiene areolas redondas a irregulares. Presenta un apotecio de tipo lecanorino (Brodo et al., 2001).

Afin Buellia spuria (figura 5)

Distribución y hábitat: común y ampliamente distribuido en el hemisferio norte. Se localiza sobre roca silíceo, típicamente en hábitats montañosos (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerme.

Características morfológicas: talo crustáceo, areolado. Superficie superior usualmente blanca a gris blanquecino, raramente gris oscuro. Delgado a moderadamente engrosado, se desarrolla en areolas. Presenta apotecio de tipo leci-deino, inmerso a adnado, raramente sésil, con margen negro o grisáceo y delgado (Brodo et al., 2001).

Algunas especies de este género se han utilizado como un indicador de sustratos con altos niveles de calcio (Belnap et al., 2001).

Afin Caloplaca sp. (figura 6)

Distribución y hábitat: organismo cosmopolita, abundante en hábitats áridos (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerme.

Características morfológicas: talo pequeño, crustáceo, areolado, escuamuloso, subfruticoso, inmerso o leproso. La superficie puede ser color naranja, rojo, amarillo, gris a blanco, marrón o negro; y es verrucosa a pruinosa, a veces suave. Presenta apotecio inmerso, de tipo lecanorino o lecideino. El disco puede tener tonos naranja o rojo, amarillo, gris, marrón o negro, y ser plano, convexo o cóncavo (Brodo et al., 2001).

Figura 6. *Caloplaca sp.*



Figura 7. *Caloplaca trachyphylla*



Fuente: Elaboración propia.

Afin Caloplaca trachyphylla (figura 7)

Distribución y hábitat: se localiza en Europa, Norteamérica y el norte de Asia. Se encuentra en rocas no calcáreas o calcáreas (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se halló en la comunidad de vegetación micrófila subinerme.

Características morfológicas: talo crustáceo, superficie superior naranja, presenta apotecio adnado, de tipo lecanorino, con margen no visible (Brodo et al., 2001).

Afin *Catapyrenium* sp. (figura 8)

Distribución y hábitat: es cosmopolita, principalmente en microclimas áridos, semi-áridos o en regiones árticas-alpinas. Se encuentra sobre suelo, dentrito, musgos y cortezas (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinermes.

Características morfológicas: talo escuamuloso o rosulado. Superficie superior marrón a grisácea, opaca y ligeramente lisa, con márgenes negros. Está adherido por rizinas al sustrato. Tiene escuámulos dispersos, redondos, continuos o imbricados. Estructura reproductiva: peritecio laminal, inmerso, subgloboso a piriforme (Brodo et al., 2001).



Afin *Cliostomum* sp. (figura 9)

Distribución y hábitat: se localiza distribuido en regiones templadas y subtropicales. Se ubica sobre corteza y a veces sobre roca (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinermes y en matorral de médanos.

Características morfológicas: talo ligeramente crustáceo, a veces granuloso, areolado o rimoso. Superficie color negra a grisácea. Estructura reproductiva: apotecio, de tipo lecanorino, color negro. Presenta disco usualmente negro, o de color marrón pálido a marrón (Brodo et al., 2001).

Las especies que pertenecen a este género se han utilizado en estudios ecológicos, principalmente en bosques, para estimar la calidad del hábitat (Lättman et al., 2009).

Afin *Dirinaria* picta (figura 10)

Distribución y hábitat: se ubica en regiones tropicales de ambos hemisferios, sobre corteza y madera (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinermes.

Características morfológicas: talo folioso y lobulado. Color gris, gris azulado o a veces blanco. Presenta abundantes soredios o pseudocifelas. Lóbulos radiales, planos o convexos. Estructura reproductiva: rara vez presenta apotecios; cuando los presenta, son laminares y de tipo lecanorino (Brodo et al., 2001).



Afin *Endocarpon* sp. (figura 11)

Distribución y hábitat: su distribución es cosmopolita, principalmente en climas templados. Se encuentra sobre suelo, dentrito, musgos y rocas, raramente sobre corteza (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se localizó en la comunidad de vegetación micrófila subinermes.

Características morfológicas: talo escuamuloso a subfolioso. Superficie superior color marrón, suave a rugulosa. Escuámulos continuos, de planos a cóncavos o convexos. Está adheridos al sustrato por rizinas o rizohifas. Estructura reproductiva: peritecio laminal, inmerso, piriforme a subgloboso (Brodo et al., 2001).

Especies de este género se utilizan como indicadores ecológicos, ya que influyen en los ciclos hidrológicos, incluida la porosidad del suelo, la textura y la retención de agua (Pando-Moreno et al., 2017).

Afin *Flavopunctelia* sp. (figura 12)

Distribución y hábitat: su distribución predomina en climas templados o en montañas altas de regiones tropicales. Se encuentra sobre ciertas especies de angiospermas y coníferas, así como en rocas (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerm.

Características morfológicas: talo folioso y lobulado. Superficie color amarillo pardo, y de verdoso a verde amarillento. Lóbulos sin cilios y redondeados. Estructura reproductiva: raramente presenta. Puede tener apotecio de tipo lecanorino (Brodo et al., 2001).

Se han realizado extractos de especies de este género, los cuales presentaron actividad antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus* y *Klebsiella pneumoniae* (Rodríguez et al., 2015).



Afin *Peltula obscurans* (figura 13)

Distribución y hábitat: se ubica al sur de Europa, en Sudamérica, Norteamérica, África, Asia, Australia y Nueva Guinea. Se encuentra sobre rocas y suelo en desiertos y otros hábitats abiertos y áridos (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerm.

Características morfológicas: talo areolado a ligeramente escuamuloso. Superficie color oliva-marrón a marrón. Areolas ligeramente planas a convexas. Estructura reproductiva: apotecio de tipo lecanorino, uno por areola. Disco redondo, rojo-violeta (Brodo et al., 2001).

Algunas especies de este género son importantes ecológicamente ya que facilitan la fijación de CO₂ (Büdel, Vivas, y Lange, 2013).

Afin *Peltula richardsii* (figura 14)

Distribución y hábitat: Se distribuye principalmente de Norteamérica al centro de México. Se encuentra sobre suelos con altos niveles de calcio (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerm.

Características morfológicas: talo escuamuloso. Superficie superior color marrón-oliva, suave lisa y brillante. Escuámulos redondos, cóncavos o convexos. Estructura reproductiva: presenta de uno a dos apotecios por escuámulo, inmerso en el talo, color naranja a rojizo (Brodo et al., 2001).



Afin *Physcia biziana* (figura 15)

Distribución y hábitat: Se localiza principalmente en África, Norte y Sur América y Europa. Se encuentra sobre troncos o ramas de los árboles en regiones abiertas y en rocas expuestas (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerm.

Características morfológicas: talo folioso, irregular y lobulado. Superficie superior gris pardo a gris crema. Lóbulos ligeramente angostos, ensanchados y ascendentes. Estructura reproductiva: presenta abundantes apotecios, pequeños y de tipo lecanorino. Disco color marrón a negro (Brodo et al., 2001).

Afin *Placynthiella* sp. (figura 16)

Distribución y hábitat: su distribución es cosmopolita, principalmente en zonas templadas de América del Norte y del Sur, Europa, Asia, Macaronesia y Australia. Se encuentra sobre suelo, humus, corteza, madera y a veces en rocas (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de

vegetación micrófila subinerme. Matorral de médanos y matorral de médanos subinerme.

Características morfológicas: talo crustáceo, efuso, granular-verrucoso o leproso, con abundantes isidios color verde-marrón oscuro. Estructura reproductiva: raramente presente, a veces apotecio de tipo lecideino, color rojo marrón a marrón-negro o negro (Brodo et al., 2001).

Algunas especies de este género son importantes en la geoquímica y mineralogía, ya que la aparición de especies de este género indica la presencia de metales en los sustratos en que se forman (Medeiros et al., 2014).



Afín *Polysporina* sp. (figura 17)

Distribución y hábitat: se distribuye principalmente en Europa, Asia, Norteamérica, Nueva Zelanda y Tasmania. Se encuentra sobre rocas, raramente en suelo (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerme.

Características morfológicas: talo areolado a crustáceo. Superficie superior negra a gris oscuro. Areolas ovaladas a redondas. Estructura reproductiva: presenta un apotecio por areola, de tipo lecideino. Disco usualmente redondo, plano a convexo, color negro a rojo oscuro (Brodo et al., 2001).

Afín *Psora crenata* (figura 18)

Distribución y hábitat: se distribuye principalmente al sureste de África, Australia y Norteamérica. Se encuentra sobre suelo de hábitats abiertos y desiertos (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerme.

Características morfológicas: talo escumuloso. Superficie superior color blanco aperlado, que se torna a beige en el centro. Escuámulos en forma de roseta, convexos a cóncavos. Estructura reproductiva: presenta apotecio marginal, elevado, globoso, uno o hasta diez por escuámulo, color negro (Brodo et al., 2001).

Algunas especies de este género se utilizan como indicadores ecológicos, ya que influyen en los ciclos hidrológicos, incluida la porosidad del suelo, la textura y la retención de agua (Pando-Moreno et al., 2014). Asimismo, son susceptibles a la pérdida del hábitat y cambio climático (Williams et al., 2017) y a la presencia de metales proveniente de los sustratos en que se forman (Barreno-Rodríguez y Pérez-Ortega, 2003).



Afín *Psora tuckermanii* (figura 19)

Distribución y hábitat: Se distribuye en Norteamérica, principalmente en Arizona y California. Se encuentran sobre suelo y rocas, en hábitats abiertos (Brodo et al., 2001). En el APFF Médanos de Samalayuca se encontró en la comunidad de vegetación micrófila subinerme.

Características morfológicas: talo escumuloso. Superficie superior color marrón claro con márgenes blancos. Escuámulos elongados, imbricados, cóncavos a convexos. Estructura reproductiva: presenta apotecio ovalado a cóncavo, aterciopelado, de tipo lecideino, uno a dos por escuámulo, de color marrón rojizo (Brodo et al., 2001).

Algunas especies de este género se utilizan como indicadores ecológicos, ya que influyen en los ciclos hidrológicos, incluida la porosidad del suelo, la textura y la retención de agua (Pando-Moreno et al., 2014). Asimismo, son susceptibles

a la pérdida del hábitat y cambio climático (Williams et al., 2017) y a la presencia de metales proveniente de los sustratos en que se forman (Medeiros et al., 2014).

Conclusiones

El Área Natural de Protección de Flora y Fauna Médanos de Samalayuca, a pesar de ser una zona árida, posee las condiciones propicias para el desarrollo de diferentes especies de ascolíquenes. De esta manera, es que del año 2009 al 2017 se registraron 18 especies de ascolíquenes, principalmente de las familias *Acarosporaceae*, *Caliciaceae* y *Verrucariaceae*, similar a lo reportado en el país y en el norte de México. Estos organismos se han considerado parte importante del ecosistema, ya que algunas especies encontradas en estas zonas, como las del género *Psora* y *Endocarpon* han sido formadoras de costras biológicas. Especies del género *Psora*, *Buellia* y *Caloplaca* se encuentran en sustratos con altas concentraciones de calcio. Asimismo, especies del género *Acarospora*, *Peltula*, *Psora* y *Caloplaca*, son fijadores de CO₂. Sin embargo, los estudios de estos organismos en zonas áridas son aún escasos, y se requiere de más investigaciones para conocer su diversidad e incluso para realizar estudios ambientales y de uso potencial.

La importancia de este tipo de estudios radica en la multidisciplinariedad, debido a que el conocimiento de la riqueza de estos organismos presentes en el desierto en donde la humedad y los recursos son escasos, contribuye a posteriores proyectos, desde los ecológicos para el estudio de perturbación, impacto antropológico, contaminación ambiental, hasta los estudios económicos en cuanto al uso potencial de estos organismos. Además, es importante reconocer y atribuir el valor de los ecosistemas desérticos, los cuales resguardan gran diversidad de organismos.

Referencias

- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. (2001). *Indice di Biodiversità Lichenica: Manuale I*. ANPA Roma.
- Barreno-Rodríguez, E. y Pérez-Ortega, S. (2003). *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias*. KRK Ediciones.
- Belnap, J. y Gillette, D. A. (1998). Vulnerability of desert biological soil crust to wind erosion: the influences of crust development, soil texture and disturbance. *Journal of Arid Environments*, 39, 133-142.

- Belnap, J., Kaltenecker, J. H., Rosentreter, R., Williams, J., Leonard, S. y Eldridge, D. (2001). *Biological Soil Crusts: Ecology and Management* (Pam Peterson, ed.). U. S. Department of the Interior. Boonpeng, C., Polyam, W., Sriviboon, C., Sangiamdee, D., Wathana, S., Nimis, P. L., y Boonpragob, K. (2017). Airborne trace elements near a petrochemical industrial complex in Thailand assessed by the lichen *Parmotrema tinctorum* (Despr. Ex Nyl.) Hale. *Environmental Science and Pollution Research*, 8(1), 101-113.
- Brodo, I. M., Duran Sharnoff, S. y Sharnoff, S. (2001). *Lichens of North America* (1.ª ed.). Yale University Press.
- Büdel, B., Vivas, M. y Lange, O. L. (2013). Lichen species dominance and the resulting photosynthetic behavior of Sonoran Desert soil crust types (Baja California, Mexico). *Ecological Processes*, 2(6), 1-9.
- Castillo-Monroy, A. P. y Benítez, Á. (2015). Patrones de abundancia y riqueza de componentes de la costra biológica del suelo en un matorral seco del sur de Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*. 7(1), 88-97.
- Chacón-Ramos, V., Quiñónez-Martínez, M. y Álvarez Barajas I. L. (2014). Líquenes. Bosque templado. En Conabio, *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado* (421- 425). Conabio.
- Chaparro-de Valencia, M. y Aguirre-Ceballos, J. (2002). *Hongos liquenizados* (1.ª ed.). (M. Echeverri Perico, Ed.). El Malpensante.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Médanos de Samalayuca*. Semarnat/Conanp. <https://www.imip.org.mx/imip/node/74>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2013). Biodiversidad Mexicana. México. Recuperado el 1 de octubre de 2019 de <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado.html>
- Consortium of North American Lichen Herbaria. (9 de noviembre de 2018). [Base de datos]. <https://lichenportal.org/cnalh/>
- Devkota, S., Chaudhary, R. P., Werth, S. y Sheidegger, C. (2017). Indigenous knowledge and use of lichens by the lichenophilic communities of the Nepal Himalaya. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(15), 1-10.
- Global Biodiversity Information Facility. (2018). [Base de datos]. <https://www.gbif.org/>
- Herrera-Campos, M. A., Lücking, R., Pérez, R. E., Miranda-González, R., Sánchez, N., Barcenás Peña, A., Carriozosa A., Zambrano A., Ryan B. D. y Nash III,

- T. H. (2014). Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 82-99.
- Illana-Esteban, C. (2012). Líquenes usados en medicina tradicional. *Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid*, 36, 163-174.
- Index Fungorum Partnership. (2018). [Base de datos]. <http://www.indexfungorum.org/>
- Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W. y Stalpers, J. A. (2008). *Dictionary of the fungi* (10.ª ed.). CABI.
- Lättman H., Brand A., Hedlund J., Krikorev M., Olsson N., Robeck A., Rönmarck F. y Mattsson J. (2009). Generation time estimated to be 25-30 years in *Cliostomum corrugatum*. *The Lichenologist*, 41(5), 557-559.
- Medeiros I. D., Fryday A. M. y Rajakaruna N. (2014). Additional lichen records and mineralogical data from metal-contaminated sites in Maine. *Rhodora*. 116(967), 249-266.
- Miranda, F. y Hernández, E. (1963). Los tipos de vegetación y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28, 29-179.
- Nash III, T. H. (2008). *Lichen Biology*. Cambridge University Press.
- Nash III, T. H., Ryan, B. D., Diederich, P., Gries, C. y Bungartz, F. (2007). *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region* (Vol. 3). Arizona State University Lichen Herbarium.
- Nash III, T. H., Ryan, B., Gries, C., Bungartz, F. y Diederich, P. (2002). *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region* (Vol. 1). Arizona State University, Tempe.
- Pando-Moreno M., Molina V., Jurado E. y Flores J. (2014). Effect of biological soil crusts on the seed germination of three plant species under laboratory conditions. *Botanical Sciences* 92(2): 273-279.
- Rather, L. J., Jameel, S., Ganie, S. A. y Bhat, K. A. (2018). Lichen derived natural colorants: history, extraction and applications. En M. Yusuf (Ed.), *Handbook of renewable materials for coloration and finishing* (103-114). Scrivener Publishing.
- Rodríguez O. E., Andrade W. A., Díaz, F. E. y Moncada, B. (2015). Actividad antimicrobiana de líquenes de la cuenca alta del río Bogotá. *NOVA*. 13(23), 65-72.
- Seaward, M. R. D. (2008). Environmental role of lichens. En Nash III, T. H. (Ed.). *Lichen Biology* (2.ª ed.) (274-298). Cambridge University Press, United Kingdom.
- Shepherd, U., Brantley, S. y Tarleton, C. (2002). Species richness and abundance patterns of microarthropods on cryptobiotic crusts in a piñon-juniper habitat: a call for greater knowledge. *Journal of Arid Environments*, 52, 349-360.
- Williams L., Colesie, C., Ullmann A., Westberg M., Wedin, M. y Büdel B. (2017). Lichen acclimation to changing environments: Photobiont switching vs. climate-specific uniqueness in *Psora decipiens*. *Ecology and Evolution*. 7(8), 2560-2574.
- Will-Wolf, S., Hawksworth, D. I., Mccune, B., Rosentreter, R. y Sipman, H. J. (2011). Lichenized Fungi. En G. M. Mueller. *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods* (173-194). Elsevier.
- Zhang, T., Liu, M., Wang, Y., Wang, Z., Wei, X. y Wei, J. (2017). Two new species of Endocarpon (Verrucariaceae, Ascomycota) from China. *Scientific Reports*. 7, 7193, 1-11.

Sección de biotecnología

La biotecnología por definición es toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos. En este contexto, vemos que en la actualidad existen numerosas aplicaciones en el ámbito agrícola, médico, de alimentos, etc., que resaltan la importancia de esta tecnología, destacándose en esta sección el aprovechamiento de los recursos del desierto.

El cambio climático que se vive hoy, y el mal uso que se le ha dado a recursos finitos como el agua y el suelo, han dado como resultados el aumento de las zonas desérticas y semidesérticas; debido a ello, la comunidad científica debe enfocarse en reforestar estas zonas y darle un uso racional a los recursos vegetales que nos proporcionan, por lo que los trabajos que se presentan en esta sección cumplen con esos objetivos.

El huizache (*Vachellia sp.*) es un árbol que tiene diversos usos, lo que lo convierte en un recurso útil para la reforestación y recuperación de suelos. Los usos más frecuentes encontrados de las especies de huizache son el forrajero, el medicinal, como combustible y para la alimentación de pequeños rumiantes en pastoreo. Este árbol también tiene la propiedad de fijar el nitrógeno atmosférico a través de las bacterias llamadas rizobios. El género *Vachellia* presenta una gran dureza en la corteza externa de sus semillas, lo que dificulta su reproducción y por lo que el cultivo *in vitro* es una alternativa, ya que permite la obtención de hasta 10,000 vitroplantas a partir de una sola semilla.

Lycium berlandieri es una planta localizada en el Desierto Chihuahuense y en el desierto sonorenses, y produce unas bayas rojas de sabor agrisado, ligeramente amargas y jugosas. Estos frutos tienen un elevado contenido proteico, por lo que con el uso de la biotecnología es factible elaborar alimentos funciona-

les. En la investigación que se presenta se muestra la elaboración de galletas con aceite de oliva, harina de trigo y avena, a lo cual se adicionó el fruto seco.

La planta de candelilla crece casi únicamente en la región semidesértica y desértica de México, dentro del Desierto Chihuahuense y contribuye a la prevención de la erosión edáfica, pues protege al suelo de la radiación solar y del efecto del viento por lo que es una planta útil para la reforestación, pero también para extraer cera que tiene propiedades físico químicas sobresalientes además de ser un recurso exportable del semidesierto.

El mezquite, arbusto perenne que crece rápidamente, y se distribuye en zonas áridas y semiáridas de todo el mundo, a través de su floración permite la obtención no solo de miel sino también de jalea real, polen, cera, veneno y propóleo. Ese último posee propiedades antibacterianas, antifúngicas, antivirales, antiparasitarias, antiinflamatorias, antioxidantes, antiproliferativas, antihepatotóxicas, entre otras, pero en la investigación que se presenta en este libro se plantea la evaluación del producto local (Casas Grandes) como conservante de alimentos elaborados con cereales.

Todas las investigaciones mostradas en esta sección son relevantes no solo por la protección y conservación de especies del desierto y de sus suelos, sino también por los usos que se les puede dar al proporcionar nuevas posibilidades de alimentos e incluso de productos exportables.

Sandra Pérez Álvarez

CAPÍTULO 7

Escarificación y multiplicación *in vitro* del huizache

Crescencio Urías García¹

Sandra Pérez Álvarez²

Lorena Patricia Licón Trillo

César Octavio Licón Trillo

Introducción

V*achellia farneciana* (L.) Willd y Arn., conocida comúnmente como aroma o huizache, es un arbusto o árbol pequeño caducifolio nativo del mediterráneo, aunque se ha naturalizado en muchas partes de los trópicos y subtropicos del Nuevo y Viejo Mundo en donde se ha introducido. Es una especie útil para la reforestación de tierras secas degradadas y se usa también de manera extensa para combustible (Parrotta, 1992).

El género *Vachellia* L. cuenta con aproximadamente 1,300 especies ampliamente distribuidas en los trópicos del mundo; en México se reconocen alrededor de 84 especies nativas, de las cuales 30 son endémicas y la mayoría se encuentra en regiones áridas y semiáridas del país (Méndez, 2017). Los usos más frecuentes encontrados de las especies de *Vachellia* L. son: forrajero, me-

¹ Todos los autores de este capítulo están adscritos a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (FCAyF) de la Universidad Autónoma de Chihuahua (Uach). Km 2.5, carretera Delicias-Rosales, campus Delicias, ciudad Delicias, Chihuahua, C. P. 33000.

² Autor de correspondencia: spalvarez@uach.mx

dicinal, combustible, mercerías y maderas. De las 30 especies de México, 11 se encuentran en categoría de preocupación menor, 10 en categoría vulnerable, 6 en casi amenazada, 2 con datos diferentes y 1 como especie amenazada (Méndez, 2017).

El huizache generalmente presenta problemas de germinación de las semillas en condiciones naturales, ya que posee una cubierta demasiado dura e impermeable que impide el paso del agua (Medina et al., 2005), por lo que la biotecnología es una poderosa herramienta para solventar esta problemática.

Este trabajo va dirigido a estudiantes, investigadores y maestros que investigan en las áreas de biotecnología vegetal, fisiología vegetal y ecología, entre otras ramas afines, cuyos estudios pueden contribuir en un futuro juntamente con este trabajo a los esfuerzos de reforestación de zonas semiáridas y áridas, así como a la conservación de la flora mexicana con especies nativas de la región. Por todo lo antes expuesto, el objetivo de esta investigación fue establecer la metodología de escarificación y multiplicación *in vitro* del huizache (*Vachellia sp.*).

Antecedentes

Vachellia Wight y Arn., 1834, es un género de arbustos y árboles de la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae, compuesto por más de 1,300 especies que se distribuyen en forma natural en todos los continentes con la excepción de Europa. Es el segundo género más grande en la familia (después de *Astragalus*) y cuenta con aproximadamente 1,200 especies ampliamente distribuidas en los trópicos del mundo. Se trata del único género dentro de la tribu Acacieae y posee unas 890 especies en Australia y aproximadamente 200 en América (Rico, 2001).

La mayoría de las plantas provenientes de la familia Fabaceae son consideradas especies multipropósito, debido a que se puede extraer de ellas diversos productos, por ejemplo, hojas para forraje; además, su tallo se usa para leña. También, son ampliamente apreciadas por sus semillas y vainas como alimento de ganado y las flores se utilizan para la elaboración de perfumes (Cervantes et al., 2001). El huizache y el mezquite son árboles que se encuentran en las zonas cálidas y semidesérticas de México y pertenecen a esta familia, por lo que fijan nitrógeno en el suelo a través de las bacterias llamadas rizobios, que forman pequeños nódulos en las raíces. Las bacterias toman el nitrógeno de la atmósfera y lo transforman para que las plantas puedan utilizarlo, y el nitrógeno es uno de los nutrientes principales que necesitan todas las plantas. Estos árboles tienen un

papel importante en su ecosistema, uso en la vida diaria y son una fuente rica en proteína que antes se consumía en diversas regiones del país (Reynoso, 2016).

El mezquite y el huizache generalmente presentan problemas de germinación de las semillas en condiciones naturales, ya que poseen una cubierta demasiado dura e impermeable que impide el paso del agua (Rivas-Medina et al., 2005). Diversos autores han aplicado diferentes tratamientos pregerminativos para romper el letargo en las semillas de las leguminosas, y lograr así aumentar la eficiencia en su germinación (Rivas-Medina et al., 2005; Foroughbakhch et al., 2006; Orozco-Cardona et al., 2010). Estos tratamientos pregerminativos, por ejemplo, la escarificación, son utilizados con la finalidad de obtener un mayor porcentaje de germinación de semillas (Gómez-Merino et al., 2010) y se aplican ácidos, acetonas o alcoholes, a diferentes concentraciones y tiempos o golpes, raspado o inmersión en H₂O hirviendo, que reblandecen o rajan las cubiertas (Sanabria et al., 2001).

Vachellia sp. es una de las especies forestales más plantadas a nivel mundial, siendo la más utilizada en la recuperación de áreas degradadas (Galiana et al., 2002; Tonini y Vieira, 2006). Actualmente, está jugando un rol cada vez más importante en los esfuerzos por sostener el abastecimiento comercial de los productos forestales y al mismo tiempo reducir la presión de los ecosistemas de bosques naturales. La propagación asexual de *Vachellia sp.* ha sido estudiada; sin embargo, persisten aún muchas dificultades, lo cual representa una limitante para la implementación de una silvicultura de precisión en el cultivo de esta especie. La brotación de árboles decapitados, incluso en estados juveniles es difícil, y no es frecuente encontrar en la naturaleza estados juveniles en árboles adultos como fuente de material para propagación vegetativa para el establecimiento de clones, por lo que la micropropagación ha sido utilizada como un mecanismo para multiplicar masivamente clones de especies forestales de alto valor económico (Carrizosa y Serrano, 1996).

Torres y otros (2013) trabajaron con propagación *in vitro* de *Acacia mangium* Willd, ya que es una especie forestal utilizada por la calidad de la madera y rápido crecimiento; sin embargo, menciona que los estudios de propagación clonal son muy pocos. Su objetivo fue desarrollar un protocolo de micropropagación a partir de explantes con meristemos preexistentes. La desinfección la realizó con diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio y antibióticos, que fueron establecidos en medios de cultivo MS (Murashige y Skoog) con diferentes concentraciones (0; 0,44; 0,88 y 2,22 μ M) de BAP (6 bencilaminopurina). Los datos mostraron que 1,0% NaOCl (hipoclorito de sodio) y cefalexina (2 mg

L⁻¹) permitieron obtener el 67% de explantes libres de contaminación. El mayor número de brotes promedio lo obtuvieron con el medio MS suplementado con BAP al 2,22 μ M.

Rivas-Medina y otros (2005), en su trabajo sobre morfología y escarificación de la semilla de mezquite, huizache y ahuehuete menciona que existe poca información sobre la reproducción y propagación de las especies mencionadas. En este trabajo se determinó el porcentaje de germinación y se describió la morfología de las semillas y del embrión de tres especies nativas. Los resultados obtenidos mostraron que en la utilización del método mecánico se obtuvieron los porcentajes de germinación más altos, en huizache el 100% y en mezquite el 53%.

Khalisi y Al-Joboury (2012) realizaron trabajos de investigación con el objetivo de desarrollar técnicas para la propagación de *A. farnesiana* a partir de la multiplicación de explantes nodales derivados de plantas cultivadas *in vitro*, utilizando el medio MS suplementado con BA (benciladenina) y kin (kinetina) en diferentes dosificaciones. Las concentraciones utilizadas para la iniciación de brotes fueron: de BA (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5) mg L⁻¹ y de Kin (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5) mg L⁻¹. El mayor número de brotes fue del 75% en el medio con BA, con un tamaño promedio de de 8.5 cm, mientras que cuando los explantes fueron cultivados en kin solo el 55% de ellos proliferó.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Genética Molecular de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Como material vegetal se utilizaron semillas de *V. sp.* colectadas en la zona norte urbana de la ciudad de Chihuahua en el año 2019, las cuales fueron amablemente donadas para este trabajo por el M. C. Jesús Manuel Baca Venegas. Las semillas se almacenaron en bolsas de papel a 4 °C hasta su utilización.

Para la escarificación de la semilla del huizache, en esta investigación se utilizaron 50 semillas a las cuales se les aplicaron los siguientes tratamientos: T1. Inmersión en agua caliente (H₂O) durante 5 minutos (escarificación física); T2. Inmersión en ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) durante 20 minutos (escarificación química); y T3. Inmersión en ácido clorhídrico concentrado (HCL) por 20 minutos (escarificación química). Una vez realizado el proceso de escarificación, las semillas se lavaron tres veces con agua destilada y se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2%, durante 20 minutos, con dos gotas de Tween 80. Una vez culminada la desinfección, en la campana de flujo laminar las semillas se en-

juagaron tres veces con agua destilada estéril, luego se colocaron en placas de Petri con papel de filtro durante 15 minutos para su secado. Después se cortó el extremo de cada semilla con el bisturí y finalmente se sembraron en el medio agar-agua (6.5 g L⁻¹) para su germinación, a razón de 10 semillas por cada frasco.

El medio de cultivo que se utilizó en todas las fases fue el Murashige y Skoog (MS, 1962) suplementado con sacarosa 30 g L⁻¹, phytigel 2.5 g L⁻¹, y carbón activado 2.5 g L⁻¹. El pH del medio se ajustó a 5.8 antes de ser esterilizado. Después de la esterilización, en la autoclave (121°C a 1.05 kg cm² durante 20 min) se almacenaron las semillas a 25 °C hasta su utilización.

Una vez establecidas las semillas, estas se dejaron crecer durante un mes para proceder a la fase de multiplicación. Los tratamientos utilizados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos para la fase de multiplicación

Tratamientos	Medios de cultivo	Reguladores del crecimiento en mg L ⁻¹
T1	MS	P 0.5 Kin 0.5 Quitosano 60
T2	MS	6 BAP 1 Kin 0.5 Quitosano 60
T3	MS	6 BAP 0.5 Kin 0.5
T4	MS	6 BAP 1 Kin 0.5

6 BAP (6 bencil aminopurina); kin (kinetina)

Fuente: Elaboración propia.

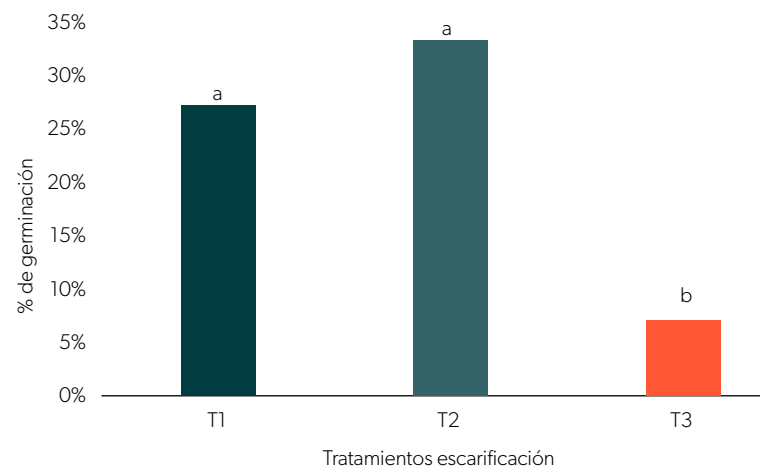
Pasados 21 días, los explantes se subcultivaron hasta obtener el número deseado.

En el trabajo se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Las diferencias entre las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey (p< 0.05). Para los análisis se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.4.

Resultados y discusión

Se utilizaron tratamientos de escarificación físcico, químico y mecánico, resultando ser el mejor la combinación del químico (H_2SO_4) y mecánico (corte con el bisturí). Como mejor resultado de la escarificación utilizada se obtuvo aproximadamente un 35% de germinación de las semillas con el T2 (H_2SO_4 y corte con el bisturí) durante 20 min (figura 1).

Figura 1. Tratamiento de escarificación utilizados en semillas de *V. sp.*, donde T1= H_2O caliente 5 min, T2= H_2SO_4 concentrado 20 min, y T3=HCL concentrado 20 min.



Fuente: Elaboración propia.

Con el T1 (inmersión en H_2O durante 5 min) y se obtuvo un porcentaje del 27% y con el T3 (inmersión en HCL concentrado durante 20 min) el porcentaje del 6% (figura 2).

Figura 2. Viabilidad y germinación del cultivo in vitro del huizache *V. sp.* Donde A: T1 (inmersión en H_2O durante 5 min), B: T2 (H_2SO_4 concentrado 20 min) y C: T3 (inmersión en HCL concentrado durante 20 min).



Fuente: Elaboración propia.

Villarreal-Garza y otros (2013) obtuvieron resultados superiores al utilizar el H_2SO_4 durante 20 min (80% de germinación de las semillas). Foroughbakhch (1989) mencionaron que la inmersión de las semillas de diferentes especies de leguminosas en ácido sulfúrico tiene una influencia significativa en la germinación, y encontraron que los mejores tiempos fueron 20 minutos para *V. farnesiana*, *Acacia wrightii*, *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium pallens* y *P. flexicaule*, y 10 minutos para *A. berlandieri*, *Eysenhardtia polystachya*, *Leucaena greggii* y *P. laevigata*.

Rivas-Medina y otros (2005) realizaron la escarificación y germinación de las semillas de huizache utilizando métodos mecánicos (licuadora y lija) y químicos (H_2SO_4 y H_2O caliente), así como de una incubadora marca Precisión, con una temperatura inferior de 27 ± 2 °C. Los resultados indicaron bajos porcentajes de germinación, siendo el tratamiento mecánico con licuadora doméstica por 30 seg el que mayor efecto mostró en la germinación de la semilla, con 53%. Por el contrario, los porcentajes de germinación más bajos se encontraron con la escarificación química, especialmente con la inmersión en H_2SO_4 por 5 y 10 min respectivamente. Este resultado no coincide con los obtenidos en esta tesis, donde las semillas de huizache germinaron todas al utilizar el H_2SO_4 combinado con el corte del bisturí.

Maldonado (2015) utilizó escarificación química y física en semillas de *V. macracantha*. Los tratamientos utilizados en la escarificación química fueron ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3), y ácido fosfórico (H_2PO_4) a la dosis de exposición de 5, 10, 15, 20 y 25 min. Para la escarificación física se empleó un esmeril, con el cual creó una pequeña ranura a un costado de la semilla; también un alicate (corta uñas) para seccionar un pequeño fragmento al costado de la semilla; luego se sumergieron las semillas en agua hirviendo a una temperatura de

96 °C durante 10 min. Como resultado se obtuvo un 10% de germinación al utilizar el H_2SO_4 durante 15 min, y el menor porcentaje que se obtuvo fue en ácido fosfórico 5 min, donde la germinación fue de 3.6%, aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a los tratamientos físicos, el mejor resultado fue el proceso de limar, con un 46.33% de germinación; y el agua hirviendo por 10 min tuvo el porcentaje más bajo: 12.67%.

Ramírez y García (1994), en semillas de *A. bilimekii*, utilizaron escarificación mecánica, química, física (remojo en agua caliente) y mecánica combinada con física. La escarificación mecánica consistió en quitar una porción muy pequeña de la cubierta dura de la semilla. Esta operación se realizó utilizando una navaja de muelle, la cual, mediante una ligera presión en el extremo distal de la semilla hace que la quebradiza testa se fracture y se desprenda, sin dañar el endospermo de la semilla. La escarificación química fue con H_2SO_4 concentrado durante un periodo de 30 min. Para el remojo en agua caliente, las semillas se sumergieron en agua previamente hervida y enfriada a 70 °C; se mantuvieron a esta temperatura durante 5 min y luego se dejó enfriar el agua junto con las semillas. Después se dejaron en remojo durante 12 h. Por último, se realizó la combinación de la escarificación mecánica con la física (se cambió el agua cada 4 h). Los mejores resultados fueron la escarificación mecánica (99.5 %) y la mecánica combinada con la física (99%). Por su parte, el tratamiento químico con H_2SO_4 propició un 88% de germinación.

Atencio y otros (2003) realizaron tratamientos pregerminativos con semillas de Acacia San Francisco (*Peltophorum pterocarpum*), utilizando seis tratamientos y sumergiendo las semillas en ácido giberélico a 200 mg L⁻¹ por 24 h. Los tratamientos fueron: T1=10 min en H_2SO_4 al 5%; T2=10 min en agua caliente a 80 °C; T3=imbibición durante 24 h en agua; T4=30 s en licuadora; T5=20 min en papel de lija núm. 80; y T6= testigo sin tratamiento. Hubo diferencias significativas a los 18 días después de la siembra; los mejores resultados se dieron al utilizar el papel lija núm. 80 por 20 min y también el agua caliente a 80 °C por 10 min, con valores de 92% y 84%, respectivamente. El H_2SO_4 al 5% disminuyó el porcentaje de germinación, al igual que al dejarlas en agua a temperatura ambiente durante 24 h.

Existen trabajos de investigación en la escarificación de semillas en otras especies de la familia Fabaceae, demostrándose en ellos la importancia de este proceso para la micropropagación. En este sentido, Acosta-Percástegui y Rodríguez-Trejo (2005) informaron porcentajes de germinación en semillas de *L. mon-*

tanus, en luz, del 100%, y del 98% en oscuridad, con escarificación ácida (H_2SO_4 , 35 min) a una temperatura de 20/15 °C.

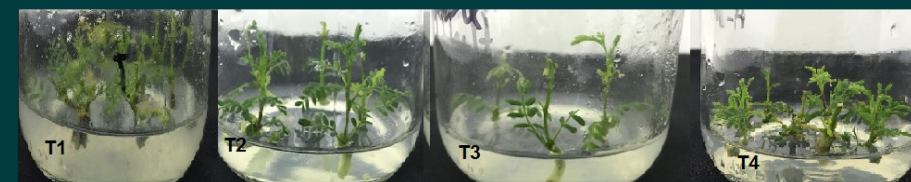
Tendencias similares fueron informadas por Mackay y otros (2001) para *L. arboreus*, quienes encontraron porcentajes de germinación del 98% en semillas escarificadas con H_2SO_4 60 minutos. Sin embargo, Hernández-Ferretiz y otros (2008) encontraron que semillas de *L. montanus* escarificadas con H_2SO_4 presentaron malformaciones, por lo que estos autores sugieren la escarificación mecánica, con la cual lograron 90% de germinación. En este trabajo no se observó ninguna malformación en las semillas de *Vachellia sp.* al tratarlas con el H_2SO_4 concentrado.

Por otro lado, Kaye y Kuykendall (2001) obtuvieron un porcentaje de germinación del 95% para *L. sulphureus* con escarificación mecánica.

De manera general, en este apartado ha quedado demostrada la importancia de la escarificación para la germinación de las semillas del huizache y la utilización del H_2SO_4 para cumplir este objetivo en diversas especies de la familia en estudio.

Al culminar la etapa de germinación los explantes se subcultivaron en el medio de multiplicación con los diferentes tratamientos. Los explantes tuvieron mejor crecimiento y porcentaje de multiplicación en el T2 (figura 3).

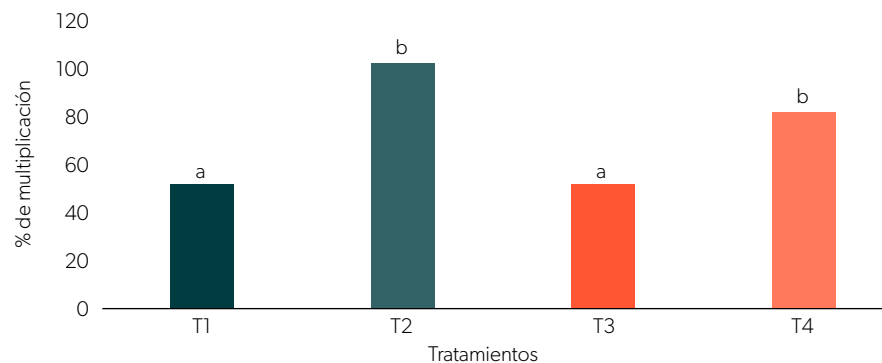
Figura 3. Explantes de *Vachellia sp.* en los diferentes tratamientos utilizados en la fase de multiplicación del primer subcultivo, donde: T1=6 BAP 0.5 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹+ quitosano 60 0.5 mg L⁻¹; T2=6 BAP 1 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹+quitosano 60 mg L⁻¹; T3=BAP 0.5 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹; T4=BAP 1 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹.



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la etapa de multiplicación, los resultados obtenidos se muestran en la figura 4.

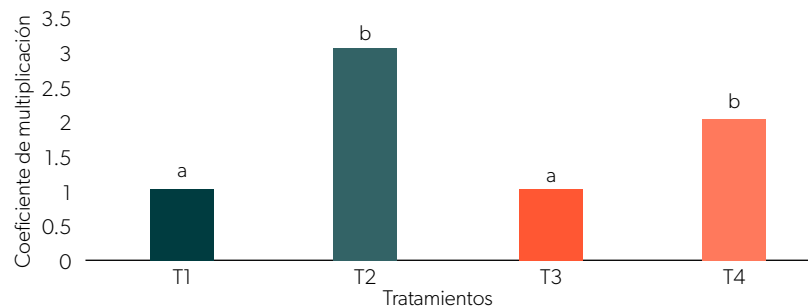
Figura 4. Porcentaje de multiplicación obtenido en cada tratamiento donde T1=6 BAP 0.5 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹+quitosano 60 0.5 mg L⁻¹; T2=6 BAP 1 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹+ quitosano 60 mg L⁻¹; T3=BAP 0.5 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹; T4=BAP 1 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 4, los explantes tuvieron mejor crecimiento y porcentaje de multiplicación en el T2, compuesto por 6 BAP en una concentración de 1 mg L⁻¹, kin 0.5 mg L⁻¹, quitosano 60 mg L⁻¹. El 100% de los explantes multiplicaron en el tratamiento 2, y tuvieron un coeficiente de multiplicación de 3 (figura 5).

Figura 5. Coeficiente de multiplicación de los explantes de *V. sp.* en los diferentes tratamientos utilizados, donde T1=6 BAP 0.5 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹+quitosano 60 0.5 mg L⁻¹; T2=6 BAP 1 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹+quitosano 60 mg L⁻¹; T3=BAP 0.5 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹; T4=BAP 1 mg L⁻¹+kin 0.5 mg L⁻¹.



Fuente: Elaboración propia.

Khalisi y Al-Joboury (2012) utilizaron el medio MS (1962) suplementado con sacarosa 30 g L⁻¹, agar 8 g L⁻¹, 6 BAP (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mg L⁻¹) y kin (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mg L⁻¹) para el desarrollo de los brotes. Obtuvieron los mejores resultados en el medio suplementado con 6 BAP (75% de respuesta), mientras que con la kin la respuesta fue del 55%. Estos resultados no coinciden con los de la presente investigación, donde las mejores respuestas se lograron con la combinación de ambos reguladores del crecimiento.

Abbas y otros (2010) realizaron la micropropagación de *A. nilotica* desde segmentos nodales en medio MS, y obtuvieron el mayor promedio de brotes por explante (3.58) en un medio suplementado con 2.5 mg L⁻¹ de BA.

Shahinozzaman y otros (2013) informaron que el mayor número de brotes se obtuvo utilizando benciladenina (BA) 4.0 μM, concentración muy superior a la kinetina, para disparar la multiplicación de *A. mangium*. El efecto superior de BA sobre la kin en la organogénesis *in vitro* se ha contabilizado en muchas especies de Acacia (Khalafalla y Daffalla, 2008; Rout et al., 2008; Khalisi y Al-Joboury, 2012). Curiosamente, aunque Dhabhai y Batra (2010) observaron regeneración directa de *A. nilotica* en medio MS con kinetina (1 mg L⁻¹) solamente, la proliferación permaneció indiferenciada durante un mes, hasta que se utilizó ácido naftalenacético (ANA) (0,6 mg L⁻¹), que a su vez indujo la multiplicación de brotes casi instantáneamente.

Monteuuis y otros (2013) trabajaron la micropropagación de *A. mangium* a partir de semillas o de explantes recolectados del exterior y el proceso se inició en medio basal MS, suplementado con 4,4 μM BA. Los cultivos de los microbrotes producidos por gemación axilar se desarrollaron y mantuvieron mediante subcultivos regulares cada 60 días en medio de cultivo MS fresco, al que se le añadieron 2,2 μM BA+0,1 μM ANA. Este procedimiento mejoró la capacidad organogénica para la multiplicación de brotes por brotación axilar, con tasas de multiplicación promedio de 3-5 cada 2 meses.

En *Vachellia sp.*, con las combinaciones de 6 BAP, kin y quitosano, se obtuvo un coeficiente de multiplicación de 3.

En esta investigación, los mejores resultados se obtuvieron combinado dos citoquinas (6 BAP y kinetina), siendo esto lo opuesto a lo informado en los trabajos mencionados, donde solo utiliza una de las dos o la BA.

George y Sherrigton (1984) destacaron que la fase de multiplicación es una de las más importantes para realizar la micropropagación de una especie, ya que en esta fase se define el número de plantas a obtener por su calidad genética.

El huizache es una especie que además de contribuir al mejoramiento del suelo y a la economía local, puede ser aprovechada por el sector maderero y nivel industrial, de manera sostenible y constante, por sus características biológicas. La propagación vegetal es un método de reproducción en el cual se ha encontrado respuesta para solventar problemas de disminución de las especies (Alfaro, 2004). Con la aplicación de nuevas técnicas, como el cultivo de tejidos, es posible obtener un incremento acelerado del número de plantas por genotipo, reducir el tiempo de multiplicación, aumentar la sanidad del material propagado, multiplicar rápidamente una especie o variedad de la cual existen pocos individuos, así como facilitar el transporte de material de un país a otro debido a las menores restricciones aduanales con respecto al material *in vitro*. Además, todo proceso de multiplicación se lleva a cabo en un espacio reducido e independiente de las condiciones ambientales (Alfaro, 2004).

El tratamiento utilizado con el medio de cultivo MS para la multiplicación que dio los mejores resultados en este trabajo, incluyendo el coeficiente de multiplicación (3), contenía además de 6 BAP, kin y quitosano.

El quitosano es un polisacárido muy básico, con contenido de nitrógeno variable. Las soluciones de quitosano son altamente estables durante un largo periodo (Sharp, 2013). Con el fin de hacer frente al aumento de los costos del cultivo *in vitro*, los antibióticos, que son muy caros, pueden ser sustituidos con el quitosano de bajo costo y fácil disponibilidad. El quitosano muestra una variedad de actividades antimicrobianas que dependen del tipo, grado de polimerización, composición química y condiciones ambientales.

El quitosano tiene la combinación única de los siguientes atractivos: estimula el crecimiento de las plantas, aporta protección, es ecológico por ser de origen biológico y es fácilmente biodegradable por los microorganismos del suelo. La combinación de estas propiedades hace que este producto sea muy útil como agente de biocontrol (Lay et al., 2006). Por todas estas características es que se utilizó este producto como un suplemento más del medio de cultivo en esta tesis, y el tratamiento 2 mostró un mayor desarrollo de los explantes en cuanto a crecimiento y vigor se refiere, pero más estudios son necesarios para asegurar de forma certera que estos efectos se deben a la utilización del polímero.

Conclusiones

En este trabajo se trabajó con la escarificación de las semillas del huizache y se logró un 35% de germinación con el T2 (H_2SO_4) durante 20 min. En cuanto a la

multiplicación, el mejor tratamiento fue el T2 compuesto por 6 BAP en una concentración de 1 mg L^{-1} , kin 0.5 mg L^{-1} y quitosano 60 mg L^{-1} mediante el cual el 100% de los explantes multiplicaron, teniendo un coeficiente de multiplicación de 3.

Estos resultados son preliminares para continuar trabajando con esta especie y lograr tener la metodología completa con fines de reforestación.

Referencias

- Abbas, H., Muhammad, Q. y Beena, N. (2010). Rapid *in vitro* multiplication of *Acacia nilotica* subsp. *hemispherica*, a critically endangered endemic taxon. *Pakistan Journal of Botany*, 42(6), 4087-4093.
- Acosta-Percástegui, J. y Rodríguez-Trejo, D. (2005). Factors affecting germination and pregerminative treatments of *Lupinus montanus* seeds. *INCI*, 30(9), 123-137.
- Alfaro, C. (2004). Reforestan especies maderables nativas. *Ciencia y Tecnología*, 24.
- Atencio, L., Colmenares, R., Ramírez-Villalobos, M. y Marcano, D. (2003). Tratamientos pregerminativos en acacia San Francisco (*Peltophorum pterocarpum*) Fabaceae. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(1).
- Carrizosa, M. y Serrano, C. (1996). Sistemas modelo para la micropropagación y conservación de especies forestales. En Memorias de IV Congreso "La investigación en la Universidad Javeriana", Bogotá, Colombia (261-272): Pontificia Universidad Javeriana
- Cervantes, G. V., López, G. M., Salas, N. N. y Hernández, C. G. (2001). *Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y criterios para establecer áreas de reforestación*, pp. 27-37. Facultad de Ciencias-UNAM/Pronare/Semarnat.
- Dhabhai K. y Batra A. (2010). Hormonal regulation impact on regeneration of *Acacia nilotica* L. a nitrogen fixing tree. *World Applied Science Journal*, 11, 1148-1153.
- Foroughbakhch, P. R., Alvarado-Vázquez, M. A., Hernández-Piñero, J. L., Rocha, E. R., Guzmán, L. M. A., Treviño, G. E. J. (2006). Establishment, growth and biomass production of 10 tree woody species introduced for reforestation and ecological restoration in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 235, 194-201.
- Foroughbakch, P. R. (1989). Tratamiento a la semilla de catorce especies forestales de uso múltiple de zonas de matorral y su influencia en la germinación.

- Facultad de Ciencias Forestales. U.A.N.L. Linares, Nuevo León, México, 11: 1-20.
- Foroughbakhch, R., Penaloza, R., Stienen, H. (1987). Increasing productivity in the matorral of northeastern Mexico: domestication of ten native multi-purpose tree species. En *Strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones*. Gen. Tech. Rep. RM-150. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 90-98.
- Galiana, A., Balle, P., Guessan, K. A. y Domenach, A. (2002). Nitrogen fixation estimated by the N natural abundance method in *Acacia mangium* Willd inoculated with *Bradyrhizobium* sp. and grown in silvicultural conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(2), 251-262.
- George, E. y Sherrington, P. D. (1984). Plant propagation by tissue culture. Exegetics Ltd., Eversley, UK, 39-71.
- Gómez-Merino, F. C., Vidal-Morales, B., Trejo-Téllez, L. y Molinos da Silva, C. (2010). Escarificación y germinación *in vitro* de semillas de heliconias. *Universidad y Ciencia*, 26(3), 293-297.
- Hernández-Ferretiz, E., Rivera-Meléndez, R., Ramos-Herrera, O. J., Salinas-Pérez, F. C., Rodríguez-Monroy, M. y Bermúdez-Torres, K. (2008). *Effect of scarification treatments on germination of Lupinus montanus HBK seeds*. Proceedings of the 12th International Lupin Conference. Fremantle, West Australia, 14-18 september, 405-409, ref. 19.
- Kaye, T. N., Kuykendall, K. (2001). Effects of scarification, cold stratification on germination of *Lupinus sulphureus* spp. Kincaidii. *Seed Science Technology*, 29, 663-668.
- Khalafalla, M. M. y Daffalla, H. M. (2008). *In vitro* micropropagation and micrografting of gum Arabic tree [*Acacia senegal* (L.) Wild]. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 3, 19-27.
- Khalisi, A. A. y Al-Joboury, Kh. R. (2012). *In vitro* propagation of *Acacia farnesiana*. *Journal of Scientific Research and Advances*, 23(3), 29-34.
- Lay, K. N., Nwe, N., Chandkrachang, S. y Stevens, W. F. (2006). Chitosan as a growth stimulator in orchid tissue culture. *Plant Science*, 170, 1185-1190.
- Maldonado, A. F. J. (2015). *Evaluación de germinación de Vachellia macracantha usando métodos de escarificación* [Tesis de licenciatura para Ingeniero en Agroempresas, Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5030/1/122499.pdf>
- Mackay, W. A., Davis, T. D., Sankhla, D. (2001). Influence of scarification and temperature on seed germination of *Lupinus arboreus*. *Seed Science Technology*, 29, 543-548.
- Medina, R. G., González, C. G., Valencia-Castro, C. M., Sánchez-Cohen, I. y Villanueva, J. D. (2005). Morfología y escarificación de la semilla de mezquite, huizache y ahuehuete. *Técnica Pecuaria en México*, 43(3), 441-448.
- Méndez, P. R. (2017). *Antología del género Acacia Mill.* en México [Tesis de licenciatura para Ingeniero en Restauración Forestal, Universidad Autónoma Chapingo]. http://dicifo.chapingo.mx/pdf/tesislic/2017/M%C3%A9ndez_P%C3%A9rez_Rebeca.pdf
- Monteuuis, O., Galiana, A. y Goh, D. (2013). *In vitro* propagation of *Acacia mangium* and *A. mangium* × *A. auriculiformis*. In: *Protocols for micropropagation of selected economically-important horticultural plants*. Springer Science-Business Media, New York, 199-211.
- Murashige, T. y Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
- Orozco-Cardona, A. F., Franco-Herrera, N., Taborda-Beltrán, L. A. (2010). Evaluación de tres métodos de escarificación en semillas de algarrobo (*Hymenaea courbaril* L.). *Revista de la Universidad de Quindío*, 20(1), 36-41.
- Parrotta, J. A. (1989). *Dalbergia sissoo Roxb.* SO-ITF-SM-24. Technical Report. U.S. Department of Agriculture, 1-5.
- Martínez-Ramírez, S. y García-Blanco J. M. (1994). Efecto de cuatro tratamientos pregerminativos en semillas de *Acacia bilimekii* (Tehuixtle). *Temas de ciencia y tecnología*, 3(8), 55-61.
- Reynoso, V. (2016). Mezquite y huizache, árboles mexicanos que fertilizan nuestro suelo. Asociación de Consumidores Orgánicos. Vía orgánica A. C. <https://viaorganica.org/mezquite-y-huizache-arboles-mexicanos-que-fertilizan-nuestro-suelo/>
- Rico-Arce, M. L. (2001). El género acacia (leguminosae, mimosoideae) en el Estado de Oaxaca, México (parte A). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 58(2), 251-275.
- Rivas-Medina, G., González-Cervantes, G., Valencia-Castro, C. M, Sánchez-Cohen I. y Villanueva-Díaz, J. (2005). Morfología y escarificación de la semilla de mezquite, huizache y ahuehuete. *Técnica Pecuaria en México*, 43(3), 441-448.
- Rout, G. R., Senapati, S. K., Aparajeta, S. (2008). Micropropagation of *Acacia chundra* (Roxb.) DC. *HortScience*. 35, 22-26.

- Sanabria, V. D., Silva, R., Oliveros, M. A., Barrios, R. (2001). Escarificación química y térmica de semillas subterráneas de *Centrosema rotundifolium*. *Bioagro*, 13(3), 117-124.
- Shahinozzaman, M., Faruq, M. O., Ferdous, M. M., Azad, M. A. K. y Amin, M. N. (2013). Direct organogenesis and plant regeneration from cotyledons of a multipurpose tree, *Acacia mangium* Willd. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 7, 511-517.
- Sharp, R. G. (2013). A review of the applications of chitin and its derivatives in agriculture to modify plant-microbial interactions and improve crop yields. *Agronomy*, 3(4), 757-793.
- Tonini, H. y Vieira, B. (2006). Desrama, crescimento e predisposição à podridão-do-lenho em *Acacia mangium*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(7), 1077-1082.
- Torres, L. A., Suarez, I. E. y Gatti, K. (2013). Propagación *in vitro* de *Acacia mangium* Willd. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 81-87.
- Villarreal-Garza, J. A., Rocha-Estrada, A., Cárdenas-Ávila, M. L., Moreno-Limón, S., González-Álvarez, M. y Vargas-López, V. (2013). Caracterización morfológica, viabilidad y germinación de semillas de mezquite y huizache en el noreste de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 82, 169-174.

CAPÍTULO 8

Potencial de distribución espacial en Chihuahua del goji americano (*Lycium berlandieri*) y sus propiedades nutricionales

Martha Patricia Olivas Sánchez^{1*}; Claudia Martínez Vázquez;
Edgar Palacios Quiñonez; José Daniel Carrera Muñoz;
Miroslava Quiñonez Martínez; Cuauhcihuatl Vital García;
Pablo Antonio Lavín Murcio; Irma Delia Enríquez Anchondo;
Lauro Aldama Meza; Raymundo Rivas Cáceres

Introducción

El aprovechamiento de los recursos naturales, especialmente en el desierto, resulta un reto para lograr el balance entre su conservación y explotación sustentable. En este sentido, el presente estudio presenta la posibilidad de uso sustentable de una planta desértica, *Lycium berlandieri*, estimando el potencial de distribución en áreas de matorral desértico. Además, se explora la alternativa de elaboración de alimentos funcionales con el fruto, ya que presenta un alto contenido proteico, aunado al conocimiento de que esta planta ha sido utilizada para beneficiar la salud desde tiempos ancestrales.

¹ Todos los autores de este capítulo están adscritos al Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). *Autor de correspondencia: polivas@uacj.mx

Lycium berlandieri Dun. es un arbusto conocido como cilindrillo, tomatillo o bachata (Olivas, et al., 2012) y crece en los desiertos chihuahuense y sonoreño. Está relacionado filogenéticamente con la especie asiática *L. barbarum* (goji) cuyos frutos se comercializan a nivel internacional a precios elevados, debido entre algunos otros aspectos a su alto contenido de antioxidantes y el beneficio para la salud en el consumidor.

Por otro lado, *L. berlandieri* es una especie americana que ha sido reportada con usos ancestrales por las comunidades indígenas del norte del México y suroeste de Estados Unidos (Nabhan et al., 1989). Su fruto es una baya comestible de color rojizo-anaranjado. Los estudios sobre esta especie son escasos y han sido encaminados principalmente hacia la determinación de la capacidad antioxidante de los frutos y la caracterización del contenido proteico.

El presente trabajo es una síntesis de una serie de investigaciones multidisciplinarias con enfoque en el uso potencial de esta planta en el desarrollo regional. El propósito general fue elaborar alimentos funcionales de *L. berlandieri* con el fin de adecuarlos como suplementos alimenticios. Además, se valoró el potencial de distribución espacial de la especie en zonas de matorral desértico del estado de Chihuahua, cercanas a afluentes acuíferas, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de determinar si existe posibilidad de exploración sustentable de poblaciones silvestres.

Este estudio, que va dirigido a la comunidad científica y estudiantil, consiste en desarrollar una propuesta de elaboración de un alimento funcional a partir de una especie nativa del desierto, con énfasis en el aprovechamiento biotecnológico de los recursos naturales y miras de ofrecer un valor agregado, como es el potencial económico.

Antecedentes

El fruto es una baya jugosa de color rojo, ovalada, que puede contener hasta 30 semillas; este ha sido utilizado con fines comestibles por comunidades nativas del sur de Estados Unidos y noroeste del México (Nabhan, et al., 1989). A la planta se le asocia con otras especies del género *Lycium*, como *Lycium barbarum*, ya que puede tener algunos de los principios activos presentes en esta especie y que se encuentra descrita como planta medicinal y comestible (Amagase y Farnsworth, 2011).

Distribución y hábitat

Lycium barbarum Dun. se distribuye en el estado de Sonora, en el matorral desértico de Chihuahua y en la parte sur de Estados Unidos (en Texas y Arizona). Es característica de los desiertos sonoreño y chihuahuense; rara vez es dominante, pero se presenta en muchos tipos de hábitats del desierto, incluyendo mezquites, pastizales, praderas y sabanas. Puede crecer en suelos salinos del desierto y otros hábitats con suelos franco-arenosos. En los estados de Chihuahua y Texas se puede encontrar en arenas de arroyos (Matthews, 1994). Esta especie se encuentra a lo largo de suelos lavados o arroyos, así como en suelo seco de gravilla a arenoso y en laderas rocosas. También crece en o alrededor de suelos salinos en el Desierto Chihuahuense, pero no está restringido a tales sitios. Se encuentra generalmente en altitudes de hasta 3000 pies (900 m) en Arizona, Texas y Chihuahua (Matthews, 1994).

En relación con su distribución, Mata y otros (2014) evaluaron la diversidad y composición vegetal de los matorrales. Su estudio consistió en un muestreo de 32 sitios por cada tipo de matorral en el cual se realizó un censo de especies vegetales. Encontraron que *Lycium berlandieri* solo estaba presente en el matorral desértico micrófito, con los siguientes valores en una herbácea: abundancia 0.547; dominancia 0.472; frecuencia relativa 0.660; e índice de valor de importancia 1.678. Fue nula su aparición en los otros dos tipos de matorrales, rosetófilo y submontano. En relación con los valores poblacionales mencionados anteriormente, se puede concluir que tiene un nivel bajo, a diferencia de otras especies que fueron censadas. Por ejemplo, *Acacia berlandieri* se encontró en los tres tipos de matorrales y con mayores valores de dominancia, frecuencia relativa e índice de valor de importancia (Mata et al., 2014).

Capacidad antioxidante y nutrientes

Por mencionar algunas de las investigaciones sobre la capacidad antioxidante de esta especie, vemos que Asai y Cao (2009) mostraron propiedades bactericidas y antioxidantes; Morán y otros (2014) investigaron los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de plantas utilizadas por la medicina tradicional del estado de Sonora, entre ellas, las raíces de *L. berlandieri*, y encontraron un 85.99% de capacidad antioxidante, lo que se consideró elevado. Por su parte, Farías-Tapia y otros (2019) hallaron en muestras de *L. berlandieri* colectadas en el Valle de Juárez, una alta concentración de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante en relación con muestras comerciales de *L. barbarum*.

Alimentos funcionales

En los últimos años, el concepto de nutrición ha ganado importancia debido al impacto de los alimentos en la salud y en las enfermedades, específicamente con el síndrome metabólico. Este padecimiento se caracteriza por la resistencia a la insulina, asociada a trastornos del metabolismo de los carbohidratos, cifras elevadas de presión arterial y alteraciones lipídicas, entre otros (Albornoz-López y Pérez-Rodrigo, 2012).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), la dieta y la nutrición son muy importantes para promover y mantener la buena salud a lo largo de toda la vida. El consumo y tipo de alimentos son factores determinantes de enfermedades crónicas no transmisibles, o bien, representan un componente en beneficio y permanencia de la salud. El consumo es un componente fundamental de las actividades de prevención (OMS/FAO, 2003). Por lo tanto, la población ha comenzado a relacionar la comida con la salud, buscando alimentos que aporten beneficios para la misma. Recientemente, se ha incrementado el estudio de alimentos con compuestos bioactivos que sean capaces de disminuir el riesgo de una enfermedad, los cuales han sido denominados alimentos funcionales (Silveira-Rodríguez et al., 2003).

Materiales y métodos

Elaboración de alimento funcional

Se colectaron frutos de *Lycium berlandieri* (figura 1) en la localidad de San Isidro, ubicada en el área del Valle de Juárez, durante cuatro salidas a campo en el mes de mayo del año 2018. Se estimó una cantidad de 150-200 gr por colecta. Los frutos se congelaron a menos 25 °C en bolsas de plástico con *zipper*. Después de ser limpiados, fueron divididos en porciones de 50 gramos, lavados con agua destilada y expuestos durante dos minutos en una solución de ácido ascórbico al 2%, considerando este porcentaje como un tratamiento.

Figura 1. Planta de *Lycium berlandieri*



Fuente: Foto personal MPOS, 2021.

Se sometieron 50 gramos del fruto en un horno Weston® a una temperatura de 60 y 68 °C, por duplicado, con el tratamiento y sin tratamiento. Se midió el efecto de estos patrones en los porcentajes de proteína cruda, cenizas, lípidos y carbohidratos.

Para elaborar el alimento funcional se molieron los frutos secos tratados con ácido ascórbico, tomando aquellos que fueron desecados a 68 °C, y se elaboraron galletas con fruto y sin fruto para llevar a cabo pruebas sensoriales con un grupo de 100 voluntarios.

Distribución espacial de *Lycium berlandieri* en matorral desértico en Chihuahua

Para generar el mapa de distribución de *L. berlandieri* se realizó una consulta de los Herbarios de Mastozoología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, del Herbario del Instituto Politécnico Nacional (IPN) con sede en Durango y del Herbario de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), con el fin de reunir información sobre las coordenadas de sitios para colecta de ejemplares botánicos.

Se consultaron artículos científicos, de los cuales solo dos arrojaron información utilizable para nuestros fines; el primer artículo, de Estrada-Castillón y Villarreal-Quintanilla (2010), nos dice que en Chihuahua se cuenta con la presencia de dos especies del género, las cuales corresponden a *L. berlandieri* Dunal y *L. puberulum*. El segundo artículo, de Martínez y otros (2011), menciona la realización de un informe sobre la nomenclatura de las solanáceas de México, y ofrece un mapa sobre el género *Lycium*; sin embargo, se indica que para el estado de Chihuahua solo existen de tres a cinco especies de ellas, pero no menciona cuáles se presentan en la entidad.

Sumado a la búsqueda bibliográfica, se incluyeron reportes de avistamientos descargados de la página Global Biodiversity Information Facility (GBIF), que contiene registros de la especie desde 1800 hasta abril de 2018, y el criterio de búsqueda fue el *Lycium berlandieri*. También, se realizaron salidas a campo en la Sierra de Juárez, Samalayuca y el Valle de Juárez, para hacer un muestreo de ubicación de poblaciones silvestres de *L. berlandieri*.

Para la elaboración del mapa de distribución potencial de la especie estudiada, se utilizaron sistemas de información geográfica (SIG), empleando el software ArcGIS versión 10.4. Se incluyeron en el análisis las coordenadas de puntos de muestreo, así como información de herbarios, de la literatura, de avistamientos y de salidas a campo.

Para generar las imágenes de *L. berlandieri* se utilizaron los siguientes insumos cartográficos, uniendo los atributos para la creación de un solo mapa:

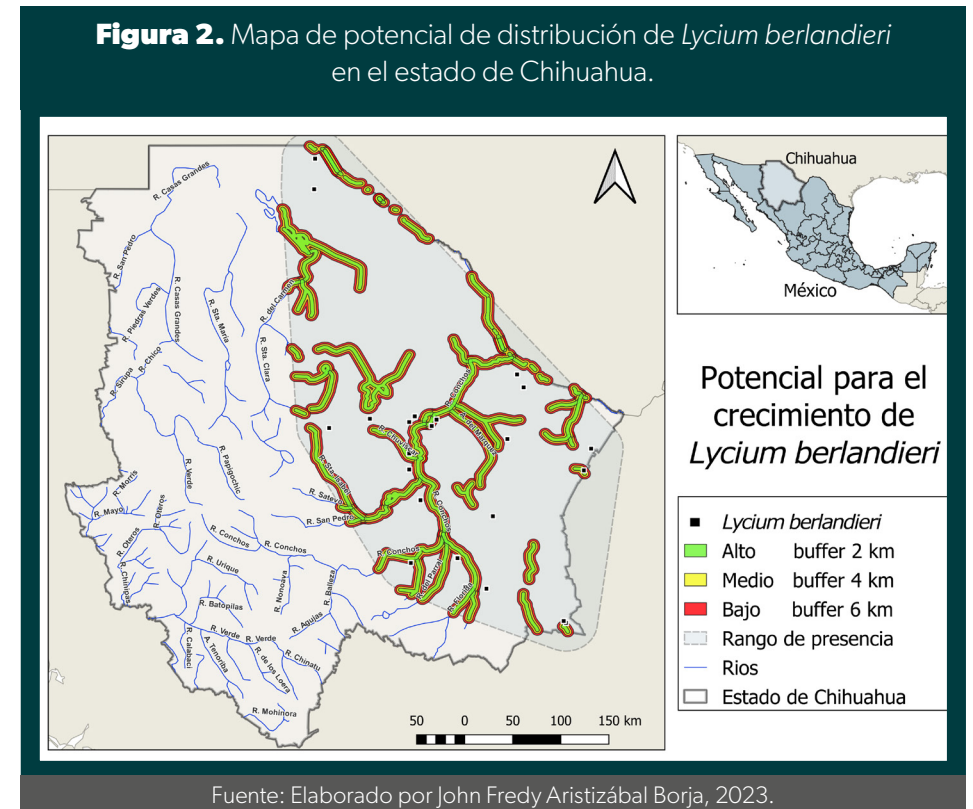
- Uso de suelo y vegetación, serie VI, escala 1:250,000
- Hidrología superficial, principales ríos, escala 1:250,000
- Climas, escala 1:1,000,000

Mediante un procedimiento de área de influencia se generaron tres variables a 2, 4 y 6 km de cada uno de los principales ríos, para posteriormente ser unidas con el uso de suelo y climas, dando como resultado una combinación de los rangos alto, medio y bajo.

Se seleccionaron los polígonos que contenían las variables 2 km, matorral, climas muy seco, seco y semiseco, y se les asignó el valor de alto. Para el siguiente rango solo se cambió el valor a 4 km y se asignó el valor de medio. Para los 6 km se consideraron las mismas variables y se asignó el valor de bajo.

Como resultado del análisis de los SIG se elaboró el mapa de la figura 2, donde se muestra que el potencial de distribución de *L. berlandieri* se relaciona

con ambientes áridos y semiáridos, con frecuencia de composición halófila y en la cercanía de cuerpos de agua.



Esta distribución concuerda con Martínez y otros (2017), que describen a *Lycium berlandieri* Dunal como una especie nativa del continente americano que habita en la región conocida como Megaméxico 1 (Rzedowski, 1991), localizada en los estados de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas.

Resultados y discusión

Los resultados de la valoración bromatológica del fruto, con base en las diferentes temperaturas y tratamientos de desecación, se sometieron a un análisis de varianza para establecer el tratamiento de mejor calidad. Se encontró que el fruto tiene un contenido proteico de entre 14.2 y 15.8%, mismo que es considerado alto en

relación con otros frutos de la región, como el mezquite (*Prosopis juniflora*) que tiene solo 12%, o el *Lycium barbarum* (goji), del cual algunos productos comerciales (Nativas®) reportan ser 13%. Además, se determinó que no existe diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los tratamientos utilizados; sin embargo, los mayores porcentajes de proteína (15.8%) se exhibieron a la temperatura de 68 °C.

En relación con la preparación del alimento funcional, se elaboraron galletas con aceite de oliva, harina de trigo y avena, a las cuales se adicionó el fruto seco que presentó el mejor porcentaje de composición bromatológica de acuerdo con los tratamientos valorados, es decir, aquel en el que el fruto se desecó a temperatura de 68 °C y que antes de ello se trató con una solución de ácido ascórbico al 2% (figura 3).



Las encuestas realizadas al grupo de los 100 voluntarios dieron como resultado un 60% de aceptación de estas galletas con fruto, en comparación con las otras sin fruto.

Morais-Ferreira y otros (2017) elaboraron un estudio de pruebas sensoriales con 120 participantes, empleando *Lycium barbarum* (goji asiático) como aditivo en chocolate blanco; la justificación fue el beneficio que puede traer para los consumidores el uso de alternativas edulcorantes con altos contenidos de antioxidantes. Ellos encontraron una aceptación del 70%, por lo que concluyeron que el empleo de la especie *Lycium barbarum* puede ser una alternativa para alimentos funcionales en la industria de alimentos.

Conclusiones

Existen recursos en el desierto chihuahuense que son susceptibles a la explotación sustentable, como es el caso de *Lycium berlandieri* que puede ser sujeto

de propuestas para el desarrollo regional, ya que presenta una alta cobertura en áreas halófitas cercanas a cuerpos de agua en el estado de Chihuahua. Además, su fruto puede ser utilizado como alternativa para la elaboración de alimentos funcionales, dado su alto contenido proteico y su buena aceptación en pruebas organolépticas.

Cabe señalar que la explotación de esta especie solo podría sustentarse en planes basados en el aprovechamiento racional del recurso silvestre, así como en propuestas de desarrollo de cultivo regional en donde preferentemente sean involucrados agricultores locales y empresas interesadas en producir alimentos funcionales.

Agradecimientos

Agradecemos al Ing. Víctor Vargas y al Dr. John Fredy Aristizábal Borja por la elaboración de la primera versión y segunda versión, respectivamente, del Mapa de potencial de distribución de *Lycium berlandieri*.

Referencias

- Aristizábal, J. F. (2023). Mapa de potencial de distribución de *Lycium berlandieri*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.21985472.v1>
- Albornoz-López, R. y Pérez-Rodrigo, I. (2012). Nutrition and metabolic syndrome. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 32(3), 92-97.
- Amagase, A. y Farnsworth, N. R. (2011). A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit (Goji), *Food Research International*, 44 (7), 1702-1717. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.027>
- Asai, E. y Cao, S. (2009). Evidence of Possible Evolutionary Divergence in Plant Genera Based on Antioxidant Properties. *NCSSMST Journal*, 14(2), 10-12.
- Estrada-Castillón, E. y Villarreal-Quintanilla, J. (2010). Flora del centro del estado de Chihuahua, México. *Acta Botánica Mexicana*, 92, 51-118.
- Farías-Tapia, R., Olivas-Sánchez, M., Flores-Marguez, J., Martínez-Ruiz, N. y Álvarez-Parrilla, E. (2019). Efecto de la salinidad y nitrógeno inorgánico del suelo en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de *Lycium berlandieri*. *Terra Latinoamericana*, 37, 81-90.

- Nabhan, G., Hodgson, W. y Fellows, F. (1989). A meager living on lava and sand? Hia ced O'odham food resources and habitat diversity in oral and documentary histories. *Journal of the Southwest*, 31(4), 508-533.
- Mata, M., Treviño, E., Valdecantos, A., Jiménez, J., Aguirre, O., Alanís, E. y Foroughbackhch, R. (2014). Diversidad y composición vegetal de matorrales en el valle de Santa Catarina, en el Noroeste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(3), 3-15.
- Martínez, M., Rodríguez, A., Vargas, O. y Chiang, F. (2011). *Catálogo nomenclatural de las Solanaceae de México*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Martínez, M., Vargas-Ponce, O., Rodríguez, A. Chiang, F. y Ocegueda, S. (2017). Solanaceae family in Mexico. *Botanical Sciences*, 95(1), 131-145.
- Martínez-Vázquez, C. (2018). *Potencial de distribución de Lycium berlandieri en matorral desértico en el estado de Chihuahua*. [Tesis de licenciatura en Biología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez].
- Matthews, R. (1994). *Lycium berlandieri*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory.
- Morais-Ferreira, J. M., Azevedo, B. M., Luccas, V. y Bolini, H. M. A. (2017). Sensory profile and consumer acceptability of prebiotic white chocolate with sucrose substitutes and the addition of goji berry (*Lycium barbarum*). *Journal of Food Science*, 82(3), 818-824.
- Morán, E. F., Álvarez, Z., Camacho, S., Farías, G.A., Ortiz, A., Cruz, O. y Rodríguez, J. A. (2014). Antioxidant capacity, radical scavenging kinetics and phenolic profile of methanol extracts of wild plants of southern Sonora, México. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(9), 1487-1493.
- Olivas, M., Enríquez, I., Quiñonez M. y Pérez E. (2012). *Plantas y hongos medicinales del estado de Chihuahua*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Organización Mundial de la Salud y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2003). *Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas*. Serie de informes técnicos 916. OMS/FAO Ginebra.
- Rzedwoski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Ciencias*, edición especial, noviembre. Silveira-Rodríguez, M. B., Moneiro-Megías, S. y Molina-Baena, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima ¿Cerca o lejos? *Revista Española de Salud Pública*, 317-331.

CAPÍTULO 9

Extracción de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) de alta calidad en Coahuila, México

David Jonathan Lara Reimers^{1*}; Eduardo Pacheco Rodríguez²;
Eduardo Alberto Lara Reimers³; Diana Uresti Durán⁴

Introducción

La planta de candelilla crece casi únicamente en la región semidesértica y desértica de México, dentro del Desierto Chihuahuense, el cual tiene una extensión de 450,000 Km². Es el desierto más grande de Norteamérica y abarca los estados de Chihuahua, Coahuila, San Luis Potosí, Durango y Zacatecas, localizados en México; y el estado de Arizona, en Nuevo México, y el sur de Texas, en los Estados Unidos. El Desierto Chihuahuense alberga riqueza y diversidad biológica debido a sus condiciones agroclimáticas específicas que permiten el crecimiento de cactáceas endémicas y únicas en el mundo, y de especies vegetativas como la candelilla, la cual tiene

¹ Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ciencias Forestales. *Autor de correspondencia: davidlr844@gmail.com

² Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ciencias Forestales.

³ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal.

⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

su desarrollo casi exclusivamente en esta región. La zona candelillera se encuentra en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Zacatecas, Hidalgo y Puebla, en la república mexicana. Las condiciones geográficas y climáticas han dado lugar a que exista diferente tipo de vegetación, como nopal, lechuguilla, palma samandoca y candelilla. Esta última crece en laderas con suelos calcáreos, de origen aluvial, someros (menores a 25 cm), de textura franco-arenosa, poco profundos, pedregosos, con buen drenaje, ricos en carbonato de calcio, con un pH que va de 7.4 a 8.4, y pobres en nitrógeno (Romahn, 1992; Instituto de la Candelilla, 2008; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2008). Esta planta contribuye a la prevención de la erosión edáfica, pues protege al suelo de la radiación solar y del efecto del viento. Se encuentra en suelos de origen calizo en lomeríos y abanicos aluviales, llanuras con alto contenido de arcilla y en terrenos arenosos. Además, favorece el crecimiento de plantas como lechuguilla, sotol, pasto chino, ocotillo y diversas cactáceas. Sin embargo, aunque no se conocen plagas o enfermedades que la afecten, el aprovechamiento del recurso, la ganadería, el sobrepastoreo y los incendios pueden llegar a poner en peligro sus poblaciones (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2013).

El clima de las regiones candelilleras va de muy seco a semicálido, y la temperatura promedio es entre 18 y 22 °C, con precipitaciones de 300 mm anuales. Presenta una mínima de 5 °C durante los meses de diciembre a febrero, y una máxima de 35 °C de mayo a agosto. Tiene vientos dominantes del norte con velocidades de 4 a 10 km/h hasta 40/60 km/h, generalmente presentes en febrero y marzo (García, 1981). En general, el suelo de las zonas áridas presenta alta pedregosidad y se compone de rocas ígneas arsénicas y rocas ígneas calcáreas, con pH de 5 a 8.4 (Mazuela Águila, 2013).

La candelilla es una planta perenne, fasciculada, es decir, en forma de macollas, con una altura promedio de 20 a 70 cm, provista de raíz pivotante y raíces secundarias, con tallos aéreos y subterráneos; los tallos aéreos son de color verde glauco, con nudosidades y de ramificación simpodial. Además, cuenta con vasos lactíferos, los cuales producen un látex blanco y pegajoso; en estos tallos es donde se localizan los poros ceríferos que tienen como función contribuir a conservar la humedad interna, esto como respuesta adaptativa a las condiciones extremas de las zonas áridas, lo que le permite conservar la poca humedad y protegerse del exceso de energía calorífica (Scora et al., 1995; Conafor, 2005), preservar la clorofila y general, proteger a la planta por oxidación y transpiración (Villa-Salas, 1981). La candelilla pertenece a la familia de las *Euphorbiaceas*, y el

botánico mexicano Gabriel Alcocer le otorgó el nombre definitivo de *Euphorbia cerifera*. Su reproducción es básicamente asexual, por medio de los tallos que utiliza como raíz para anclarse al suelo y formar un nuevo individuo.

El descubrimiento y uso de la candelilla se debe a los indígenas del norte de México, quienes extraían cera cruda hirviendo los tallos en recipientes de barro y después la mezclaban con colorantes para fines ornamentales o para crear pinturas para recipientes de barro, curtir pieles, tensar y lubricar arcos, además de elaborar preparaciones medicinales, lo que con el tiempo se ha convertido en una de las actividades económicas más importantes en el semidesierto.

Fue hasta la llegada de los españoles cuando se le dio un tratamiento especial a esta planta. Hoy sus usos son múltiples y se utiliza en bases para pegamentos, recubrimientos y cosméticos, entre otros usos industriales (Romahn, 1992). Durante la Colonia los españoles la utilizaron para elaborar velas, de ahí su nombre de candelilla, que significa “vela pequeña” (Powell, 1988). Durante el siglo XX empezó su comercialización, controlada por extranjeros. El proceso para la obtención del producto final puede dividirse en tres etapas: la recolección de la hierba, la obtención de la cera cruda, y la refinación. La cera de candelilla se extraía hirviéndose la planta en agua y utilizando después ácido sulfúrico para obtener la cera, método que aún es utilizado actualmente.

La cera de candelilla se emplea en la industria cosmética como emoliente y agente formador de películas. En general, el mercado es impulsado por la preferencia del consumidor por un cosmético “natural”; de esta manera, hay un aumento en la demanda de ceras naturales, en algunos productos como el rímel, uno de los cosméticos más utilizados, seguido por el lápiz labial o lápiz cosmético. Las barras de labios o labiales son producidas con cera de candelilla, pues muestran menor tendencia a la sudoración, debido a un fenómeno de excreción de aceite en la superficie de la barra labial.

La candelilla no puede ser sustituida por otras sustancias como micas y ceras vegetales, debido a sus características especiales y únicas. Esto puede ser demostrado por 16 patentes de productos cosméticos en las que se utiliza para su formulación cera de candelilla y otros ingredientes, obtenidos por una sola empresa, la Schwan-Stabilo de Alemania. (Mazgareanu, 2013).

Las ceras son, químicamente, ésteres de los ácidos grasos con alcoholes de peso molecular elevado, moléculas que se obtienen por una reacción química entre un ácido y un alcohol. En su forma cruda la cera de candelilla es de color café y cambia a color amarillo una vez que es procesada, refinada. Es de

estructura indefinida y tiene dureza de grado medio. En la tabla 1 se muestran las propiedades más utilizadas para caracterizar las ceras naturales.

Punto de fusión (°C)	67-79
Valor de acidez mg KOH/g	12-22
Índice de lodo mg I ₂ /g	14-27
Valor de saponificación mg KOH/g	35-87

Fuente: Cabello et al., 2013.

Su uso en la confitería es ilimitado: se emplea mucho en la elaboración de recubrimientos comestibles formulados (Krotcha, 1997). Una de las principales ventajas del uso de la cera de candelilla en los recubrimientos para frutos u hortalizas es su alta permeabilidad al O₂ y CO₂; este recubrimiento o película comestible es una delgada capa continua, que se utiliza como barrera protectora para los alimentos, lo que reduce la tendencia al desarrollo de sabores extraños como consecuencia del crecimiento de microorganismos. (Domínguez et al., 2003) Esto retrasa los procesos de degradación derivados de la maduración, al proporcionar una barrera contra el oxígeno, solutos y la humedad. Para desarrollar estas películas es necesario tener en cuenta la mecánica, la física y factores químicos involucrados en el almacenamiento de frutas. Además, estas películas pueden conferir propiedades nutricionales y organolépticas a los alimentos si se añaden como antioxidantes, colorantes o sabores artificiales (Miranda, 2003).

Actualmente la Comisión Técnica de Aditivos Alimentarios y Fuentes de Nutrientes añadidos a los Alimentos (ANS) expresó un dictamen científico, en la cual dice que la cera de candelilla utilizada como agente de recubrimiento en alimentos está autorizada por la Unión Europea como aditivo alimentario. De igual forma, el Comité Científico de la Alimentación Humana (SCF), el Comité Mixto FAO/OMS y el Comité de Expertos en Aditivos Alimentario (JECFA) son organizaciones que consideran la cera de la candelilla como agente de recubrimiento aceptable.

Por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente trabajo es mostrar alternativas para mejorar las condiciones de trabajo en el proceso para el aprovechamiento de la cera de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.), en el estado de Coahuila.

Antecedentes

La producción de la cera es de gran importancia económica para los habitantes de las comunidades del norte, que en su mayoría se localizan en Coahuila. Ello representa una actividad económica básica en de la zona del semidesierto y se desarrolla en 300 ejidos distribuidos en 33 municipios de los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango y Zacatecas (Ceras Naturales Mexicanas [Cenamex], 1997). La importancia económica se debe principalmente por las propiedades fisicoquímicas de la cera extraída; ésta contiene ésteres, hidrocarburos, resinas, alcoholes y lactonas, sustancias de alto peso molecular que determinan la calidad, la cual es considerada por la dureza, punto de fusión, impermeabilidad, estabilidad química y brillo. La cera es de gran importancia como recurso exportable del semidesierto, y representa un ingreso a los habitantes de las comunidades, los cuales se encuentran mayoritariamente en el estado de Coahuila.

Hasta 1992, el procesamiento y comercialización de la cera estuvo a cargo del Banco Nacional de Crédito Rural a través de un fideicomiso; después, el Poder Ejecutivo retiró el fideicomiso y transfirió las funciones a la empresa Ceras Naturales Mexicanas S. A. de C. V. (Cenamex, 1997), sociedad conformada con capital mexicano y cuyos accionistas son los seis mil candelilleros del país. Con la firma del Tratado de Libre Comercio (TLCAN) se abrieron nuevos mercados y empresas, tanto nacionales como extranjeras, y también se incrementaron la calidad del producto y los precios. Además, existen 630,500 hectáreas susceptibles de ser aprovechadas, con lo cual se beneficiaría a cerca de 16,000 familias con la extracción de 15,000 toneladas de cera. México es el principal productor de cera de candelilla en el mundo; actualmente la producción se obtiene de solo 152,520 hectáreas, lo que corresponde al 24% de la superficie total (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora [CITES, 2010]).

La producción de la cera está sujeta a los niveles de demanda en el mercado internacional, debido a las variaciones que presentan los productos sustitutos, en especial las parafinas derivadas del petróleo. El aprovechamiento de la candelilla depende pequeños productores de cera que dependen de esta planta y son conocidos a nivel local y nacional con el nombre de "candelilleros", los cuales son más de 3,500 y están distribuidos en 230 ejidos de 33 municipios del noreste rural de México. Así, Coahuila es el principal y más importante estado en cuanto a superficie y producción de candelilla se refiere, ya que participa con el 80% de la producción nacional, sobresaliendo en ello los municipios de Ocampo, Cuatro

Ciénagas y Sierra Mojada. La producción de cera de candelilla en Coahuila en el 2006 fue de 349 toneladas, con un valor de \$ 7,877,582 (CITES, 2010).

La comercialización de candelilla ha tenido aumentos en el valor de las importaciones de los principales países compradores del producto. Diferentes industrias en el ramo de la transformación emplean como materia prima esta cera, ya que existe una tendencia hacia el uso de ceras naturales. Del 2003 al 2007 España fue el máximo comprador, con 27.48% del total; después Italia, con 23.26% y China con el 11% (Conafor, 2004). Las exportaciones mexicanas han sido destinadas principalmente a países industrializados como Japón, Estados Unidos de América (EE. UU.) y Alemania; estos mercados han optado por comprar la materia prima para después transformarla o darle valor agregado (Conafor, 2004). Los principales países consumidores de cera de candelilla son los EE. UU., Japón, Alemania, Francia y el Reino Unido. Estos cinco países requirieron más del 96% del total de la cera de candelilla de las exportaciones de México (Cabello et al., 2013). El mercado internacional de candelilla actualmente es principalmente en la Unión Europea, EE.UU. y Japón (Conafor, 2013).

Por otra parte, la intensa explotación ha ocasionado que muchas poblaciones naturales hayan sido eliminadas como resultado de la práctica tradicional de aprovechamiento del recurso. Esta especie se encuentra en la Norma Oficial Mexicana NOM-018-SEMARNAT-1999, que establece los procedimientos, criterios y especificaciones técnicas y administrativas para realizar la explotación sostenible de la de candelilla, así como el transporte y almacenamiento del cerote o cera; y para la conservación, protección, restauración y aprovechamiento de los recursos forestales de suelos.

Euphorbia antisyphilitica Zucc. es una de las principales especies de la cual se extrae el cerote o cera. Esta cera es uno de los diez productos forestales no maderables más importantes en la zona norte de México. La cera de candelilla es un material que se encuentra en estado sólido a 20 °C y al llegar a 80 °C alcanza su máximo punto de viscosidad. En el entorno natural esta cera se deriva de las hojas del pequeño arbusto llamado candelilla, nativo del norte de México y suroeste de Estados Unidos, y se obtiene hirviendo las hojas y los tallos de la planta con ácido sulfúrico diluido; después se retira el material que flota en la superficie y se lleva a enfriamiento (Morales et al., 2009; Ochoa et al., 2010).

La técnica actual de extracción de la cera de candelilla es de la manera tradicional, y por lo tanto es de alto riesgo ya que se maneja ácido sulfúrico, el cual es una sustancia tóxica, que en ocasiones entra en contacto directo con la piel de los trabajadores durante el proceso. En cuanto a su utilidad, vemos que la cera

sirve para la elaboración de labiales, pulidores, brillos para muebles y películas de alimentos, entre otros usos, además de ser un buen disolvente de colorantes básicos y ser insoluble en agua, pero altamente soluble en acetona, cloroformo, benceno y otros solventes orgánicos (Instituto de la Candelilla, 2008).

Hipótesis

Existen alternativas para mejorar las condiciones de trabajo de los candelilleros durante el proceso de extracción de cera de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), en el estado de Coahuila.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la localidad La Jococa y el ejido Nuevo Yucatán, en Coahuila, México. Geográficamente, el estado de Coahuila se encuentra ubicado en los 24° 32' 13" y 29° 52' 47" de latitud norte y los 99° 50' 30" y 103° 57' 03" de longitud al oeste. Además, está entre los 700 y 1400 msnm, por lo cual predominan las temperaturas extremas. Estas comunidades fueron periódicamente visitadas durante los meses de junio y julio del año 2018, y se analizaron los distintos factores del sistema de aprovechamiento y extracción de la cera, desde la recolección de la planta hasta la extracción de la cera en pailas. Durante estas visitas se recopiló información de los productores y se puso énfasis en los peligros laborales y colaterales que conlleva el manejo de ácidos en esta actividad. Se discutieron las posibles oportunidades de mejora en el proceso de extracción de cerote, en torno a la seguridad laboral del proceso, y si estos cambios pudieran generar una mejora en la productividad actual. También se analizó cuál era la percepción de los trabajadores sobre ciertas alternativas en el aprovechamiento y extracción de la candelilla.

Posteriormente, se analizó la información colectada y se comparó con diversas investigaciones bibliográficas relacionadas al tema. Se expuso cuáles eran las principales problemáticas en el aprovechamiento y cuáles alternativas resultaban como óptimas en los aspectos social, económico y ambiental, para hacer un sistema mejorado.

Recolección de candelilla

Las zonas candelilleras se ubican dentro del desierto y semidesierto del norte del país, se le denomina así porque en su mayoría las comunidades rurales ubicadas

ahí se dedican a la recolección de candelilla (*Euphorbia cerifera*) (Marroquín et al., 1964), además de otras plantas propias del desierto como lechuguilla, nopal y sotol, que junto con la candelilla constituyen una fuente importante de subsistencia para los pobladores de la región.

La recolección de la planta comienza una vez que se ubica el área de aprovechamiento, misma que en la mayoría de las ocasiones se encuentra a varios kilómetros de los poblados más cercanos. La temporada de mayor recolección son los meses de julio a diciembre, época del año cuando la candelilla es apta para ser recogida porque concentra un mayor porcentaje de cera. La recolección comienza seleccionando las plantas más maduras, las cuales son arrancadas en manojos extrayéndose todo el organismo (raíces y tallos). Si las plantas son muy grandes o difíciles de arrancar, se utiliza una herramienta llamada talache, lo cual se realiza muy al límite de la NOM-018-SEMARNAT-1999. Las plantas recolectadas son sacudidas para eliminar los excesos de tierra, impurezas e insectos que puedan estar adheridos a ella; una vez que se limpiaron, estas se amarran en manojos de varias plantas y se acomodan en paquetes de 200 kilogramos. Los candelilleros requieren de transporte, ya sea con tracción animal o mecánica, para llevar la candelilla al poblado más cercano, donde extraerán la cera. También ocupan una paila de medida estándar, con capacidad para 200 kg de hierba fresca, lo cual equivale aproximadamente a 7 u 8 kg de cera, cantidad mínima a recolectar por los candelilleros.

El principal riesgo a futuro que enfrentan las zonas candelilleras y los candelilleros mismos es la sobreexplotación, ya que por más de un siglo la producción de la candelilla se ha llevado a cabo en ausencia de un plan de aprovechamiento integral, lo que conlleva a una sobreexplotación que amenaza con la extinción de este importante recurso natural. En algunas zonas de extracción ya se observa una importante disminución de la densidad de plantas de candelilla; como la extracción de la planta es con todo y raíz, la especie necesita de dos a cinco años para recuperarse, crecer nuevamente y así poder ser aprovechada (Bye et al., 1997).

Por lo anterior es que ya se han establecido varios programas de reforestación, sin embargo, desde 1999 los candelilleros requieren permisos de explotación y aprovechamiento sustentados en un estudio técnico, donde se evalúan las posibilidades de cosecha y se plantean estrategias para realizar un manejo sustentable de la especie. Existen algunos ejidos que cuentan con los permisos para el aislamiento de la cera de candelilla, pero la falta de capacitación y los altos costos para la extracción limitan el proceso de obtención. Los candelilleros

también enfrentan el limitado acceso al comercio justo debido a que dependen de los compradores externos y reciben pagos muy bajos por su producción; no obstante, la Unión Nacional de Ejidos Productores de Candelilla pretende cambiar esta situación. Esta Unión fomenta la compra directa a los candelilleros y también ofrece servicios sociales, como atención médica y capacitación para la extracción de la cera mediante métodos menos agresivos y más verdes, tanto para el candelillero como para el medio ambiente (Canales et al., 2006).

Proceso de extracción del cerote

La explotación de la planta y la extracción del cerote de candelilla forman parte de una industria primitiva y rudimentaria, ya que existe poca inversión en infraestructura productiva. Lo anterior se debe a que el procesamiento de la planta se realiza en lugares diferentes a los de recolección; la movilidad de los recolectores es derivada de la fuente de agua y de dónde existe una abundante población de la planta (De la Cruz, 1958).

El proceso comienza con la preparación de las pailas (tinajas de acero), las cuales tienen una capacidad estimada de 450 a 500 kg para las plantas y 400 o 500 litros de agua. Las pailas son limpiadas y se llenan con agua, luego se prende fuego a un horno que está debajo de la paila y que es alimentado con plantas secas de candelilla, a las cuales ya se les ha extraído la cera. Cuando el agua llega a su punto de hervor, se sumergen las plantas y se presan con una parrilla de metal con el fin de mantenerlas dentro del agua, luego se agrega ácido sulfúrico al 80% para que se desencadene una reacción química mediante la cual la cera se separa de la planta. Así, la solución se vuelve heterogénea y la cera sube en forma de espuma, la cual se colecta con una cuchara espumadera (con forma de coladera) que separa el agua de la cera, y esta última se vierte en un tambo de 100 litros, llamado cortador.

Luego la mezcla se vuelve a calentar para separar el agua y las impurezas residuales, y cuando se obtiene la consistencia idónea se deja enfriar para que se solidifique a temperatura ambiente, lo que puede tardar de dos a tres días dependiendo del clima. El producto resultante de este proceso es llamado tejo o cerote, el cual es quebrado y empacado en sacos y enviado a las industrias, donde es refinado y convertido en cera.

Condiciones de trabajo

La extracción de la cera es un oficio peligroso y estresante en comparación con otros procesos para obtener recursos forestales no maderables, ya que la obten-

ción del tejo de candelilla aún no es un proceso donde se tome mucho en cuenta la seguridad laboral de los candelilleros. Debido a la lejanía de cualquier centro urbano o poblado, se descuidan algunas de las precauciones mínimas de seguridad con las que deben contar los trabajadores.

Considerando que el 30.9% del total de las localidades de México se encuentra en condiciones de aislamiento, en muchos casos no existe acceso a la salud debido a que las clínicas están consideradas para poblaciones con más de 2,500 habitantes, esto según cifras del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval) (2014); además, los lugares donde se encuentran los candelilleros son comunidades marginadas y de difícil acceso, lo que abre el panorama inhóspito de estos trabajadores, quienes no cuentan con seguro médico.

Debido a que el proceso actual y más popular de extracción utiliza el ácido sulfúrico como agente extractor, los obreros no deberían trabajar en contacto directo con este. En adición a esta situación, vemos que los campamentos de extracción se encuentran en pleno desierto, por lo cual las condiciones ambientales son extremas. El principal

problema radica en las temperaturas tan altas que alcanza la paila y en la manera de sumergir las plantas en ella, ya que los trabajadores deben introducir todas las plantas en la solución ácida teniendo mucho cuidado en no llegar a meter un pie en la solución. De ocurrir esto, conllevaría quemaduras químicas serias y al estar tan lejos de los hospitales estas lesiones podrían ser fatales. Además, el ácido está hirviendo y los candelilleros están tan cerca de las pailas, así que respiran constantemente los gases que van saliendo, lo cual conlleva a largo plazo a desarrollar cáncer de pulmón y otras afecciones en el sistema respiratorio, que reducen la esperanza de vida de los trabajadores.

El ácido sulfúrico en contacto con las pailas de hierro actúa sobre las paredes del contenedor, desgastándolas, disolviendo el hierro y contaminando la cera; debido a esto, la cera de candelilla obtenida por los trabajadores presenta un color rojizo, característico de la presencia de hierro. También cabe señalar que la empresa Cenamex renueva constantemente las pailas de hierro debido a que sufren desgaste por acción del ácido (Saucedo-Pompa, 2007).

Por otra parte, se considera que se requiere del trabajo de un candelillero durante un año para producir una tonelada de cera (Chávez, 1985).

Sustitutos ecológicamente amigables

Existen diversos problemas y enigmas que resolver respecto a la cera de candelilla, el principal de ellos es el arcaico proceso de extracción, que tiene más de 100 años de antigüedad. Las nuevas máquinas de extracción usualmente son improvisadas para cada lugar, pues no se ha implementado ninguna nueva tecnología en el procedimiento de extracción. Los estudios para el uso las nuevas tecnologías son contados, ya que la mayoría de ellas son muy sofisticadas y con un alto nivel de inversión, que no poseen los habitantes.

El método utilizado es demasiado dañino, tanto para el medio ambiente como para los candelilleros, debido a los gases de ácido sulfúrico generados en el proceso y a las quemaduras en el cuerpo que provoca el manejo del ácido y de la solución caliente. De León-Zapata (2008) propone una tecnología alterna, en la que sustituya al ácido sulfúrico por ácido cítrico, como extractor; este agente presenta la característica de no emitir gases tóxicos. El autor redujo la concentración de ambos ácidos y obtuvo rendimientos similares, característica que hace eficiente al proceso alterno. Con respecto a las características físicas y químicas, el investigador mencionado consignó que entre las ceras extraídas por las dos metodologías (tradicional y alterna), no existe diferencia en la estructura física, pero que con el ácido cítrico se presenta una mayor pureza, ya que contiene menos de un cuarto de impurezas. Por tanto, el nuevo proceso extractivo es una opción viable, ya que mejoraría la calidad y las condiciones con las que se lleva a cabo la actividad.

Resultados y discusión

Entre las observaciones que se hicieron está la creación de puntos estratégicos para el abastecimiento, con campamentos permanentes y que sean fácilmente desplegadas, ya que en muchos de los casos son muy imprevistas las áreas de recolecta y por ello no se puede dar un seguimiento del aprovechamiento que se está teniendo y esto crea una merma en la planta extraída y aumenta los costes de producción y acarreo.

Otro punto analizado es el corte de la candelilla, que solo debe hacerse desde el tallo, ya que en la mayoría de los casos se hace desde la raíz, lo cual viola lo establecido en la NOM-018-SEMARNAT-1999. Es necesario dejar parte del tallo, ya que esto permitirá el rebrote de la planta y porque además las raíces ayudan a mitigar la erosión del suelo.

En relación con la protección de los trabajadores, es importante que estos vayan con el vestuario adecuado, el cual consiste en botas petroleras, pantalones de seguridad, camisa de manga larga, guantes de carnaza, mascarilla N95 o mascarilla antigases y lentes de protección. Además, se requiere que en el área de pailas se cuente con kits de primeros auxilios y una ducha de emergencia.

En cuanto a la infraestructura, es relevante la implementación de un techado de lámina de aluminio con aberturas para el humo, que tenga una altura de 2.5 m, para que no se quede atrapado el humo. Es importante que los trabajadores cuenten con este tipo de estructuras, puesto que se exponen todas las horas a las altas temperaturas y mucho tiempo al sol, lo que se ve reflejado en su salud a través de quemaduras solares, deshidratación y cambios en el rendimiento del trabajador.

Respecto al tema de las instituciones encargadas de vigilar los aprovechamientos de la candelilla (Conabio, 2008), las supervisiones de estas, en la mayoría de los casos son solo asesoramientos sobre aprovechamiento, es decir, no existe un control real en la extracción de las plantas ni el buen manejo de los residuos químicos. Esta realidad ha afectado el equilibrio de las poblaciones de candelilla en México, ocasionando un impacto irreversible en los ecosistemas semidesérticos donde se desarrolla este arbusto. Por el lado económico, estas malas prácticas ya han creado estragos en el desabasto de la demanda, así como un problema para fijar los precios en el mercado, convirtiéndose así en una actividad de supervivencia (Conabio, 2008).

Una propuesta es modificar el uso de químicos altamente peligrosos (como ácido sulfúrico) por químicos más amigables y de menor impacto ambiental; por ello se propuso la sustitución por ácido cítrico, que sí es una opción más viable dentro del tema ambiental, aunque en lo económico aumentan los costos. No obstante, en México no se encuentra disponible este producto y se tendría que importar de los Estados Unidos, pero el poder adquisitivo de los pobladores y de esta industria como tal no puede solventar los gastos de compra, ni resolver los problemas logísticos para llevar el ácido cítrico a las poblaciones que usualmente son marginadas. Por lo tanto, una gran alternativa para conseguir un precio más accesible el ácido cítrico, es hacer contratos por un volumen de mayoreo con empresas de Estos Unidos que lo produzcan.

Conclusiones

La recolección de candelilla representa un importante ingreso para los productores, para muchos de los cuales es la única forma de ingreso; aunque algunos

cuentan además con otras actividades económicas como la agricultura o la ganadería. Esta práctica incluye a más de cien mil personas, quienes viven de este recurso natural. La explotación de la candelilla con el tiempo se ha convertido en una de las actividades económicas más importante del semidesierto, junto a la recolección de otras especies como el nopal, la palma y la lechuguilla, lo que nos ofrece un panorama del impacto socioeconómico que estas especies tienen en el norte del país.

Las condiciones laborales en que trabajan la mayoría de los trabajadores en la candelilla son muy precarias y las ganancias son muy bajas, además, las condiciones ambientales son adversas. Por esto es que el sistema de aprovechamiento necesita un cambio estructural, puesto que estas regiones dependen de la candelilla. Aunado a lo anterior, vemos que los productores candelilleros han recibido muy poca ayuda gubernamental en forma de apoyos y programas de reforestación e investigación científica que salvaguarden la zona candelillera, lo que conlleva que los productores candelilleros sobreexploten de manera irracional el recurso.

La demanda de ceras naturales y la de la candelilla aumenta anualmente, puesto que su calidad es casi inigualable y la posiciona en un lugar único en el mercado internacional, ya que son pocos los competidores que tiene. Y la implantación de ácido cítrico en el proceso crearía un producto de valor agregado, más amigable con el medioambiente y menos riesgoso para los trabajadores, además que la implementación de medidas de seguridad más estrictas mejoraría la calidad de la salud de los trabajadores y de cierto modo la productividad.

Referencias

- Bye, R., Mata, R. y Pereda-Miranda, R. (1997). Programa del International Cooperative Biodiversity, Avance Group en México. *Noticiero de Biología*, 5, 41-45.
- Cabello Alvarado, C., Sáenz Galindo, A., Barajas Bermúdez, L., Pérez Berúmen, C., Ávila Orta, C. y Valdés Garza, J. (2013). Cera de candelilla y sus aplicaciones. *Avances en Química*, 8(2), 105-110.
- Canales, E., Canales-Martínez, V., Zamarrón, E. M. (2006). Candelilla, del desierto mexicano hacia el mundo. *Biodiversitas*. Conabio. 69, 1-5.
- Ceras Naturales Mexicanas S. A. de C. V. (1997). Saltillo, Coahuila, México. Recuperado el 16 de noviembre de 2021 de <https://agriculturamexico.com/empresa-ceras-naturales-mexicanas-em-saltillo-12081>.

- Chávez, O. P. (1985). Candelilla: la necesidad de un cambio. Reunión Sobre el Manejo y Utilización de las plantas de zonas áridas. USDA Forest Service, Saltillo, México. Pp 73-77.
- Comisión Nacional Forestal. (2013). El comercio internacional de candelilla. Recuperado el 9 de septiembre de 2013 de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/18/1156El%20comercio%20internacional%20de%20Candelilla.pdf>
- Comisión Nacional Forestal. (2005). *La Candelilla*. Consultado el 23 de septiembre de 2005 en http://www.conafor.gob.mx/revista_forestal/vol207
- Comisión Nacional Forestal. (2004). *Aplicación de bioprocesos (microbianos y enzimáticos) para la obtención de productos nutraceuticos, polifenoles y enzimas de interés industrial a partir de la gobernadora, sangre de drago, damiana y candelilla*. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal. Recuperado el 27 de noviembre de 2021 de http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/catalogo_fondo_sectorial.pdf
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2008). *Conservación, uso y comercio de la candelilla. Taller Nacional*. Boletín de prensa 11, 1-3. http://www.conabio.gob.mx/institucion/boletines/pdf/BP011-Taller%20candelilla-DEF_18dic08.pdf
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2014). *Indicadores de acceso y uso efectivo de los servicios de salud de afiliados al Seguro Popular*. Coneval. Recuperado el 20 de diciembre de 2022 de <https://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/Impacto/Acceso%20y%20Uso%20Efectivo.pdf>
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. (2010). La candelilla en el marco de las CITES. Foros y encuentros. Foro temático de candelilla. Recuperado el 20 de noviembre de 2021 de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/18/1155La%20Candelilla%20en%20el%20marco%20de%20las%20CITES.pdf>
- De la Cruz, J. A. (1958). Contribución al estudio de la candelilla [Tesis profesional, Escuela Superior de Agricultura "Antonio Narro"]. Universidad de Coahuila, Buenavista.
- De León-Zapata, M. A. (2008). *Mejoras tecnológicas al proceso de extracción de cera de candelilla*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Coahuila].
- Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-018-SEMAR-NAT-1999. Recuperado el 15 de noviembre de 2021 de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4997715&fecha=02/04/1999#gsc.tab=0
- Domínguez, E., Cortés, V., Ávila, R. M., Olvera, L., Vernon, J., Bosquez, E. y Domínguez, J. (2003). Aumento de la vida postcosecha del limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) producido en Apatzingán, Mich., mediante el uso de recubrimientos naturales a diferentes temperaturas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 5(2), 128-133.
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Instituto de Geografía. UNAM.
- Instituto de la Candelilla. (2008). *La planta de candelilla*. Recuperado el 23 de abril de 2008 de <http://www.candelilla.org/es/>
- Krotcha, J. M., De Mulder, J. C. (1997). Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Technology*, 51(2), 61-74.
- Marroquín, J. S., Borja, G., Velázquez, R. y Cruz, J. A. (1964). *Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del Norte de México*. 2.ª ed. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Mazgareanu, N. (2013). Cosmetic pencil simple and complicated. *Kosmetik International Magazine*. Recuperado el 22 de diciembre de 2021 de <http://cosmalux.ru/eng/press2.html>
- Mazuela Águila, P. C. (2013). Agricultura en zonas áridas y semiáridas. *Idesia (Arica)*, 31(2), 3-4.
- Miranda, N. (2003). Comportamiento de películas de Quitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(4), 331-336.
- Morales J., Alvarado, E., Charó-Alonso, M. A., Weiss, G. y Toro-Vazquez, J. F. (2009). Thermo-mechanical properties of candelilla wax and dotriacontane organogels in safflower oil. *The European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(2), 207-215.
- Ochoa-Reyes E., Saucedo-Pompa, S., De la Garza, H., Martínez, D., Rodríguez, R. y Aguilar-González, C. (2010). Extracción tradicional de cera de *Euphorbia antysiphilitica*. *Acta Química*. Revista de la Universidad Autónoma de Coahuila, 2(3).
- Powell, P. W. (1988). *La guerra chichimeca*. Sección de obras de historia, México. Fondo de Cultura Económica.
- Romahn, C. F. (1992). *Los recursos forestales no maderables de México: una revisión*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Saucedo-Pompa, S. (2007). *Desarrollo de películas comestibles a partir de cera de candelilla y activos antioxidantes*. [Tesis profesional, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila].
- Scora, G. A., Ahmed, M. R. y Scora, W. (1995). Epicuticular hydrocarbons of candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*) from three different geographical areas. *Industrial Crops and Products*, 4, 179-184.
- Villa-Salas, A. B. (1981). Investigación sobre la Candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*) en el área de CIFNE. *Ciencia Forestal*, 6, 4-17.

CAPÍTULO 10

Uso del propóleo como conservador de alimentos

*Nubia Morales¹; Gissel Méndez-Ramírez;
Luis Carrera; Rubén Herrera y Cairo; María Viloría²*

Introducción

El norte de México se caracteriza por una excelente producción de miel, principalmente por floración del mezquite, planta endémica en el Desierto Chihuahuense. La flor de mezquite aparece cada primavera en la región de Casas Grandes, donde están registradas alrededor de mil colmenas (Secretaría de Desarrollo Rural, 2018). La apicultura, además de la miel, genera otros productos como la jalea real, el polen, la cera, el veneno y el propóleo (Cuentas Pizarroso, 2017).

El término propóleo deriva de los vocablos griegos *pro* (delante de o en la defensa de) y *polis* (ciudad o comunidad), haciendo referencia al material de defensa presente en las colmenas. Esta sustancia natural es de color oscuro y de característica pegajosa, producto de la mezcla de resinas de diferentes plantas con las secreciones salivares de las abejas, y es depositada en los panales como material de refuerzo para forrar y sellar aberturas en la colmena, y como protección antimicrobiana (Anjum et al., 2019). Su composición química es compleja y varía dependiendo de la raza de abeja y de la zona en la que habita; se han des-

¹ Todos los autores de este capítulo están adscritos a la Licenciatura en Nutrición de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, División Multidisciplinaria en Nuevo Casas Grandes, Chihuahua.

² Autor de correspondencia: maria.viloria@uacj.mx

critos más de 300 compuestos diferentes, como fenólicos, flavonoides, terpenos, chalconas, esteroides, ésteres, alcoholes, aminoácidos, polisacáridos, etcétera (Salamanca Grosso, 2017). Por el alto contenido de ceras y otros contaminantes, el propóleo no puede ser usado tal cual se obtiene de la colmena, debe tener un proceso de extracción. Se han evaluado diversos métodos y concentraciones de disolventes que permitan la extracción de un mayor número de los componentes activos, destacando el etanol como la mejor propuesta de disolvente, por lo que los extractos etanólicos de propóleo (EEP) han sido ampliamente utilizados y evaluados (Kun Park e Ikegaki, 1998L; Sun et al., 2015). Por lo variable de su composición, es difícil estandarizar su uso médico, sin embargo, independientemente de si el extracto es acuoso o etanólico, es un producto seguro de usar. Aunque hay algunos casos de alergias entre los apicultores, no hay reportes de efectos adversos en humanos ni en animales de laboratorio, por el contrario, se han encontrado efectos incluso protectores en órganos como riñón e hígado, entre otros (Sforcin, 2016).

El propóleo ha sido utilizado desde tiempos ancestrales, por ejemplo, como antiséptico en la antigua Grecia o para embalsamar cadáveres en el antiguo Egipto; se le atribuyen propiedades antibacterianas, antifúngicas, antivirales, antiparasitarias, antiinflamatorias, antioxidantes, antiproliferativas, antihepatotóxicas, entre otras (Zabaiou et al., 2017). Sus propiedades antimicrobianas están ampliamente demostradas (Przybyłek y Karpinski, 2019), incluso su actividad antiviral se ha propuesto como estrategia para el tratamiento de COVID-19 (Bustinsa Pacajes, 2020). Por sus características tanto antimicrobianas como antioxidantes, se ha estado evaluando su potencial como conservador de alimentos (Pobiega et al., 2019).

El presente capítulo puede ser de interés no solo para estudiantes y profesionales de las ciencias de los alimentos o de la nutrición, sino también para los apicultores, quienes podrán contar con evidencias científicas para promover el uso antimicrobiano del propóleo.

Antecedentes

Con el crecimiento de la población, la demanda mundial de alimento se ha incrementado, aumentando también la venta de alimentos procesados y la necesidad de preservar por más tiempo características como sabor, aspecto, textura y seguridad microbiológica. Por esto es que a lo largo de la historia se han utilizado más de 2,500 aditivos alimentarios con diferentes características, que pueden o no causar reacciones adversas (Carocho, et al., 2014). Los aditivos pueden clasifi-

carse en varios tipos, siendo los conservadores antimicrobianos el subgrupo que se utiliza para evitar transformaciones por microorganismos; algunos autores los clasifican como naturales y artificiales, poniendo en duda la calidad de productos ampliamente usados como el benzoato de sodio, y sugiriendo que productos naturales como la sal y el azúcar son más seguros (Linke et al., 2018). Sin embargo, el exceso de azúcares está vinculado con la obesidad y varios trastornos metabólicos, y el consumo de sal debe controlarse en pacientes con hipertensión arterial, por lo que tanto el benzoato de sodio como la sal y el azúcar pueden empezar a ser sustituidos por otros productos más saludables. El propóleo no solo puede ser una alternativa útil para preservar alimentos, sino que además puede aportar efectos benéficos a la salud de las personas, participando incluso en la prevención de enfermedades, por lo que ya es considerado un ingrediente para la producción de alimentos funcionales (Baldi Coronel, 2019).

El propóleo ha sido utilizado para preservar frutos como la papaya, donde se observa que el recubrimiento poscosecha inhibe el crecimiento de microorganismos por varios días, ya sea con EEP (Barrera Bello et al., 2012) o con extractos hidroalcohólicos (Passos et al., 2016). También, extiende la vida de anaquel de frutas como mandarina (Yang et al., 2010), pitaya (Zahid et al., 2013), mango (Mattiuz et al., 2015) y cereza (Erturk Candir et al., 2009). En hortalizas mínimamente procesadas se ha observado que la combinación de propóleo con refrigeración prolonga la vida de anaquel de calabaza, puerro y apio (Alvarez et al., 2015), y es una opción útil en la desinfección de lechuga fresca (Feás et al., 2014).

Respecto al uso en alimentos de origen animal, Aly y Elewa (2007) recurrieron queso fresco con EEP y demostraron que, a pesar de haberse almacenado a 10 °C con un 80% de humedad relativa, una concentración de 1000 ppm de EEP inhibió el crecimiento de *Aspergillus versicolor* hasta por 90 días, protegiendo así de hongos y sus metabolitos tóxicos a los consumidores. Gutiérrez Cortés y Suarez Mahecha (2012) demostraron la capacidad conservante de los EEP en chorizos, al observar inhibición del crecimiento de *Salmonella sp.*, *Clostridium sp.*, y *Staphylococcus aureus*. Los resultados obtenidos por Vargas-Sánchez y otros (2014) al utilizar EEP en empanadas de carne, sugieren que la capacidad conservante del propóleo no es solo por sus efectos antimicrobianos, sino también por sus efectos antioxidantes. En el caso de salchichas de carne inoculadas con *Listeria innocua* PHLS 2030c (sustituto de *Listeria monocytogenes*), los EEP disminuyeron la población bacteriana por debajo del límite de detección en tan solo ocho días, logrando una vida de anaquel de más de dos meses (Casquette, et al., 2016). Los EEP han resultado excelentes conservadores incluso en ali-

mentos de origen animal sin procesar, como filete de pescado crudo refrigerado (Suarez Mahecha et al., 2014).

Dado que propóleos de diversas regiones ya han sido evaluados como conservadores de vegetales y carnes, el presente grupo de investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad conservante en los cereales, un grupo de alimento que no ha sido evaluado. Vargas Sánchez y otros (2020) encontraron que el propóleo de mezquite del noroeste de México tiene las características fisicoquímicas, antioxidantes y antimicrobianas encontradas en propóleos provenientes de otras partes del mundo, cumpliendo con los estándares de calidad internacionales, por lo que la evaluación del potencial conservador de cereales se realizó utilizando propóleo local.

Materiales y métodos

El propóleo fue donado por “Apiarios Peña Blanca”, un colmenar de Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, México. La extracción se realizó mezclando una parte de propóleo con nueve partes de etanol al 70%, para obtener una extracción al 10%. La mezcla se mantuvo en un recipiente de vidrio ámbar y se dejó en la oscuridad por una semana, agitando tres veces al día (Food and Agriculture Organization, 2015). Posteriormente, la fracción líquida fue centrifugada, 400g por 5 min (Sun et al., 2015) y el sobrenadante fue almacenado en oscuridad. Siguiendo el protocolo de Gutiérrez Cortés y Suarez Mahecha (2012) se utilizaron 6 ml del EEP al 10% por cada kilogramo de alimento.

Para evaluar la capacidad conservante en un producto a base de cereal con lácteos y huevo, se diseñó una galleta usando harina de trigo, azúcar, mantequilla, huevos, manzanas, cocoa y vainilla. La masa fue preparada en tres versiones: (1) con benzoato de sodio al 0.1% como conservador; (2) con 6 ml de EEP al 10% como conservador; y (3) con 6 ml de etanol como control. Las galletas se hornearon por 20 min a 170 °C.

Luego, se realizaron análisis microbiológicos siguiendo las indicaciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM 247-(2008) para alimentos a base de cereales con huevo y lácteos como ingredientes, cuantificando *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), hongos y levaduras, mesofílicos y coliformes. Todas las pruebas se corrieron por duplicado en dos experimentos independientes; uno se realizó en temporada de verano (con temperatura ambiente de hasta 40 °C) y el otro en invierno (con temperaturas bajo cero). Los tres grupos de galletas fueron analizadas tras diferentes tiempos de almacenamiento:

24 h, siete días, dos semanas, uno y seis meses. En todas las evaluaciones se incluyeron controles de medio de cultivo.

Resultados y discusión

Se evaluó un cereal bajo la NOM-247, misma que contempla diferentes determinaciones dependiendo de si el producto contiene o no lácteos y/o huevo entre sus ingredientes, razón por la cual la galleta se diseñó con mantequilla y huevo, para incluir al mayor número de microorganismos posibles. Dado que los ingredientes eran de buena calidad y la producción fue con excelentes medidas de higiene, todas las variedades de galletas, incluyendo las que no tenían conservador, pasaron las pruebas para *Salmonella spp.*, *S. aureus*, mesófilos y coliformes. Como se observa en la tabla 1, ninguna de las galletas tuvo crecimiento de estos microorganismos en todos los tiempos de muestreo.

La mayor amenaza para los productos de bollería son los mohos y levaduras, que pueden empezar a aparecer después de pocos días de fabricación. Después de seis meses de almacenamiento, el crecimiento de mohos y levaduras de la galleta control fue en promedio de 1,235 unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo, superando el límite de 300 UFC/g que marca la NOM-247. Por su parte, las galletas conservadas con benzoato y EEP se mantuvieron por debajo de ese límite, con un desarrollo de 90 UFC/g y 85 UFC/g respectivamente, sin diferencia significativa entre ellas ($P = 0.47$). Estudios *in vitro* han demostrado la actividad antifúngica del propóleo sobre *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.*, *Trichoderma sp.*, *Colletotrichum sp.*, y *Monilia sp.* (Cupull-Santana, et al., 2013), por lo que no es de sorprender que en la galleta conservada con EEP se observara una inhibición en el desarrollo de hongos tras seis meses de almacenamiento, a diferencia de la galleta control, que superó el límite que marca la norma desde la primera semana.

Tabla 1. UFC/g después de 6 meses de almacenamiento

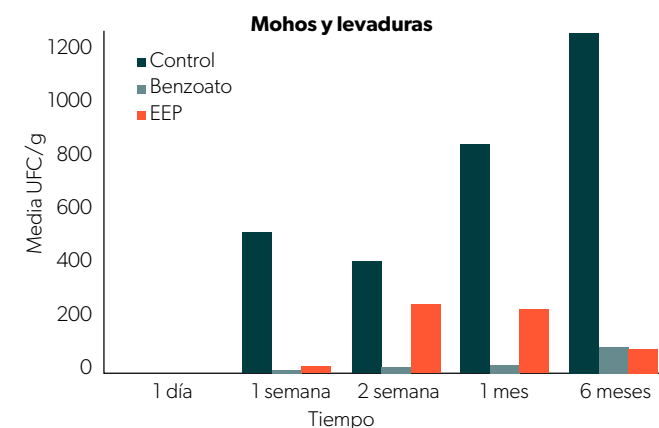
Microorganismo	Variedad de galleta			Límite NOM
	Control	Benzoato	EEP	
<i>Salmonella</i>	ausente	ausente	ausente	ausente
Mesófilos	<100 UFC/g	<100 UFC/g	<100 UFC/g	10,000 UFC/g
<i>S. aureus</i>	0 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	100 UFC/g
Coliformes	sin desarrollo	sin desarrollo	sin desarrollo	<30 UFC/g
Mohos y levaduras	1,235 UFC/g	90 UFC/g	85 UFC/g	300 UFC/g

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 1, la galleta control superó el límite de mohos y levaduras desde la primera semana de almacenamiento y, aunque a las dos y cuatro semanas la diferencia entre la conservación con benzoato y EEP sí fue estadísticamente significativa ($p < 0.005$), ambas galletas se mantuvieron en todo momento por debajo del límite que marca la NOM-247, y con una diferencia significativa respecto al control ($p < 0.001$). En papas hervidas y trituradas (puré), los EEP demostraron ser mejor estrategia conservante que el benzoato de sodio, al mantener el producto libre de crecimiento microbiano hasta por cuatro meses (Bahtiti, 2013); sin embargo, en las galletas la mayor capacidad antifúngica la tuvo el benzoato, al menos en tiempos cortos (semanas).

Aunque se demostró una capacidad antifúngica, no todos los alimentos pueden ser preservados con propóleo, debido a que tiene un sabor amargo que es difícil de enmascarar. En el presente trabajo se diseñó una galleta con cocoa, de tal manera que el sabor del propóleo resaltó el del chocolate, resultando un producto semiamargo agradable al paladar; sin embargo, la primera versión que se diseñó fue una galleta tipo tartaleta de frutas, que requería grandes cantidades de azúcar para poder enmascarar el sabor amargo. Koc y otros (2007) evaluaron la capacidad antifúngica de los EEP en cuatro jugos de frutas (manzana, mandarina uva blanca y naranja), almacenados a temperatura ambiente por dos días; sin embargo, aunque demuestran su capacidad conservante, concluyen que el sabor de la resina pudiera alterar las cualidades organolépticas del producto, por lo que sugieren debe usarse en pequeñas cantidades, con lo que tal vez se disminuiría la capacidad conservante. Un año después, el mismo grupo de trabajo evaluó el efecto conservante con extractos acuosos de propóleo en jugo de manzana, demostrando una disminución en el número de microorganismos Gram negativos, específicamente *Escherichia coli* y *E. coli* O157:H7 (Sagdic et al., 2007). El mismo efecto fue observado al utilizar un suplemento alimenticio de propóleo extraído con propilenglicol después de un tratamiento térmico ligero, por lo que la cantidad de propóleo necesaria para preservar el jugo de manzana fue menor y dio como resultado un producto de mejor sabor (Luis-Villaroya et al., 2015). Sería deseable evaluar diferentes concentraciones, así como otras estrategias de extracción, que permitan disminuir el sabor amargo del propóleo sin que se pierdan sus propiedades biológicas.

Figura 1. Cuantificación de mohos y levaduras tras diferentes tiempos de almacenamiento, en galletas sin conservador (puntos), con el conservador benzoato de sodio (cruces) y con los extractos etanólicos de propóleo (rombos). Se muestra una línea estableciendo el límite permitido por la NOM-247. * $p < 0.001$ entre el control y ambos conservadores, ¥ $p < 0.005$ entre benzoato y EEP, # $p < 0.05$ entre el control y los EEP.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusión

Los EEP provenientes del propóleo de mezquite del noroeste de Chihuahua pueden ser útiles como conservadores de alimentos elaborados con cereales, y representan una alternativa natural al benzoato de sodio. El uso del propóleo como conservador no solo representa una alternativa a los conservadores artificiales, sino que abre la puerta a la transformación de productos comunes en alimentos funcionales, características que deben ser evaluadas a futuro.

Expectativas

A lo largo de todo el libro, el público en general ha podido apreciar la importancia del desierto y sus productos, y ahora finaliza con uno que además de tener propiedades medicinales puede ser de utilidad en la industria alimentaria. Trabajos como el presente proporcionan las bases necesarias que permitan poco

a poco retomar el uso de productos ancestrales que fueron desplazados con la industrialización.

Referencias

- Alvarez, M. V., Ponce, A. G., Mazzucotelli, C. A. y Moreira, M. R. (2015). The impact of biopreservatives and storage temperature in the quality and safety of minimally processed mixed vegetables for soup. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(5), 962-971. DOI: 10.1002/jsfa.6770
- Aly, S. A. y Elewa, N. A. (2007). The effect of Egyptian honeybee propolis on the growth of *Aspergillus versicolor* and sterigmatocystin biosynthesis in Ras cheese. *Journal of Dairy Research*. 74(1), 74-78. DOI: 10.1017/S002202990600207X
- Anjum, I. S., Ullah, A., Khan, K. A., Attaullah, M., Khan, H., Ali, H., Bashir, M. A., Tahir, M., Ansari, M. J., Ghramh, H. A., Adgaba, N. y Dash, C. K. (2019). Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1695-1703. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.08.013>
- Baldi Coronel, B. M. (2019). Uso del propóleo en el desarrollo de alimentos funcionales de alto poder antioxidante. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, Suplemento, 9(9). <http://pcient.uner.edu.ar/Scdyt/article/view/662>
- Barrera Bello, E., Gil Loaiza, M., García Pajón, C. M., Durango Restrepo, D. L. y Gil González, J. H. (2012). Empleo de un recubrimiento formulado con propóleos para el manejo poscosecha de frutos de apaya (*Carica papaya* L. cv. hawaiana). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 65(1), 6497-6506.
- Bahtiti, N. H. (2013). Study of preservative effect of "propolis" on the storage quality of mashed potatoes. *Food Science and Technology*, 1(2), 17-20.
- Bustinza Pacajes, A. (2020). Propóleo: un potencial tratamiento para el COVID-19. *Revista SCientífica*. 18(1), 27-31.
- Casquete, R., Castro, S. M., Jácome, S. y Teixeira, P. (2016). Antimicrobial activity of ethanolic extract of propolis in "Alheira", a fermented meat sausage. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1-7. DOI: 10.1080/23311932.2015.1125774
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P. y Ferreira, I. C. (2014). Adding Molecules to Food, Pros and Cons: A Review on Synthetic and Natural Food Additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 377-399. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12065>
- Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario. (2008). Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de pan. *Diario Oficial de la Federación*.
- Cuentas Pizarroso, L. (2017). Las abejas no producen miel. *Fides et Ratio*, 14(14), 173-185. http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rfer/v14n14/v14n14_a011
- Cupull-Santana, R. D., Cortés-Rodríguez, R., Olazábal-Manso, E. E. y Hernández Medina, C. A. (2013). Actividad antifúngica de propóleos obtenidos en tres provincias de Cuba sobre hongos contaminantes en cultivo de tejidos vegetales. *Acta Universitaria*. 23(6), 3-9.
- Erturk Candir, E., Erhan Ozdemir, A., Mine Soylut, E., Sahinler, N. y Gul, A. (2009). Effects of Propolis on Storage of Sweet Cherry Cultivar Aksehir Napolygon. *Asian Journal of Chemistry*, 21(4), 2659-2666.
- Food and Agriculture Organization. (2015). Value Added Products From Beekeeping. *FAO Agricultural Services Bulletin*, 124. <http://www.fao.org/docrep/w0076e/w0076e14.htm#5.7>
- Feás, X., Pacheco, L., Iglesias, A. y Estevinho, L. (2014). Use of Propolis in the Sanitization of Lettuce. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(7), 12243-12257. DOI: 10.3390/ijms150712243.
- Gutiérrez Cortés, C., y Suarez Mahecha, H. (2012). Efecto conservante de propóleos en chorizos. *Vitae*, 19(1), S159-S161.
- Koc, A. N., Silici, S., Mutlu-Sariguzel, F. y Sagdic, O. (2007). Antifungal Activity of Propolis in Four Different Fruit Juices. *Food Technology and Biotechnology*, 45(1), 57-61.
- Kung Park, Y. e Ikegaki, M. (1998). Preparations of water and ethanolic extracts of propolis and evaluation of the preparations. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 62(11), 2230-2232.
- Linke, B. G., Casagrande, T. A. y Cardoso, L. A. (2018). Food additives and their health effects: A review on preservative sodium benzoate. *African Journal of Biotechnology*, 17(10), 306-310. <https://doi.org/10.5897/AJB2017.16321>
- Luis-Villaroya, A., Espina, L., García-Gonzalo, D., Bayarri, S., Pérez, C. y Pagán, R. (2015). Bioactive properties of a propolis based dietary supplement and its use in combination with mild heat for apple juice preservation. *Internatio-*

- nal Journal of Food Microbiology*, 205, 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.020>
- Mattiuz, B., Ducamp Collin, M., Machado Mattiuz, C., Vigneault, C., Magalhaes Marques, K., Sagoua, W. y Montet, D. (2015). Effect of propolis on postharvest control of anthracnose and quality parameters of 'Kent' mango. *Scientia Horticulturae*, 184, 160-168.
- Passos, F., Mendes, F., Carvalho Eufrásio, M., Araújo, E., Mundstock, A. y Carvalho, X. (2016). Propolis extract in postharvest conservation of Solo papaya cv. 'Golden'. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 37(6), 4039-4050, DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n6p4039
- Pobiega, K., Kraśniewska, K. y Gniewosz, M. (2019). Application of propolis in antimicrobial and antioxidative protection of food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 53-62, DOI: 10.1016/j.tifs.2018.11.007
- Przybytek, I. y Karpiński, T. M. (2019). Antibacterial Properties of Propolis. *Molecules*. 24(11), 2047. <https://doi.org/10.3390/molecules24112047>
- Salamanca Grosso, G. (2017). Capítulo 3: Composición y propiedades. En *Origen, naturaleza, propiedades fisicoquímicas y valor terapéutico del propóleo*. Sello Editorial Universidad del Tolima.
- Sagdic, O., Silici, S. y Yetim, H. (2007). Fate of *escherichia coli* and *E. coli* O157:H7 in apple juice treated with propolis extract. *Annals of Microbiology*, 57, 345-348. <https://doi.org/10.1007/BF03175071>
- Secretaría de Desarrollo Rural. (2018). Entregan apoyos al sector apícola por afectación de fenómenos hidrometeorológicos. <http://www.chihuahua.gob.mx/apoyoApicola>
- Sforcin, J. M. (2016). Biological Properties and Therapeutic Applications of Propolis. *Phytotherapy Research*, 30, 894-905. DOI: 10.1002/ptr.5605
- Suarez Mahecha, H., Jiménez Toquica Á. y Díaz Moreno, A. C. (2014). Evaluación Fisicoquímica de filetes de cachama. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7229-7236. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42653>
- Sun, C., Wu, Z., Wang, Z. y Zhang, H. (2015). Effect of Ethanol/Water Solvents on Phenolic Profiles and Antioxidant Properties of Beijing Propolis Extracts. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/595393>
- Vargas-Sánchez, R. D., Torrescano-Urrutia, G. R., Acedo-Félix, E., Carvajal-Millán, E., González-Córdova, A. F., Vallejo-Galland, B., Torres-Llanez, M. J. y Sánchez-Escalante, A. (2014). Antioxidant and antimicrobial activity of commercial propolis extract in beef patties. *Journal of Food Science*, 79(8), C1499-504. DOI: 10.1111/1750-3841.12533
- Vargas Sánchez, R. D., Martínez Benavidez, E., Hernández, J., Torrescano Urrutia, G. R. y Sánchez Escalante, A. (2020). Effect of physicochemical properties and phenolic compounds of bifloral propolis on antioxidant and antimicrobial capacity. *Nova Scientia*, 12(24), 1-22. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2134>
- Yang, S., Peng, L., Cheng, Y., Chen, F. y Pan, S. (2010). Control of citrus green and blue molds by Chinese propolis. *Food Science and Biotechnology*, 19, 1303-1308. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0186-8>
- Zabaiou, N., Fouache, A., Trousson, A., Baron, S., Zellagui, A., Lahouel, M. y Lobaccaro, J. A. (2017). Biological properties of propolis extracts: Something new from an ancient product. *Chemistry and Physics of Lipids*, 207(Part B), 214-222, <https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2017.04.005>Zahid, N., Ali, A., Siddiqui, Y. y Maqbool, M. (2013). Efficacy of ethanolic extract of propolis in maintaining postharvest quality of dragon fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 69-72.

