

CACTÁCEAS y suculentas mexicanas



CACTÁCEAS y *suculentas* mexicanas

Volumen 64 No. 4
Octubre-diciembre 2019

Editor Fundador
Jorge Meyrán

Consejo Editorial
Anatomía y Morfología
Dra. Teresa Terrazas
Instituto de Biología, UNAM

Ecología
Dr. Arturo Flores-Martínez
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN
Dr. Pablo Ortega-Baés
Universidad de Salta Argentina

Etnobotánica
Dr. Javier Caballero Nieto
Jardín Botánico IB-UNAM

Evolución y Genética
Dr. Luis Eguiarte
Instituto de Ecología, UNAM

Fisiología
Dr. Oscar Briones
Instituto de Ecología A. C.

Florística
M. en C. Francisco González Medrano †
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco
Dr. Luis G. Hernández Sandoval
Universidad Autónoma de Querétaro
M. en C. Aurora Chimal Hernández
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Horticultura
Dr. Candelario Mondragón Jacobo, INIFAP-UAQ
Dr. Elhadi Yahia
Universidad Autónoma de Querétaro

Química y Biotecnología
Dr. Francisco Roberto Quiroz Figueroa
Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa

Sistemas Reproductivos
Dra. Sonia Vázquez Santana
Facultad de Ciencias, UNAM
Dr. Jafet Nassar
Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas

Taxonomía y Sistemática
Dr. Fernando Chiang
Instituto de Biología, UNAM
Dr. Roberto Kiesling
CRICYT, Argentina
Dr. John Rebmán
Museo de Historia Natural, San Diego

Editores
Dr. Jordan Golubov
UAM-Xochimilco
Dra. María C. Mandujano Sánchez
Instituto de Ecología, UNAM
Dr. Humberto Suzán Azpíri
Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Juriquilla

Asistentes editoriales
Dra. Mariana Rojas Aréchiga
Instituto de Ecología, UNAM
Dra. Guadalupe Malda Barrera
Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Juriquilla

Diseño editorial y versión electrónica
Palabra en Vuelo, SA de CV

Impresión
Litográfica Dorantes SA de CV
Se imprimieron 1000 ejemplares, diciembre de 2019
SOCIEDAD MEXICANA DE CACTOLOGÍA, AC

Presidenta Fundadora
Dra. Helia Bravo-Hollis †

Fotografía de portada:
Feroactus wislizenii
Francisco Molina

Cactáceas y Suculentas Mexicanas es una revista trimestral de circulación internacional y arbitrada, publicada desde 1955, su finalidad es promover el estudio científico y despertar el interés en esta rama de la botánica.

El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y se encuentran bajo la licencia Creative Commons .

La revista *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* se encuentra registrada en los siguientes índices: CAB Abstracts, BIOSIS (Thomson Reuters), Periodica y Latindex.

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* published since 1955.

The articles are under the Creative Commons license .

The journal *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* is registered in the following indices: CAB Abstracts, BIOSIS (Thomson Reuters), Periodica and Latindex.

Dirección editorial (editor's address): *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, Instituto de Ecología, UNAM, Apto. Postal 70-275, Cd. Universitaria, 04510, Ciudad de México, México.

Correo electrónico: cactsucmex@ieciologia.unam.mx

Suscripciones



El costo de suscripción y envío a la revista es de \$480.00 para México y 45 USD o 39 € para el extranjero. Suscripción y entrega en Lab. Genética y Ecología, Instituto de Ecología, UNAM (Dra. Mariana Rojas) \$400.00.

• Pago de suscripción mediante depósito en BBVA Bancomer a la cuenta: 0446308554 a nombre de Palabra en Vuelo SA de CV.

• Para transferencia en el mismo banco y cuenta con la CLABE: 012180004463085547.

• Para transferencia internacional añadir la clave: BCMRMXMPYM.

• Mediante PayPal enviar a la cuenta con el correo:

palabraenvuelo1@gmail.com

Enviar comprobante de pago a los correos: mrojas@ecologia.unam.mx y palabraenvuelo@yahoo.com.mx

Subscription rates (includes shipment): 45.00 USD or 39.00 €.

• For national bank transfer in BBVA Bancomer with the account: 0446308554, CLABE: 012180004463085547.

• For international bank transfer in the same bank and account add the code: BCMRMXMPYM.

• For payment via PAYPAL, send the paid amount to palabraenvuelo1@gmail.com, then send proof of payment to mrojas@ecologia.unam.mx and palabraenvuelo@yahoo.com.mx

Consulta de la revista en formato digital en la siguiente liga (electronic editions available at the following link): web.ecologia.unam.mx/cactsucmex



Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro.

Cactáceas y Suculentas Mexicanas agradece la coedición y el financiamiento de esta publicación a los suscriptores, al Dr. Jorge Meyrán, y a los fondos aportados por la Universidad Autónoma de Querétaro.



CACTÁCEAS y suculentas mexicanas

Volumen 64 No. 4 octubre - diciembre 2019

Contenido

La grana cochinilla

Mandujano M, Mandujano A & Sánchez C..... 100

Inclinación y orientación de los tallos de una población de *Ferocactus wislizeni* del estado de Sonora

Sánchez-Sánchez G, Montoya-Laos JA, Martínez-Rodríguez J
& Molina-Freaner F..... 121

Sobre el VII Congreso Mexicano de Ecología

Valverde PL, Vargas-Mendoza F, Vite F, Hernández-Cárdenas G & Suzán-Azpíri H..... 130

***Echinocereus cinerascens* var. *septentrionalis* N. P. Taylor**

Cárdenas Ramos D..... 136

Contents

The cochineal scale insect

Mandujano M, Mandujano A & Sánchez C..... 100

Stem orientation and tilting in a population of *Ferocactus wislizeni* from the state of Sonora

Sánchez-Sánchez G, Montoya-Laos JA, Martínez-Rodríguez J
& Molina-Freaner F..... 121

About the VII Mexican Ecology Congress

Valverde PL, Vargas-Mendoza F, Vite F, Hernández-Cárdenas G & Suzán-Azpíri H..... 130

***Echinocereus cinerascens* var. *septentrionalis* N. P. Taylor**

Cárdenas Ramos D..... 136

La grana cochinilla

Mandujano Mario*¹, Mandujano Angélica¹, Sánchez Carmen^{1,2}

Resumen

Se discuten algunos aspectos relevantes del conocimiento y evolución histórica del empleo y comercio del colorante extraído del insecto grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) que se cultiva sobre el nopal (*Opuntia* spp.) a partir de un coloquio, de una serie de exposiciones presentadas en los Estados Unidos de Norteamérica (EUA 2015 y 2017), en la Ciudad de México en 2017 y de la publicación de un libro (Rojo Mexicano). Revisiones documentales en la literatura y reproducciones facsimilares de códices y documentos antiguos, así como bibliografía actual fueron consultados. Como resultados se presenta un texto que sintetiza información de los periodos prehispánico y virreinal de los Mexicas y de la Nueva España, los detalles del método de producción y de las investigaciones para profundizar en su conocimiento. La evolución en poblaciones como Oaxaca, tanto del auge de su crecimiento como de su desplome comercial. Se esboza información de naturaleza científica relativa a las posibles vías de síntesis del colorante (ácido carmínico), a mecanismos moleculares y posibles relaciones simbióticas, entre los nopales, los insectos y sus posibles simbioses. Además, se proponen posibles vías de desarrollo para la investigación.

Palabras clave: Ácido carmínico, *Dactylopius coccus*.

Abstract

It is discussed some important aspects on the knowledge and historical evolution of the employment and commerce of the dye extracted from the insect cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) which grows as host of *Opuntia* spp. from a colloquium, several museum exhibitions in USA (2015 and 2017) and in Mexico City and from a book (Rojo Mexicano). We made a documentary review of literature and facsimile reproductions of codex and old documents, as well as current literature. As results we present a text that synthesizes information of the Mexicas and of New Spain, the details of the method of production and research to deepen their knowledge. The evolution in populations such as Oaxaca, both the rise of its growth as of its collapse. We summarize information about the scientific nature concerning the possible ways of synthesis of carminic acid dye, to molecular mechanisms and possible symbiotic relationships, between the *Opuntia*, insects and their known symbionts. We outlined possible areas for future research.

Key words: Carminic acid, *Dactylopius coccus*.

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calz. del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, Coyoacán, CP. 04960. Ciudad de México.

² Laboratorio de Seguimiento del Neurodesarrollo, Instituto Nacional de Pediatría, Insurgentes Sur 3700, Insurgentes Cuicuilco, CP. 04530, Ciudad de México.

* Autor de correspondencia: mariom@att.net.mx

Introducción

Los problemas que enfrenta la humanidad en relación con las condiciones actuales del planeta son de naturaleza muy variada, entre ellas la elevada frecuencia de enfermedades crónico degenerativas, el cáncer, el calentamiento global y la producción de alimentos (Wallinga 2009; Gamett 2013; Clark *et al.* 2019), entre otros, que han condicionado cambios importantes en la cultura y en las costumbres de los habitantes. Aunado a la reciprocidad cultural, el mundo ha dado un nuevo vuelco hacia la naturaleza, hacia lo natural. Hay rechazo a los alimentos industrializados, a los conservadores, a la contaminación por químicos y se ha hecho preponderante la orientación hacia todo lo denominado orgánico. De la misma manera hablar de lo ecológico, de la ecología, se ha convertido en una especie de "religión secular". Se tiende a rechazar el empleo de fertilizantes y de plaguicidas en la búsqueda de soluciones adecuadas para el ambiente y carentes de sustancias con toxicidad potencial (Wallinga 2009). La industria no se encuentra al margen de estos procesos y a veces recibe su impacto. A través de los siglos se sustituyeron las soluciones naturales por productos industrializados, en el transporte, en la industria de la alimentación y en la industria textil, entre otras. De particular interés es la afición por teñir o colorear lo que nos rodea, usamos o consumimos -incluidos los alimentos- a lo largo de la historia de la humanidad (Donkin 1977); y los colorantes naturales no son ajenos al proceso de industrialización y fueron sustituidos por colorantes artificiales, como las anilinas. Sin embargo, al final de la Primera Guerra Mundial se inicia su reversión. El

desarrollo de la industria química de las anilinas habiendo desplazado durante casi un siglo el comercio de los tintes naturales originarios de América, ahora se cuestiona bajo argumentos de daños a la salud. Con una visión actualizada por el desarrollo de la genética, de la fisiología y de la bioquímica, en este contexto resulta de especial interés el análisis histórico crítico de la relación de un tinte, producido por un insecto, la grana cochinilla con los nopales, *Opuntia* y *Nopalea* (ahora *Opuntia*, Guzmán *et al.* 2003). Se trata de un tema complejo que implica diversas relaciones importantes, la evolución histórica de las poblaciones que la cultivaron, aspectos demográficos, idiosincrasias, políticas y organización social y económica, relaciones para la producción y el comercio; desde los enfoques biológicos y ecológico para el estudio de las cactáceas, relación de los cactus (nopales, *Opuntia* s.s.), con un insecto *Dactylopius coccus*, con implicaciones para la cultura y la economía a través de más de cinco siglos, así como de relaciones simbióticas entre el nopal, el insecto y las bacterias, de acuerdo con técnicas modernas de genética y biología molecular. Es posible que del análisis de la evolución del cultivo y de la crianza de la grana cochinilla puedan inferirse datos relativos a la demografía de las cactáceas, así como plantear posibles vías de desarrollo futuro y comercialización de un colorante que transformó la industria del textil después de la colonización de América, pero se encuentra abandonado en la actualidad, sobre todo en México, su país de origen que abrió la puerta al uso y comercio mundial. Los avances en la entomología y de la tecnología, junto con aplicaciones y empleo de los tintes en la industria textil ocuparon un lugar privilegiado y motivaron el Coloquio

Internacional de la Grana Cochinilla en el Arte, organizado por el Museo del Palacio de Bellas Artes de la Ciudad de México y la Secretaría de Cultura del estado de Morelos, apoyado por organismos como el Instituto de Ecología de Xalapa con la dirección del concepto curatorial de Georges Roque, especialista en teoría del color, en la que se mostró una colección importante de obras de arte de todo el mundo en las que se hubiera utilizado este pigmento color carmín que se extrae de este parásito del nopal. A este coloquio le siguieron diversas exposiciones, “The red that colored the World” en el Museum of International Folk Art, Santa Fe, Nuevo México, en 2015 y en el Museum of Art de El Paso Texas en 2017 en Estados Unidos de Norteamérica (EUA) y de la exposición titulada “Rojo Mexicano” presentada en la ciudad de México durante el año de 2017, en el Museo del Palacio de Bellas Artes de la Ciudad de México y en otros países del ámbito mundial, en las que se demostró que el colorante extraído de la cochinilla se difundió no solamente en Europa, también en los países asiáticos; conquistó a tintoreros y artistas, por eso esa exposición pudo tocar a mucha gente, con la idea de que es algo mexicano que conquistó al mundo entero. Durante la exposición en el Palacio de las Bellas Artes en la Ciudad de México se demostró la trascendencia histórica del tinte, sin embargo, esta exposición se concretó a su impacto en el arte y en otras artesanías, como un colorante de grandes artistas, reyes y eclesiásticos (Lee 1948; Rojo Mexicano 2017).

La grana cochinilla eliminó del mercado europeo y asiático a los tintes competidores, púrpura de Tiro, *Coccus polonicus*, *Coccus ilicis* y *Kermes polaco*, despertando el interés de naturalistas, mercaderes, reyes y príncipes,

jerarquías eclesiásticas y audiencias. El uso y el conocimiento de la grana cochinilla ha variado a través de los tiempos: en una primera fase, muy temprana, tuvo sus raíces en la época prehispánica. No solo se conoció el insecto, sino se domesticó, se cultivó y se comercializó en los mercados (tianguis) para su empleo como colorante en códices, en maquillaje y textiles.

El uso de la grana cochinilla es muy diverso y ampliamente difundido puesto que es muy sencilla su obtención y manejo. Una cantidad pequeña del insecto seco puede usarse para teñir cualquier material, proporcionando un color persistente que no se degrada fácilmente. El color de la grana es brillante, llamativo, elegante, sumamente estético y en algunos casos polémico. Por ejemplo, al ser de origen animal, algunos grupos extremistas de hábitos vegetarianos han insistido en vetar el uso de la grana cochinilla del mercado y evitar la tinción de bebidas y productos lácteos, entre otros (<https://www.20minutos.es/noticia/1382835/0/starbucks/retira/cochinilla-bebidas/>). Una petición de Change.org 2012 logró retirar los “insectos machacados” que coloreaban algunas bebidas. Ahora se usa licopeno que se extrae de otro producto de origen mexicano, el jitomate. No obstante, que la producción de grana cochinilla es sustentable, que su consumo apoya a cientos de pequeños productores, ayuda a conservar las nopaleras, vegetación dominada por nopales, no daña la salud ni altera el sabor de los alimentos y es totalmente natural. Además, su producción no implica ningún tipo de transformación industrial que dañe el ambiente, pues simplemente se recolecta manualmente, se seca al sol y se envasa. Otros pigmentos que tiñen de rojo, aunque de origen natural, implican industrialización

y por ende, cierto grado de contaminación. Además, el proceso de producción industrial necesariamente incrementa los costos de los productos en los que se utiliza para teñir y obtener coloraciones rojas, rosas y sus variantes.

El objetivo de este trabajo es sintetizar información del uso e historia de la grana cochinilla de los periodos prehispánico y virreinal de los Mexicas y de la Nueva España, los detalles del método de producción y de las investigaciones para profundizar en el conocimiento de los elementos bioquímicos, genéticos e inmunológicos de la fisiología del insecto, relativas a la síntesis del colorante.

Material y métodos

Se realizaron búsquedas con referencia al conocimiento de la grana cochinilla en códices y documentos antiguos en reproducciones facsimilares prehispánicos y del periodo virreinal temprano de la Nueva España en bibliotecas, páginas de internet y colecciones particulares, reproducciones facsimilares de documentos catalogados en el Archivo General de la Nación, revisiones documentales y facsímiles publicados por el Colegio Mexiquense, publicaciones de carácter histórico, así como bibliografía científica actual.

Resultados

Uso e historia de la grana cochinilla

El color en la vida del humano es algo que trasciende desde que hay evidencia cultural y social; el color puede tener importancia religiosa, espiritual, estética, cultural, de rango o simbolismo social. Especialmente el color rojo se ha identificado con el fuego, el sol y la sangre (Donkin 1977). El uso de materiales para colorear o teñir ha acom-

pañado a la civilización humana desde las primeras evidencias o rastros arqueológicos, y el color rojo es uno de los más trascendentes. La mayoría de los tintes se obtienen de plantas y minerales, y solamente dos tipos de animales se usan para obtener color, el púrpura y el rojo, que se obtienen del caracol y de la grana cochinilla, respectivamente (Donkin 1977).

El cultivo y uso de la cochinilla se inició desde periodos muy tempranos tanto en Mesoamérica como en Sudamérica (Alzate & Ramírez 1794; Pérez-Sandi y Cuen & Becerra 2001). Es interesante enfatizar, con respecto al conocimiento y uso de las especies *Opuntia* que su historia se remonta al periodo pre-agricultural, con la ocupación de territorio mexicano hace 12 a 14000 años, cuando en las actividades de recolección las incluyeron (Chavez-Moreno *et al.* 2009). Durante el tiempo de hegemonía de los Mexicas había nopaleras y cultivo de cochinillas en las zonas actuales de la Mixteca en Oaxaca y Cholula y Huejotzingo en Puebla, México. Bajo ese imperio la cochinilla constituyó materia de tributo. De acuerdo con el Códice Mendoza (Kingsborough 1964), en la Lámina XLV (F. 43, recto) se anota que se recibían tributos de las tierras cálidas y templadas de once pueblos: Coaxtlahuacan (Coixtlahuaca), Texopan, Tamatzolapan (Tamazulapan), Yancuitlan (Yanhuitlán), Tepuzcululan (Tepozcolula), Nochiztlán (*idem*), Xaltepec, Tamatzolan, Mictlan, Coaxomulco y Cuicatlan (*idem*). “Cuarenta talegas de grana que llaman cochinilla”. En la Lámina XLVI (F. 44 recto) anotan otros 11 pueblos, Coyolapan, Etlan, Cuauhxitlan, Guaxacac, Camotlan, Teocuitlatlan, Cuatzontepe, Octlan, Teticpac, Tlalcuechahuayan, Macuilxochic, veinte talegas (bolsas anchas y cortas), de grana cochinilla,

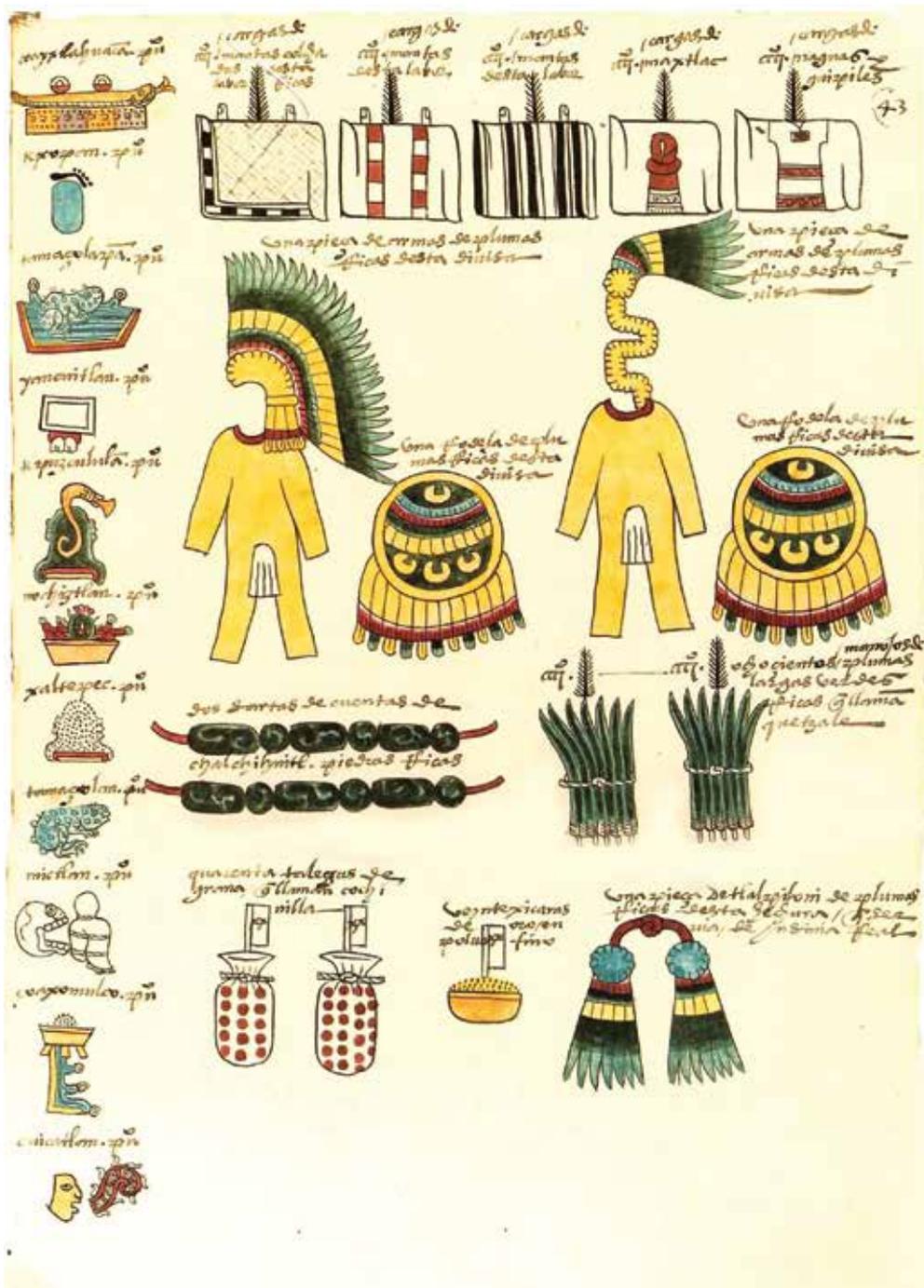


FIGURA 1. Lám. XLV (F. 43, recto) se anota que se recibían tributos de las tierras cálidas y templadas de once pueblos. *Códice Mendocino*. Colección de Mendoza. Biblioteca Bodleiana de Oxford. Versión Facsimilar.

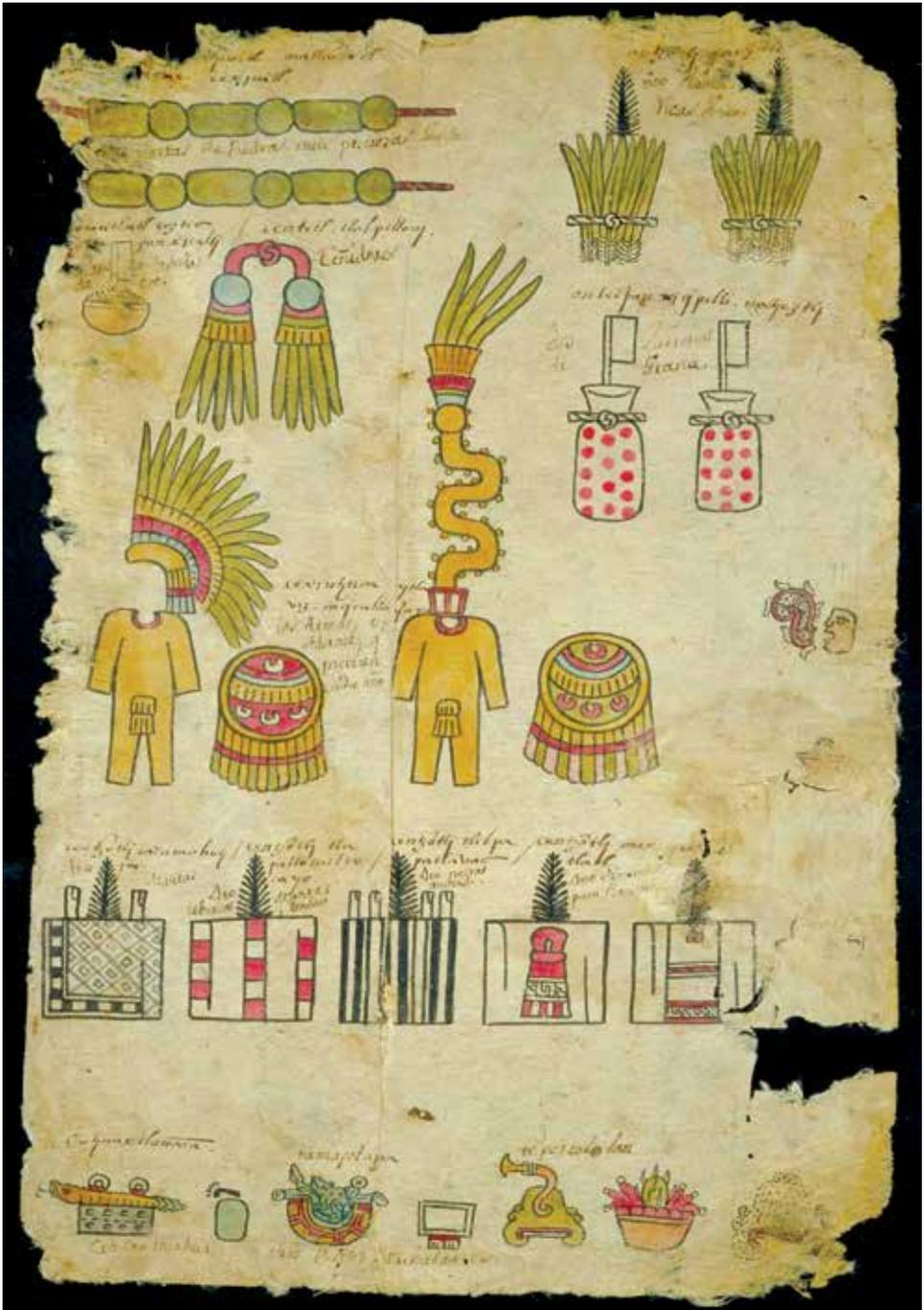


FIGURA 2. Matrícula de Tributos de los pueblos de Coixtlahuaca, Tamazulapan, Tepozcolula. Códices mexicas, hecho entre 1520 y 1530 en papel amate. Biblioteca Digital Mexicana A.C. <http://bdmx.mx/documento/matrícula-tributos>

una vez al año. En la Lámina XLVII (F. 45 recto) se anotan de las tierras cálidas que tributaban tres pueblos más: Tlachquiyauhco (¿Tlaxiaco actual?), Achiotlan, Tzapotlan, cinco talegas de grana cochinilla (Fig. 1). En la Matrícula de Tributos de los pueblos de Coixtlahuaca, Tamazulapan, Tepozcolula figuran entre otras materias, talegas de cochinilla, sin contar con la paleografía referente a la cantidad. A Tzianheohuac se le solicitaban 400 prendas teñidas con cochinilla al año (Matrícula de Tributos 1522-1530 d.c.). No se localizó información con respecto del tamaño o del peso de las talegas (Fig. 2). También se refieren las nopaleras y las cochinillas en diversos textos de los más destacados cronistas, Hernán Cortés, Bernal Díaz del Castillo, Fray Bernardino de Sahagún, Fr. Juan de Torquemada, Francisco Hernández y otros cronistas del lado eclesiástico. Fray Bernardino de Sahagún escribió “Esta grana es conocida en esta tierra y fuera de ella, y hay grandes tratos de ella; llega hasta la China y hasta Turquía, casi por todo el mundo es preciada y tenida en mucho” (Sahagún 1938; Sahagún 2001) (Fig. 3).

El conocimiento del cultivo se difundió especialmente por Diego Muñoz Camargo, historiador de Tlaxcala en un texto hoy desaparecido y por Gonzalo Gómez de Cervantes en su manuscrito *Memorial de Don Gonçalo Gomez de Cervantes del modo de vivir que tienen los indos, y del beneficio de las minas de la plata, y de la cochinilla*, conservado en el Museo Británico (Gómez de Cervantes 1944) (Fig. 4), conocido en diversas publicaciones y complementados por un códice que permaneció inédito hasta fechas recientes, el códice de la Grana Cochinilla, *Relación de los lugares y pueblos donde se saca la grana cochiniulla, y sus subxetos* hecha por Alonso

de Nava Juez de Comisión para Veneficio della”, conservado en Asturias y reproducido en forma Facsimilar, complementado por un detallado análisis, por el Colegio Mexiquense (Ruz-Barrio & García-Morís 2018) (Fig. 5). Se resumió el conocimiento de la grana y su cría a finales del siglo XVI y principios del XVII. Los autores mencionados, posiblemente compartieron entre ellos o usaron las mismas pinturas que ilustraron los manuscritos. De Alonso de Nava se conoce que además elaboró un manual que se envió a Yucatán, junto con nopales, cochinillas e indígenas que enseñarían las técnicas de cultivo. Por otra parte, también son muy importantes los textos de Fr. Joaquín Vasco y Fr. Vicente Magón, publicados por Barbro Dahlgren (1943). En estos textos se publicó información geográfica del estado de Oaxaca, mientras en de Alonso de Nava la información correspondió a los estados de Puebla y Tlaxcala que para la época eran los principales sitios donde se cultivaba la grana. En el Archivo General de Indias se conserva la pintura del informe enviado a Yucatán y en la Newberry Library en Chicago, Illinois, la del memorial (Figs. 4 y 5). Durante esos tiempos el conocimiento estuvo confundido, mencionándose la cochinilla como un “fruto” o como una “semilla”. Los motivos de tal situación fueron por una parte debidos a problemas de conocimiento y por otra, al mantenimiento en secreto de un producto cuya comercialización producía ingresos muy cercanos a los generados por la plata y el oro. Desde esa época hasta el siglo XVIII los intentos de sustraer los nopales conteniendo cochinilla fueron numerosos sin lograr el éxito, pero a partir de esa fecha inició la producción a gran escala fuera del territorio de la Nueva España. Al final del siglo XVI la cochinilla

se había consolidado como una materia de exportación de la Nueva España reconocida en el comercio internacional. Así en solo 80 años un colorante nativo se había transformado en uno de los principales productos de exportación del Nuevo Mundo hacia el Viejo Mundo. Se movían anualmente a través del Puerto de Veracruz hacia los fabricantes europeos de ropa entre 250 000 y 300 000 libras del insecto, con un costo de 500 000 a 600 000 pesos. Este enorme desarrollo trajo consigo la reorganización de la infraestructura para la producción (Lee 1948). Hacia la segunda mitad del siglo XVI eran 18 los pueblos que cultivaban la grana en Oaxaca. La mayoría en la cañada del Río Grande, en la sierra de Nochixtlán, en los valles centrales y en la sierra de Miahuatlán. Durante las postrimerías del siglo XVI y los primeros años del XVII la producción se vio afectada por la terrible pérdida de población debida a enfermedades: Borah y Cook, citados por Coll-Hurtado (1998) señalan que la “catástrofe demográfica” que siguió a la conquista es una de las peores que ha visto la humanidad, en 1532 la población del México central era de 16.8 millones de habitantes que disminuyó en 1605 a 1.07 millones. En la Mixteca “Veinte doctrinas de los valles quedaron asoladas”. De cuatro mil casados que contaba Teitipac, quedaron cuarenta. En Ocotlán, la pérdida de población fue, asimismo, dramática de los 528 159 habitantes con que contaba en 1532, para 1590 tan solo había 56 789. Del mismo modo, la población del Valle de Oaxaca, estimada en unos 350 000 habitantes hacia 1530, se redujo a 40 000 en 1620” (Coll-Hurtado 1998). Las actividades económicas debieron adaptarse a las nuevas condiciones demográficas tanto en Oaxaca como en toda la Nueva España, ya que no

había la suficiente mano de obra para hacer frente a la demanda de las poblaciones urbanas.

Durante el siglo XVIII la industria y el comercio de la grana cochinilla se había consolidado, a mediados del siglo la producción rebasaba el millón de libras castellanas anualmente (15 onzas castellanas, 460 093 gramos), alcanzando en 1774 más de millón y medio de libras castellanas, aproximadamente 690 000 Kg del insecto (Baskes 2017). En la Nueva España se aseguraron su producción y comercialización mediante un sistema de repartimiento forzoso de mercancías. Para el caso de la grana cochinilla en la base estaban los pequeños productores indios, seguidos por un funcionario, por ejemplo, el alcalde mayor o los subdelegados, después el acaparador, en la ciudad de Oaxaca y el exportador ubicado en el puerto de Veracruz. Al final de la cadena estuvieron los comerciantes en Cádiz y en Sevilla, que reexportaban a todo el mundo. A cambio se dejó a los indígenas relativa libertad para controlar sus formas de gobierno, mantener la propiedad de sus tierras y ante la ausencia de haciendas no tenían que trabajar en áreas “españolas”. Los funcionarios y los comerciantes ganaban la mayor parte de las riquezas, aunque los indios recibían solo parte de la ganancia, les permitió vivir en condiciones económicas muy cómodas por lo que no diversificaron sus actividades. A la postre, con el colapso del comercio los indios quedaron sumidos en la peor de las miserias. Con las reformas borbónicas (1765-1771) se prohibió el sistema de repartimiento forzado de mercancías, leyes que los comerciantes trataron de revertir, pero, aunque el sistema siguió funcionando a menor escala, finalizó el auge de la producción de grana y sus respectivas ganancias (Arri-

Libro Undecimo.

quelluman euchinillas apogadas a las hojas, y aquellos gusanos tienen vnos sangre muy colorada: esta es la grana fina, esta grana es muy como zida en esta tierra y fuera della, y grandes tratos della llega hasta la China y hasta turquia casi por todo el mundo es preciada y terida en mucho.



¶ La grana que ya esta purificada cada yhecha en panecitos llaman Hlaqua uac Hlapalli que quiere decir grana recia o fina, venden la en los Hianques echa para ellos para que la

inyin nochezthi catiooli cco tujli, in nochez nupalli, in icimo chio cca nochezthi in nopalit techiooli, Hachti, in iuh quj = catiole ton, mioiolitoton: nyman icmo Vapava, nyman icmoz callia, nyman ic chamava mopoch quj hia, cca chamava, totomava, tolonavi, nyman ic mopoch quj nyjloa, in oimullec ac in cuyli, vel iuh qujn eztecocolli mo Halia; nyman motocatzaoal quj nyjloa, nyman mi quj val vey noce mololoa, mozquj via popotica mololoa. In yn Hapalli auamo chipuac, con ixchilic, con ocuuh qujn ezvacquj, olostic, olostontli, papatzpil, vacalpil, Hapalorj, Hachichililorj, Hachichiloanj. Nihlap nytlanochez via, nytlanochez via, nytlapallacuyloa, nytlapallacuy quj, nytlapallapalpoirua, nytlapallilava, nytlachichilua, nytlachichilivi, nytlapalqujca.

¶ Tlaquavac Hapalli: itech qujca nyjloa Hlaquavac, con Hapalli: ipampa cacencia qujca chionac, ixchilic, ixchilic

FIGURA 3. Códice Florentino. Fray Bernardino de Sahagún. Libro undécimo. Reproducción Facsimilar. Biblioteca Medicea-Laurenziana, Italia. Ilustra la grana cochinilla sobre las pencas de nopal, así como su recolección.



FIGURA 4. Lámina 2 del *Memorial de Don Gonçalo Gomez de Cervantes del modo de vivir que tienen los indos, y del beneficio de las minas de la plata, y de la cochinnella*, conservado en el Museo Británico. Autorizado por el Museo Británico.

ja 2004; Sanchez-Silva Silva & Suarez-Bosa 2006). En el siglo XVIII el capital mercantil financiaba en gran parte la producción de la cochinilla, que era el segundo producto de exportación de la Nueva España, el cual se convirtió en artículo especialmente valioso en el decenio de 1770 a 1780, cuando su precio se elevó de 15 a más de 30 pesos la libra. En algunas ocasiones se realizaron operaciones a gran escala. En tres años de 1781 a 1784, el alcalde mayor de Jicayán, distrito costero, distribuyó 400 000 pesos en efectivo. Mantenía varias tiendas en las cuales los mestizos y mulatos cambiaban el algodón que producían por otras mercancías. Los indígenas de la provincia le proporcionaban cochinilla. Enviaba el algodón a Puebla y la cochinilla a Veracruz (Heers 1991). Si bien sólo el indígena fue capaz de poner en el cultivo de los nopales y en la cochinilla todos los cuidados necesarios, el afán de lucro de los españoles causó, la primera rebelión campesina de la grana. “Los indios de Huejotzingo impacientes y cansados de sufrir tantas vejaciones de un Alcalde Mayor, en una noche talaron todos los nopales o tunas y desde entonces no han vuelto a emplearse en ese comercio” (Clavijero 1944, 1780). No fue el único caso, se repitió en otros pueblos y en distintas épocas como en Yucatán, pero la información es un tanto ambigua, ya que las cifras de producción demuestran que la producción en esa época tuvo tendencia ascendente (Lee 1948; Coll-Hurtado 1998).

Aunque hay importante información relativa a la comercialización en los mercados europeos (Marichal 2017), el impacto económico de lo importado del Nuevo Mundo a Europa y Asia no ha sido evaluado a profundidad, aunque esos productos generaron una verdadera revolución de la industria

del vestido en el continente. Se consolidó el mercado de exportación a la vez que se perfeccionaron las técnicas del cultivo y se produjeron leyes contra la adulteración del tinte antes de 1600, aunque la adulteración fue un problema en todos los niveles, y nunca se logró controlar (Lee 1948). En 1550, en el mercado de Puebla, a donde llegaba la cochinilla de Tlaxcala, Cholula, Tepeaca y Tecamachalco, se comerciaban doscientos mil pesos oro de grana cada año (Dahlgren 1963). Para 1575 se estimaron las exportaciones del insecto en 7 000 arrobas (175 000 libras) en los siguientes años aumentó a 12 000, una cantidad sin precedente. El virrey Martín Enríquez de Almansa declaró con orgullo que su interés en promover la producción de los indios, por fin rendía frutos (Lee 1948). La producción estuvo en manos de los indios, que vendían la grana a 12 reales la libra, o 37 pesos oro la arroba. La transportación desde los sitios de producción a la costa se estimaba en 3 pesos por arroba, más tarifas de aduana, impuestos en México y en España y flete hasta el destino final. Cuando se expresaba en pesos, el total de exportación de grana era impresionante. A 50 pesos por arroba, el promedio para las dos décadas 1580-1600, asumiendo 11 000 arrobas, el valor anual de la exportación de cochinilla fue de 550 000 pesos (L'Abbe Brasseur de Bourbourg, *Histoire des nations civilisées du Mexique et de l'Amérique Centrale* (4 vols, París, 1857-1859), III, 267, n. 1. (Lee 1948). En Yucatán también se produjo grana, pero lo seco del ambiente y el calor forzaron a los nativos a abandonar el cultivo.

La cochinilla

Durante el siglo XVIII José Antonio Alzate (1794) dio un paso adelante al investigar las características, reproducción y crecimiento

de la cochinilla. Aunque nunca visitó los sitios de cultivo, el haber recibido el encargo del Virrey Antonio Bucareli y Ursúa para investigar y mejorar el conocimiento relativo al insecto, a su reproducción y ciclo biológico, le fueron conseguidas muestras de nopales y de cochinillas. La historia y destino de sus reportes es accidentada, pero se conservó un ejemplar en el Archivo General de la Nación, reproducido de forma facsimilar en 1981. Escribió en 1777 “Memoria sobre la naturaleza, cultivo y beneficio de la grana” en la que consignó las características tanto de la hembra, como del macho de la grana cochinilla, así como detalles de su cultivo y de su preparación para la venta, es decir, los procedimientos para matar a los insectos (Fig. 6). Además publicó en su *Gazeta de Literatura* en los fascículos de febrero a septiembre de 1794, los detalles de sus investigaciones, *Memoria, en que se trata del insecto grana o cochinilla* Alzate mediante investigación empleando un microscopio que se le fabricó ex profeso y realizando detalladas observaciones logró establecer la definición y clasificación entomológica, las características de hembras y machos, las condiciones de fecundación, ovoposición, movilidad de las cochinillas y adhesión a los nopales mediante su probóscide (Fig. 7). A partir de sus investigaciones se supo con certeza que el colorante derivaba de los cuerpos desecados del insecto *Coccus cacti* cultivado en el cactus (*Opuntia coccinellifera*). Solo las hembras, carentes de alas poseen el colorante. Los machos en una proporción de 1:200 fecundan a las hembras solo durante la noche. Las cochinillas hembra crecidas de los huevos depositados en los cactus se adhieren rápidamente a las pencas mediante sus probóscides a través de los cuales extraen la savia de las venas.

Permanecen inmóviles durante los tres meses de su ciclo vital, hasta que las remueven los indígenas. La grana o cochinilla (*Coccus cacti*) es un insecto clasificado bajo diversas nomenclaturas que parasita las pencas de ciertos nopales *Opuntia*. Para 1835, ya se la había denominado *Dactylopius coccus*, y este último nombre se ha mantenido válido. La especie *D. coccus* es la única cochinilla conocida como grana cultivada o fina, ya que el resto de las especies forman un grupo de cochinillas denominadas granas silvestres o corrientes (Portillo & Viguera 2004). Por esto se dice que la cochinilla se cría de un modo silvestre y permite también ser cultivada. La cochinilla adulta mide unos 2 mm de longitud y tiene forma de grano rojizo-negruzco cubierto por un polvo blanco una cera algodonosa que le protege contra la desecación y la lluvia (Chavez-Moreno et al. 2009). Las hembras de la cochinilla ovipositan en promedio 415 huevos con un mínimo de 293 y un máximo de 586 huevos y se multiplican tres veces por año. De la hembra, se extrae un colorante rojo natural que se conoce comúnmente como carmín o ácido carmínico. La cochinilla pesa aproximadamente 0.006 g; 150 000 insectos pesan cerca de 1 000 g aunque según otras opiniones aproximadamente 140 000 insectos son necesarios para obtener 200 g de carmín de cochinilla al 50 % en su forma sólida, y algunos más afirman que se necesitan de 80 000 a 100 000 para ajustarlo; en otra estimación se requieren al menos 25 000 insectos frescos para obtener una libra y 70 000 si ya están secos. El cultivo y la recolección de la grana madura implica un proceso cuidadoso, que solo los indígenas pudieron dominar, considerando su diminuto tamaño, al margen de las estimaciones (Lee 1948).



FIGURA 5. "Grana Cochinilla, Relación de los lugares y pueblos donde se saca la grana cochiniulla y sus subxetos echa por Alonso de Nava Juez de Comisión para Venefizio della". El Colegio Mexiquense.

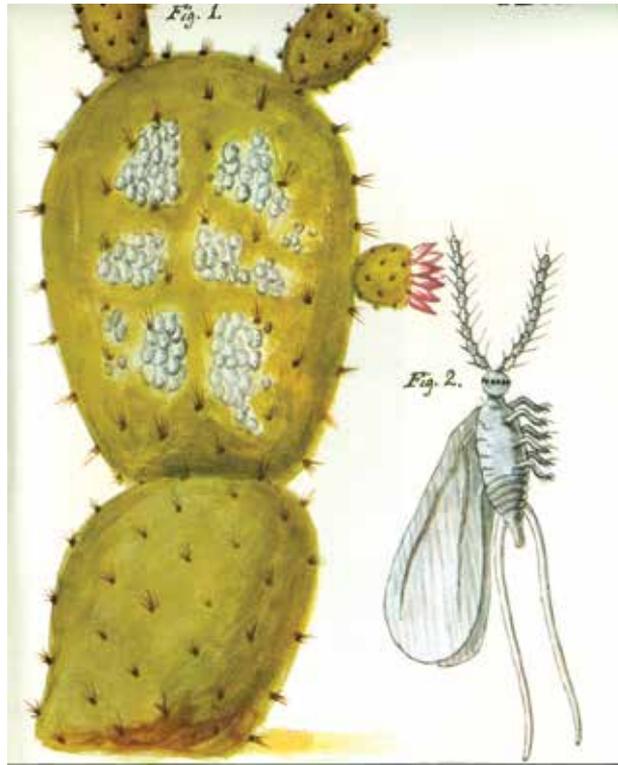


Fig. 1. Perca de Nopal con grana copiada del natural, nombrado así (como también Tural) por los Españoles, por los Indios Nopalt, por los Latinos Opuntia, y por los Franceses Fiquur d'Ynole, Raquette, Cardat. Fig. 2. Macho de la Cochinilla de maxetas.

FIGURA 6. Memoria sobre la naturaleza, cultivo y beneficio de la grana 1777. Copia Facsimilar del original conservdado en el AGN. Plancha 3.

En escasas décadas el auge de la producción y comercialización del tinte se desplomó. La crisis del orden colonial, las políticas de los gobernadores, alcaldes y comerciantes, las guerras de España en Europa, la guerra de Independencia en América, las difíciles relaciones entre la joven nación y España, la Reforma y el colapso del poderío de la iglesia, así como el avance imperialista británico y francés condicionaron que en el siglo XIX se buscaran nuevas fuentes de aprovisionamiento del colorante en Centro y Sudamérica, sur de España, Islas Canarias, norte de África y la India, a pesar del celo

que se mantuvo en la Nueva España para la exportación de los nopales y del insecto. El primer gran competidor fue Centroamérica, comenzando por Guatemala. Después de 1835 el desplome de la producción del colorante no se pudo detener, por una parte, la producción en las Canarias y por otra la producción de tintes artificiales. Las Islas Canarias, a partir de esa fecha se convirtieron en el principal productor y exportador de grana cochinilla como lo ilustran los datos. A la vez que al inicio del siglo XIX España perdió el monopolio el comercio se desplazó a Londres, 38000 quintales en

1857, a Marsella 20000, a Estados Unidos 10000 y a España 2000. La comparación entre Oaxaca y las Islas Canarias de las cantidades de grana exportada, permite observar que de 1758 a 1849 el mercado correspondió a Oaxaca, variando entre uno y cuatro millones de libras, de acuerdo con quinquenios. Las Canarias inician la exportación en 1849 con un millón y medio, para llegar a 26 millones en 1874, aunque en 1831 solo habían exportado 8 libras. El asunto de la producción de grana en las Canarias es complejo y no se detalla en esta publicación. El hecho relevante es su ascenso vertiginoso en la producción debido a relaciones geográficas, económicas y políticas, lejanas a los lugares que fueron la cuna de su existencia. Cabe mencionar, que en este periodo se inició un esfuerzo por obtener un lugar en la producción y el comercio de la cochinilla en diferentes lugares del mundo, imitando el éxito de las Islas Canarias. No obstante, en algunos países la introducción de nopales para implementar la producción de cochinilla tomó un curso no previsto. Por ejemplo, en Australia y en Sudáfrica la producción de cochinilla fracasó, sin embargo, el nopal introducido en esos territorios se convirtió en un problema de gran dimensión pues el nopal se propagó y se convirtió en una especie exótica invasora (Golubov *et al.* 2001; Zimmermann & Pérez-Sandi y Cuen 2006). Diversos reportes y evidencia fotográfica indican que en Australia se estimaba que había aproximadamente 25 millones de hectáreas en Queensland y New South Wales infestadas del nopal *Opuntia stricta* (Zimmermann & Pérez-Sandi y Cuen 2006).

El color rojo

En la actualidad se han iniciado investigaciones para conocer los mecanismos de la sín-

tesis del colorante por los insectos. Aunque el pigmento de la cochinilla conocido como ácido carmínico (AC) ha servido como un importante colorante rojo a lo largo de la historia y su origen a partir de la cochinilla es evidente, no hay información suficiente genética ni bioquímica acerca de su biosíntesis. El origen biosintético de los pigmentos en los insectos permanece como un misterio (Rasmussen *et al.* 2018). El AC es una antraquinona glucosilada que se encuentra en los insectos escamosos como el *Dactylopius coccus*. Se ha propuesto que el AC deriva de una vía basada en policétidos, no demostrada experimentalmente. Así por un mecanismo secuencial de condensación de un acetato (acetil coenzima A) con 7 unidades de malonato (malonil coenzima A) generan un hipotético octacérido catalizado por una policétido sinetasa (PKS), malonil CoA. Tal octacérido sufre una ciclización hacia una posible antrona inestable que por la vía enzimática o por oxidación espontánea forma la antraquinona ácido flavokermésico (FK) que mediante una C-glucosilación formará el AC (Rasmussen *et al.* 2018). El consenso general es que una enzima interviene en la formación de los policétidos (PKS) como precursores. La actual falta de tales enzimas bioquímicamente identificadas en los insectos ha planteado diversas hipótesis en cuanto a su síntesis. Se encuentran pequeñas cantidades de FK y glucósidos ácidos C (dcII) en extractos de *D. coccus*, lo cual podrá implicar que la C-glucosilación podría suceder en el ácido FK. Se ha propuesto que hemocitos especializados presentes en la hemolinfa de los insectos podrían tener una función secretoria, responsable de la síntesis de AC. Kannangara *et al.* (2017) aislaron una C-glucosiltransferasa, DcUGT2 del *D. coccus* capaz de formar AC mediante glucosilación

de AK *in vitro*. Es posible que una parte, si no la totalidad de AC sea sintetizada por el insecto.

Diversos insectos contienen pigmentos derivados de la estructura del ácido FK indicando que la vía sintética ha emergido de un ancestro común, sin embargo, en tanto que el origen de la antraquinona del AC es un tema no resuelto, existe la posibilidad de que la aglicona AK provenga de un endosimbionte, en cuyo caso la C-glucosilación por la cochinilla debería considerarse como una actividad de detoxificación. En general la glucosilación sirve para estabilizar las agliconas lábiles para aumentar su solubilidad, facilitar su almacenamiento compartimentalizado y reducir su bioactividad de autotoxicidad. Muchas plantas almacenan glucósidos compuestos para su defensa debido a sus propiedades repelentes de hormigas y de otras plagas. Se supone que el compuesto denominado DcUGT2 es un integrante del retículo endoplásmico que desarrolla actividad bioquímica compleja (Kannangara *et al.* 2017). En paralelo con la vía propuesta, se ha planteado también como hipótesis que las enzimas que catalizan la síntesis de AC se originan en un endosimbionte, ya que se conoce que los policétidos los producen microorganismos y que *D. coccus* no parece tomar el AC de las opuntias, su planta hospedera. En contraste con la situación en bacterias, hongos y plantas, hay información limitada de moléculas, genes o enzimas responsables de la biosíntesis disponible en los insectos. En diversas especies de *Dactylopius* sp. se han demostrado una multitud de bacterias endosimbióticas, pero permanece la incertidumbre de que cualquiera de estos organismos sea capaz de producir el ácido en *Dactylopius*. Muchos insectos tienen

bacterias simbióticas en sus intestinos, pero también tienen endosimbiontes dentro de células especializadas llamadas bacteriocitos (Baumann 2005). Los endosimbiontes bacterianos de los hemípteros proveen nutrimentos a los insectos debido a que las limitaciones de la savia y la misma sangre son deficientes en aminoácidos esenciales y vitaminas. Algunos endosimbiontes también sintetizan compuestos bioactivos que pueden emplear los insectos como defensa en contra de depredadores, parásitos y microorganismos patógenos. Como los endosimbiontes se transmiten verticalmente sus secuencias de DNA pueden emplearse para seguir la filogenia de los insectos. Dentro de los Coccoidea, los endosimbiontes se han encontrado en las familias Pseudococcidae, Diaspididae, y Margarodidae (Thao *et al.* 2002; Gruwell *et al.* 2007; Rosenblueth *et al.* 2017). La diversidad de endosimbiontes en *Dactylopius* spp. no se ha reportado, excepto para bacterias del género *Wolbachia* presente en huevos de *Dactylopius* (Pankewitz *et al.* 2007). Las asociaciones endosimbióticas difieren con respecto del efecto del simbiote, mutualismo, comensalismo o parasitismo. Para el caso de los endosimbiontes que producen sustancias, se ha pensado que constituyen mecanismo de defensa contra los parásitos, pero esto se ha descartado en los casos de infección por bacterias del género *Wolbachia*. La descripción de los endosimbiontes es básica para estudiar su papel en la fisiología de los insectos, ya que parecen estar implicados en proveer aminoácidos, vitaminas, compuestos antimicrobianos y en la degradación de compuestos tóxicos (Ramírez-Puebla *et al.* 2010). Habiendo recapitulado en términos generales el empleo del tinte desde tiempos ancestrales, cabe preguntarse cuál es la función biológica

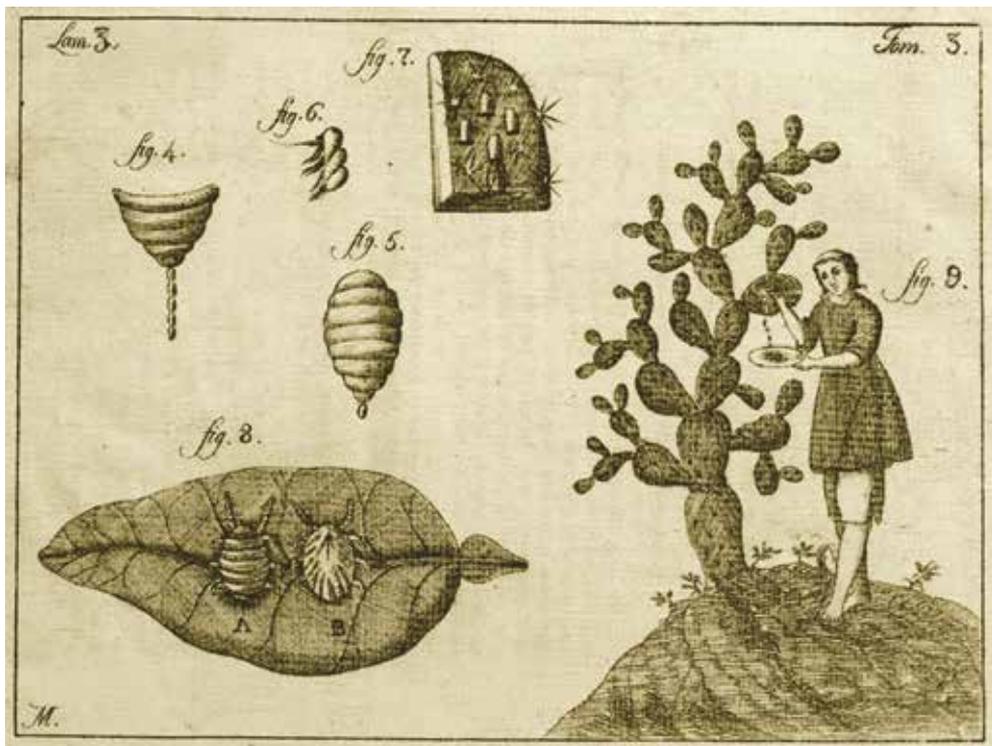


FIGURA 7. *Gazeta de Literatura* Fascículos de febrero a septiembre de 1794, “Memoria, en que se trata del insecto grana o cochinilla”.

del AC en los insectos escamosos. Se ha demostrado que el AC es un repelente químico que protege a los insectos inmóviles de hormigas depredadoras, pero además se ha planteado que puede contribuir al sistema inmune innato que protege a los insectos de microorganismos invasores, encapsulando a los invasores mediante complejas reacciones químicas que dañan a los invasores (Rasmussen *et al.* 2018).

Discusión

Tanto la abundante información bibliográfica acerca del insecto *Dactylopius* como el espléndido libro publicado *Rojo Mexicano* (2017) inspiran para proponer nuevas revisiones y visiones sobre el desarrollo

histórico de este insecto tintóreo, la importancia de la grana cochinilla en la cultura prehispánica, y su mercado pasado, actual y futuro. La diversidad de información y el carácter académico de los restringidos ámbitos a los que se han dirigido permiten abrir espacios y brindan la oportunidad de realizar propuestas que intentan complementar y sintetizar algunos elementos. En particular, esta revisión ahora se dirige a los académicos del ámbito del estudio de las cactáceas y suculentas a partir de algunas fuentes no fácilmente accesibles. Se intentó plantear un breve panorama que pretende una síntesis, desde su uso en el pasado, los procedimientos para su producción, algunos elementos económicos de comercialización y distribución, complementados con inves-

tigaciones en curso que tratan de aclarar el origen del colorante en los insectos.

El libro *Rojo Mexicano* (2017) se circunscribe al ámbito del arte plástico incluyendo la elaboración de textiles. Al hacer un recorrido de más de 500 años del empleo del tinte, incluye tanto a los más destacados pintores que emplearon el rojo carmín en sus obras artísticas, como un repaso de los códices prehispánicos y del periodo virreinal en los que se empleó, sin embargo, no hace referencia en los códices a la información relativa a la cochinilla, que se empleó de diversas maneras, colorante, maquillaje, tinte en textiles y códices y en especial como materia de tributo. En el código Mendoza (Kingsborough 1964) y en la Matrícula de Tributos (1522-1530 d.c.) se hace referencia tanto a los diversos pueblos tributarios como a las cantidades exigidas, que ponen de manifiesto su valoración, junto con el oro y con los textiles y productos de agricultura y manufacturas especiales. Los principales cronistas españoles se dedicaron a describir lo observado. Unas cuantas décadas después de consumada la conquista del imperio Mexica, los españoles ubicaron la enorme veta comercial de enriquecimiento con la comercialización de un tinte tan valioso que con rapidez asombrosa cautivó a los fabricantes de textiles. Virreyes y Reyes promovieron el incremento de la producción y publicaron los métodos de su cultivo, así como José Antonio Alzate (1794) investigó durante años las características del insecto y de su cultivo. Se mantuvo en estricto secreto todo lo relativo a las cochinillas, “semillas”, y su colorante para mantener el monopolio comercial, a pesar de lo cual los intentos de sustraer nopales y cochinillas se sucedieron hasta la actualidad. Las estrategias y mecanismos de su producción

que fue muy abundante a partir del siglo XVI hasta el XVIII fueron adecuados al parecer para ambas partes, ante la falta de haciendas, dada las limitadas condiciones para producir semillas y criar ganado, el cultivo se organizó en las parcelas y patios de los indígenas a quienes a su vez se les dejó cierta libertad de autonomía. Aunque se han publicado las redes comerciales en Europa, el impacto económico de lo importado del Nuevo Mundo a Europa y Asia no ha sido evaluado a profundidad, aunque esos productos generaron una verdadera revolución de la industria del vestido en el continente, como tampoco se ha evaluado el impacto del comercio de la cochinilla sobre la economía oaxaqueña. Aquí puede surgir una línea de investigación para los historiadores de la ciencia de la economía. El enorme crecimiento de la producción ampliamente documentado en tanto toneladas del tinte como enormes cantidades de dinero, no fue duradero. La ambición desmedida de los alcaldes y acaparadores desalentó a los indígenas y no pocos destruyeron sus nopaleras, hecho cuyo impacto sobre la demografía no se conoce. Las epidemias que diezmaron a las poblaciones redujeron la población dedicada al cultivo tampoco se conocen con precisión, la publicación original de Borah y Cook no se logró localizar, por lo que constituye otra veta para la investigación. Por otra parte, la adulteración de la cochinilla a todos los niveles de la cadena comercial también fue un factor limitante del comercio, a pesar de las leyes, nunca se pudo controlar. Las modificaciones al sistema de producción que se denominó “repartimiento forzoso” y finalmente la Guerra de Independencia y otros procesos socioeconómicos y políticos condicionaron el colapso final del sistema

y la búsqueda de nuevas fuentes de aprovisionamiento del colorante en Centro y Sudamérica, sur de España, Islas Canarias, norte de África y la India, a pesar del celo que se mantuvo en la Nueva España para la exportación de los nopales y del insecto. Dado que los indígenas no tenían mecanismos alternos de agricultura o industria, aún elemental, quedaron sumidos en tremendas condiciones de pobreza. Llama la atención la distribución del insecto restringida a Mesoamérica y a Perú durante el periodo prehispánico, a este respecto a partir de investigaciones de naturaleza filogenética, se ha propuesto que se trata de un insecto monofilético que tuvo su origen en Perú y se transportó a Mesoamérica por la vía marítima por diversas razones, comercio, preservación entre otras y descartan la propagación terrestre, dada su ausencia en los lugares intermedios en el camino entre estas dos regiones (Rodríguez *et al.* 2001).

Después de 1835 el desplome de la producción del colorante no se pudo detener, por una parte, la producción en las Canarias y por otra la producción de tintes artificiales. En la actualidad se abren nuevas oportunidades para recuperar el cultivo de la grana cochinilla, ya que a partir de las guerras mundiales se plantea “el regreso a lo natural”, la idea de que los colorantes artificiales pueden tener o tienen efectos deletéreos sobre la salud es una condición que alienta la producción del insecto y su colorante. A la fecha, las Islas Canarias, Perú y Chile, en virtud de técnicas más modernas de producción exportan millones de toneladas de cochinilla, mientras en México solo se conservan aislados cultivos locales para fines también locales como en las comunidades de producción de textiles en Teotitlán del Valle en Oaxaca y un pequeño museo,

Nocheztlicalli-Museo Ecológico de Grana Cochinilla y Nopal en la ciudad de Oaxaca.

Finalmente conviene comentar que a pesar del empleo del colorante en el ámbito mundial al menos durante un milenio, la bioquímica, la biología molecular y la genética relativa a la síntesis del colorante se desconocen, a pesar de importantes avances y propuesta de interesantes hipótesis de síntesis en hemocitos, a partir de precursores posiblemente sintetizados por bacterias endosimbióticas o tomadas de la savia de las pencas, entre las más importantes, podrán mejorar las opciones de cultivo (Baumann 2005; Kannangara *et al.* 2017). También hay información relativa al papel del colorante en los mecanismos inmunológicos de los insectos. Todos estos conocimientos constituyen una veta para el desarrollo científico de la ecología de la relación simbiótica de vegetales, bacterias e insectos (Thao *et al.* 2002). Un panorama abierto y en espera de novedosas investigaciones. El estudio y la investigación relativos a la grana cochinilla están aún en los umbrales de la ciencia moderna.

A manera de conclusión, proponemos que el tinte producido por la grana cochinilla ha sido muy importante a través de muchos siglos de la historia de la humanidad. Se cuenta con literatura abundante desde los enfoques de su empleo en el arte y en la industria textil, de sus antecedentes en periodos prehispánicos y de la evolución de su producción y comercialización, también se ha publicado el desplome de su producción en México, en especial en Oaxaca y su desplazamiento a las Islas Canarias, Perú y Chile, pero en contraste, se conoce muy poco de los aspectos biológicos y ecológicos de las relaciones entre las opuntias, los insectos y sus posibles relaciones simbióticas con las bacterias, así como de su síntesis

y de posible función inmunológica. Los temas en espera de investigación son tan abundantes como fuente de fascinación.

Literatura citada

- Alzate JA & Ramírez. 1794. Memoria en que se trata del insecto grana ó Cochinilla, de su naturaleza y serie de su vida, como también del método para propagarla y reducirla al estado en que forma uno de los ramos más útiles de Comercio, escrita en México en 1777 por el autor de esta Gazeta. *Gazeta de la literatura Tomo III*. **26**:199-259.
- Arrijoa LA. 2004. La producción de grana cochinilla en Oaxaca a principios del Siglo XIX. *Boletín del Archivo General de la Nación* 6a. Época **5**:35-66.
- Baskes J. 2017. *La producción y comercio del tinte de la grana cochinilla en Oaxaca, México, de 1750 a 1821*. En: Rojo Mexicano. La grana cochinilla en el arte. Secretaría de Cultura. Instituto Nacional de Bellas Artes. México.
- Baumann P. 2005. Biology of bacteriocyte-associated endosymbionts of plant sap-sucking insects. *Ann Rev Microbiol* **59**:155-189.
- Chavez-Moreno CK, Tecante A & Casas A. 2009. The *Opuntia* (Cactaceae) & *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Mexico: a historical perspective of use, interaction and distribution. *Biodivers Conserv* **18**:3337-3355.
- Clark MA, Springmann M, Hill J & Tilman D. 2019. Multiple health and environmental impacts of foods. *PNAS* **116**:23357-23362.
- Clavijero FJ. 1780. *Historia antigua de México*. Porrúa. México.
- Código Mendocino. Colección de Mendoza. Biblioteca Bodleina de Oxford. Edición facsimilar. 1979. San Ángel Ediciones. México.
- Coll-Hurtado A. 1998. Oaxaca: geografía histórica de la Grana Cochinilla. *Invest Geog* **36**:71-82.
- Dahlgren B. 1943. *La Grana Cochinilla Nocheztli. Economía de una Región*. José Porrúa e hijos sucesores. México.
- Donkin RA. 1977. Spanish Red. An Ethnogeographical Study of Cochineal and the *Opuntia* Cactus. *T Am Philos Soc* **67**:1-84.
- Gamett T. 2013. Food sustainability: problems, perspectives and solutions. *Proc Nutr Soc* **72**: 29-39.
- Golubov J, Mandujano MC & Soberón J. 2001. La posible invasión de *Cactoblastis cactorum* Berg en México. *Cact Suc Mex* **46**:90-92.
- Gómez de Cervantes G. 1944. *La vida económica y social de Nueva España al finalizar el siglo XVI. Versión correspondiente al Manuscrito "Memorial de Don Gonçalo Gomez de Cervantes del modo de vivir que tienen los indos, y del beneficio de las minas de la plata, y de la cochinella", conservado en el Museo Británico*. Antigua Librería Robledo de José Porrúa e hijos. México.
- Gruwell ME, Morse G E. & Normark BB. 2007. Phylogenetic congruence of armored scale insects (Hemiptera: Diaspididae) and their primary endosymbionts from the phylum Bacteroidetes. *Mol Phylogenet Evol* **44**:267-280.
- Guzmán U, Arias S & Dávila P. 2003. *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*. UNAM-CONABIO. D.F., México.
- Heers J. 1991. La búsqueda de colorantes. *Historia de la Ciencia y la Tecnología. Lecturas de Historia Mexicana*. **11**:1-27.
- Kannangara R, Siukstaite L, Borch-Jensen J, Madson B, Kongstad KT, Staerk D. & Frandsen, RJ. 2017. Characterization of a membrane-bound C-glucosyltransferase responsible for carminic acid biosynthesis in *Dactylopius coccus* Costa. *Nat Commun* **8**:1987.
- Kingsborough L. 1964. (ed.). Código Mendoza. *Antigüedades de México* Vol. I, páginas 1-149, México, SHCP.

- Lee RL. 1948. Cochineal production and trade in New Spain to 1600. *The Americas* **4**:449-473.
- Marichal SC. 2017. *La grana cochinilla mexicana y los colores de la temprana globalización comercial, siglos XVI-XVIII*. En: Rojo Mexicano. La grana cochinilla en el arte, México, Instituto Nacional de Bellas Artes. México.
- Matrícula de Tributos. (1522-1530 d.c.). Recuperada de <http://bdmx.mx/documento/matricula-tributos>
- Pankewitz F, Zöllmer A, Hilker M & Gräser Y. 2007. Presence of *Wolbachia* in insect eggs containing antimicrobially active anthraquinones. *Microb Ecol* **54**:713-721.
- Pérez-Sandi y Cuen M & Becerra R. 2001. Nocheztli: el insecto del rojo carmín. CONABIO. *Biodiversitas* **36**:1-8.
- Portillo MI & Viguera AL. 2004. A review on the cochineal species in Mexico, hosts and natural enemies. *Proc. Vth Int'l. Congress on Cactus Pear and Cochineal Eds. C. Mondragon Jacobo et al. Acta Hort. 728, ISHS 2006 V International Congress on Cactus Pear and Cochineal* **728**:249-256.
- Ramírez-Puebla ST, Rosenblueth M, Chávez-Moreno CK, Catanho Pereira De Lyra MC, Tecante A & Martínez-Romero E. 2010. Molecular phylogeny of the genus *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopiidae) and identification of the symbiotic bacteria. *Environ Entom* **39**:1178-1183.
- Rasmussen SA, Kongstad KT, Khorsand-Jamal, P, Kannangara RM, Nafisi, M, Van Dam, A & Staerk D. 2018. On the biosynthetic origin of carminic acid. *Insect Biochem Mol Biol* **96**:51-61.
- Rojo Mexicano. 2017. *La grana cochinilla en el arte*. Secretaría de Cultura. Instituto Nacional de Bellas Artes.
- Rodríguez LC, Méndez MA & Niemeyer HM. 2001. Direction of dispersion of cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) within the Americas. *Antiquity* **75**:73-77.
- Rosenblueth M, Martínez-Romero J, Ramírez-Puebla ST, Vera-Ponce De León A, Rosas-Pérez T, Bustamante-Brito R & Martínez-Romero E. 2017. Endosymbiotic microorganisms of scale insects. *TIP Rev Esp Cienc Quím-Biol* **21**: 53-69.
- Ruz-Barrio MA & García-Morís R. 2018. *Códice de la grana cochinilla. Relación de los lugares y pueblos donde se saca la grana cochinilla y sus subxetosecha por Alonso de Nava Juez de Comisión para Venefizio della*. El Colegio Mexiquense.
- Sahagún BD. 1938. *Historia general de las cosas de Nueva España*. México.
- Sahagún BD. 2001. *Códice Florentino*. Reproducción Facsimilar. Biblioteca Medicea Laurenziana, Italia. Mexico: Libros Más Cultura, S.A. Editorial Aldus, SA de CV.
- Sanchez-Silva Silva C & Suarez-Bosa M. 2006. Evolución de la producción y el comercio mundial de la grana cochinilla, siglos XVI-XIX. *Revista de Indias*. **66**:473-490.
- Thao ML, Gullan PJ & Baumann P. 2002. Secondary (γ -Proteobacteria) endosymbionts infect the primary (β -Proteobacteria) endosymbionts of mealybugs multiple times and coevolve with their hosts. *Appl Environ Microbiol* **68**:3190-3197.
- Wallinga D. 2009. Today's Food System: How Healthy Is It? *J Hunger Environ Nutr* **4**:251-281.
- Zimmermann H & Pérez-Sandi y Cuen MM. 2006. The consequences of introducing the Cactus Moth *Cactoblastis cactorum* to the Caribbean and beyond. *Pronatura-FMCN-USAID*.

Inclinación y orientación de los tallos de una población de *Ferocactus wislizeni* del estado de Sonora

Sánchez-Sánchez Gissel¹, Montoya-Laos José Arturo², Martínez-Rodríguez José³
& Molina-Freaner Francisco^{3,*}

Resumen

Existen antecedentes que documentan que los tallos de varias especies del género *Ferocactus* crecen inclinados y orientados hacia el sur. Estos antecedentes se han generado principalmente en latitudes superiores a los 32° N, en los Estados Unidos. En este trabajo describimos la inclinación y orientación de los tallos de una población de *Ferocactus wislizeni* cercana a El Colorado, en la costa de Sonora. En esta población, medimos la longitud, diámetro, inclinación y orientación del tallo de 58 plantas, así como la producción de frutos. Los resultados indican que los tallos crecen ligeramente inclinados, con una dirección media y desviación angular de $8.89^\circ \pm 5.72^\circ$. La inclinación parece ser un proceso gradual ya que aumenta con la longitud de los tallos. Los tallos estuvieron orientados hacia el sur con un azimut promedio (\pm desviación angular) de $177.76^\circ (\pm 24.37^\circ)$. El diámetro y la orientación de los tallos tuvieron una influencia significativa en el número de frutos producidos por planta. Los resultados se comparan con datos de otras especies y poblaciones y se discute el posible significado funcional del patrón observado de inclinación y orientación de tallos.

Palabras clave: Cactáceas, Desierto Sonorense, Matorral xerófilo.

Abstract

Previous studies have documented that cylindrical stems of several species of *Ferocactus* tend to tilt southward. Such studies have been carried out mainly in upper latitudes ($> 32^\circ$ N), in the United States. In this study, we describe stem tilting and orientation in a population of *Ferocactus wislizeni* near El Colorado, along the coast of Sonora, Mexico. We measured stem length, diameter, tilting and azimuth of 58 plants, as well as fruit production. Our results indicate that stems tilt on average (\pm angular deviation) $8.89^\circ (\pm 5.72^\circ)$. Tilting seems to be a gradual process as it tends to increase with stem length. Stems were oriented southward with an average of $177.76^\circ (\pm 24.37^\circ)$. Stem diameter and azimuth had a significant influence on fruits produced per plant. We compare our results with data from other species and populations and discuss the possible functional significance of the observed pattern of southern tilting in *F. wislizeni*.

Key words: Cactaceae, Desertscrub, Sonoran Desert.

¹ Licenciatura en Biología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora C.P. 83000.

² Departamento de Matemáticas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora C.P. 83000.

³ Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora C.P. 83250.

*Correo electrónico: freaner@unam.mx

Introducción

La mayoría de las plantas tienen tallos erectos como consecuencia de varios mecanismos que les permiten adquirir una postura vertical (Morita 2010, Moulia *et al.* 2019). Sin embargo, los tallos de algunas especies pueden reorientar su crecimiento vertical en respuesta a diversos estímulos externos (Niklas 1998), como las corrientes de aire o de agua superficial, produciendo tallos inclinados (Gardiner *et al.* 2016, Ballesteros-Canovas *et al.* 2015). En el caso de las especies de la familia Cactaceae, la mayoría de los tallos crecen erectos (Nobel 1988). Sin embargo, en el grupo de especies con forma de crecimiento cilíndrico y columnar, con tallos en forma de barril

o toneliformes, el eje longitudinal de sus tallos muestra cierto grado de inclinación y una orientación ecuatorial (Nobel 1981). Por ejemplo, los tallos de las especies de *Ferocactus* en Norteamérica crecen ligeramente inclinados y muestran una orientación hacia el sur (Ehleringer & House 1984) mientras que las especies de *Copiapoa* en Sudamérica muestran una orientación hacia el norte (Ehleringer *et al.* 1980).

La orientación e inclinación de los tallos de las especies de *Ferocactus*, es un fenómeno que llamó mucho la atención de los naturalistas desde principios del siglo 20 (MacDougal & Spalding 1910, Humphrey 1936) y que se ha documentado principalmente en las zonas áridas de Estados Unidos (Nobel 1981, 1988). Sin embargo, este fenómeno está



Francisco Molina.

FOTO 1. Individuo de *Ferocactus wislizeni* en El Colorado en la costa de Sonora.

pobremente documentado en poblaciones de México. *Ferocactus wislizeni* (Engelmann) Britton & Rose, es una cactácea que se distribuye en el sur de Arizona y Nuevo México, así como en Sonora, Chihuahua y Sinaloa (Anderson 2001), que posee tallos inclinados (Foto 1). En este trabajo se estudia una población de esta especie de la costa de Sonora con el objetivo de documentar el patrón de inclinación y orientación de sus tallos.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El trabajo se llevo a cabo durante el 2009 en una población de *F. wislizeni*, cercana a El Colorado, ubicado en la costa de Sonora (28° 19.384' Latitud Norte, 110° 20.212' Longitud Oeste, 20 m snm). La vegetación que predomina en el sitio es un matorral desértico típico de la subdivisión Costa Central del Golfo del Desierto Sonorense (Shreve & Wiggins 1964). El sitio de estudio tiene una gran diversidad de especies de plantas con tallos suculentos como *Pachycereus pringlei*, *Carnegiea gigantea*, *Ferocactus wislizenii*, *F. emoryi*, *Lophocereus schottii*, *Stenocereus thurberi* y varias especies de *Mammillaria*.

Especie de estudio

Ferocactus wislizenii es una cactácea de tallo simple, globoso cuando los individuos son jóvenes, y cilíndricos cuando son adultos (Paredes *et al.* 2000). Ramifica solo cuando el tallo sufre lesiones. Los tallos pueden llegar a tener hasta 3 m de altura y 80 cm de diámetro, con 20 a 30 costillas de 3 cm de altura (Anderson 2001). Las areolas están separadas 2-3 cm entre sí, grandes, ovales hasta elípticas, con fieltro castaño (Paredes *et al.* 2000). Con cuatro espinas centrales dispuestas en cruz, subuladas, anuladas, de 9-10 cm de longitud, una de ellas más gruesa, aplanada y ganchuda (Paredes *et al.* 2000). Flores infundibu-

liformes, de 4-6 cm de longitud, de color amarillo con tintes rojizos, naranja-rojo o rojo. Los frutos son amarillos, escamosos, de 4-5 cm de longitud y las semillas son negras, foveoladas. La floración ocurre de julio a septiembre (Paredes *et al.* 2000). En México se distribuye en los estados de Sonora, Chihuahua y Sinaloa (Anderson 2001).

Mediciones de plantas

En el área de estudio se seleccionaron 66 plantas distribuidas en aproximadamente 5 hectáreas. A cada individuo se le midió el diámetro, la longitud, la inclinación y la orientación del tallo. El diámetro se midió en la parte media del tallo usando un vernier grande (marca Haglof Sweden, modelo S-882 00, capacidad 50 cm) con resolución hasta milímetro y la longitud se midió del suelo al ápice, usando un flexómetro. Para la inclinación se utilizó una varilla de aluminio, la cual fue alineada a lo largo del eje del tallo y con la ayuda de un dispositivo diseñado por nosotros usando un transportador y una plomada (inclinómetro, Foto 2), se midió la inclinación con respecto a la vertical (vertical=0°). La orientación se estimó midiendo el azimut hacia donde apuntaba la región apical de los tallos. El azimut fue medido con la ayuda de una brújula, corregida por la declinación magnética. Dado que todos los individuos registrados fueron reproductivos, se contó el número de frutos por planta al momento de la medición, incluyendo frutos en desarrollo y maduros (noviembre 2009).

Análisis de datos

Un análisis preliminar de los datos mostró un número reducido ($N=8$) de casos atípicos de orientación de los tallos. Estos individuos se encontraban en la orilla de arroyos donde probablemente las corrientes de agua modificaron la orientación natural. Los datos de estos individuos fueron eliminados de la base de datos que finalmente se utilizó en este trabajo ($N=58$). Los

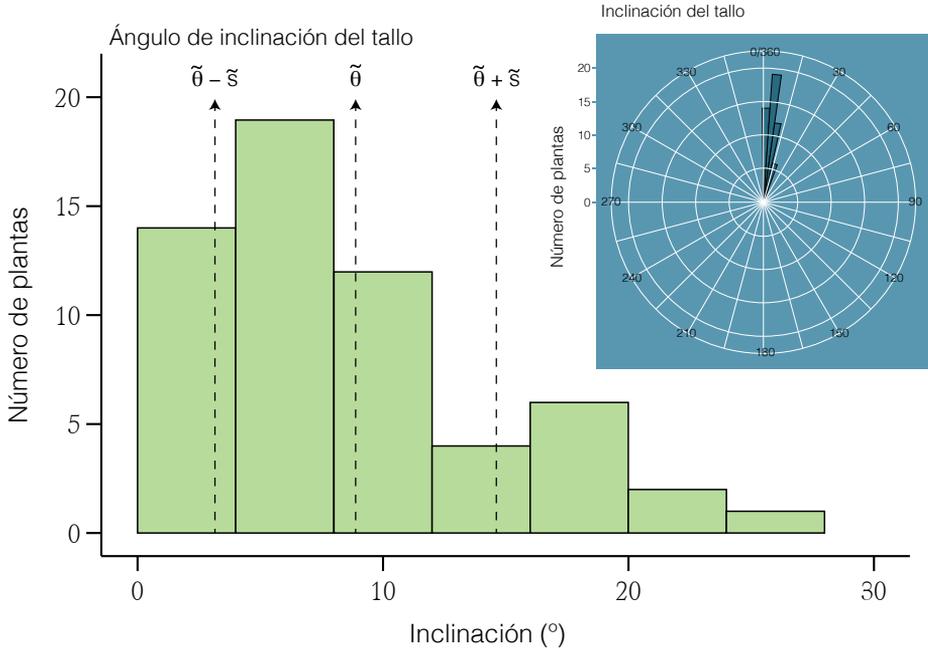


FIGURA 1. Distribución de la inclinación de los tallos en la población de *Ferocactus wislizeni*. En el interior se muestra un histograma circular con la distribución observada. El otro histograma muestra la dirección media y la desviación angular.

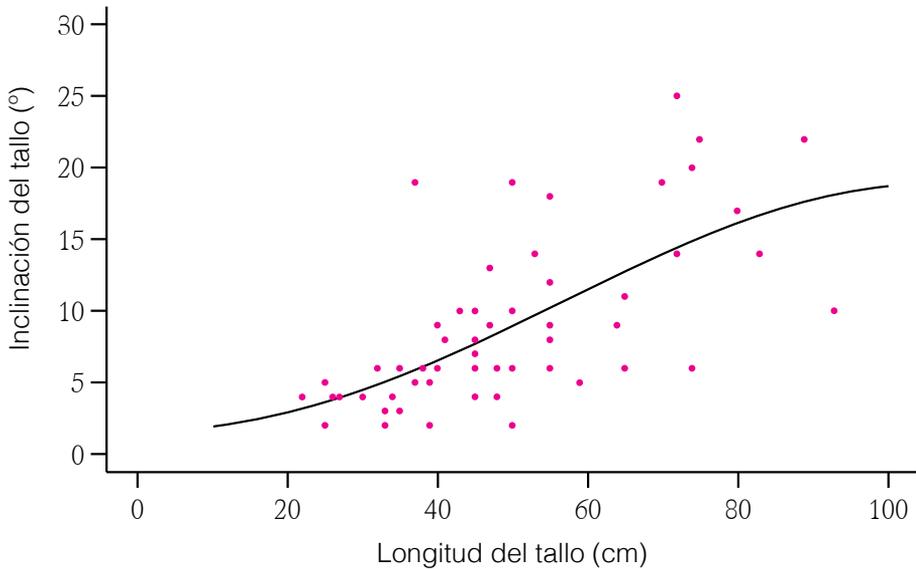


FIGURA 2. Relación entre la inclinación y la longitud del tallo en la población de *Ferocactus wislizeni*. Con una línea sólida se marca, en la escala de la inclinación del tallo, la media estimada del modelo de crecimiento logístico, $\eta(x)$; $\phi, \psi_0, \psi_1 = \phi\{1 + \exp[(\psi_0 - x)/\psi_1]\}^{-1}$, donde x es la longitud del tallo, $\phi = 0.3794$, $\psi_0 = 56.6073$ y $\psi_1 = 20.0616$.

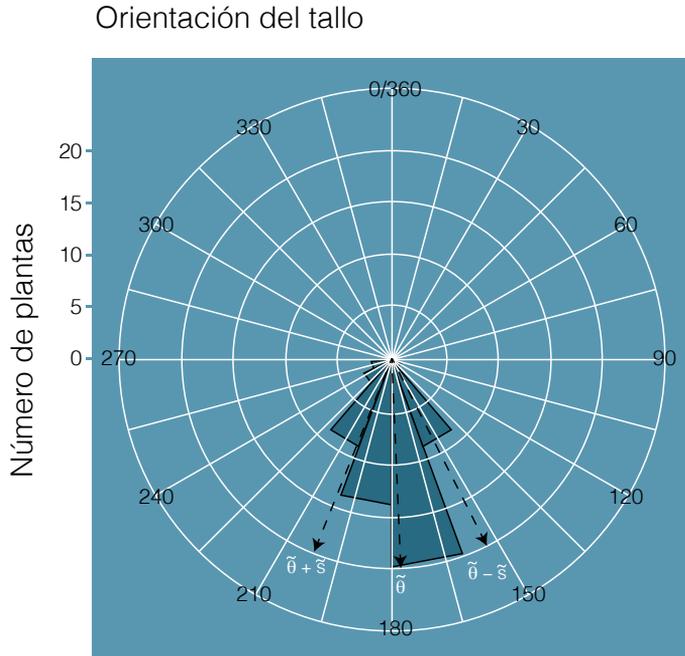


FIGURA 3. Distribución de la orientación de los tallos en la población de *Ferocactus wislizeni*. Se muestra la dirección media y la desviación angular.

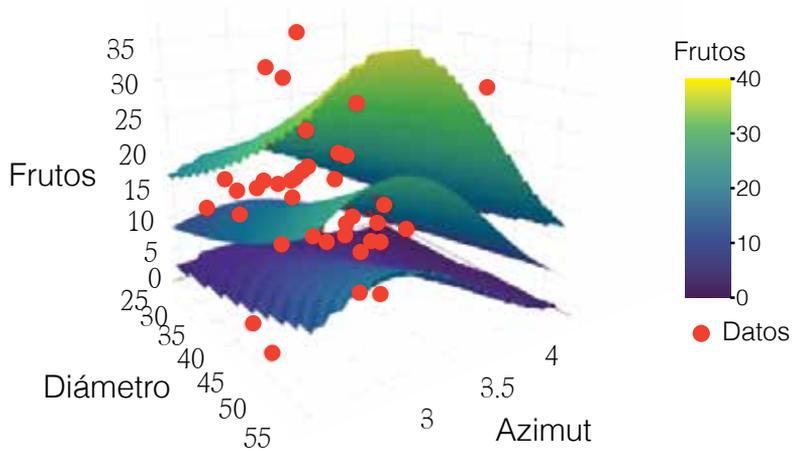


FIGURA 4. Relación entre la producción de frutos con el diámetro y el azimut (en radianes) de los tallos de la población de *Ferocactus wislizeni*. La superficie ubicada en la parte central de la figura es media estimada de frutos por planta, obtenida con base en el modelo no lineal generalizado Poisson con variables explicativas dadas por el diámetro (D) y el azimut (θ) de los tallos, $\lambda(D, \theta; \beta_0, \beta_1, \beta_2, \mu) = \ln [\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 \cos(\theta - \mu)]$, donde $\beta_0 = 0.1011$, $\beta_1 = 0.0273$, $\beta_2 = 1.5634$ y $\mu = 2.9103$ (en radianes). Arriba y debajo de la media estimada se presentan las superficies correspondientes a los percentiles 1% y 99% del modelo de probabilidad Poisson estimado. Nótese que la escala de colores representa el número de frutos por planta.

datos de inclinación y orientación de los tallos fueron analizados usando el programa R (R Core Team 2017). Se calculó la dirección media, la desviación angular y se utilizó la prueba de Rayleigh para evaluar si los tallos crecen erectos o si efectivamente están inclinados, así como evaluar si los tallos tienen una orientación uniforme o si efectivamente están orientados al sur. Con el propósito de evaluar si la inclinación de los tallos cambia con el tamaño de la planta, los ángulos de inclinación (en radianes) fueron transformados con la función trigonométrica tangente, para posteriormente ajustar a un modelo de regresión normal no lineal con media dada por la función de crecimiento logístico

$$\eta(x; \phi, \psi_0, \psi_1) = \phi / \{1 + \exp[(\psi_0 - x)/\psi_1]\}$$

y desviación estándar proporcional al tamaño de la planta; es decir, $\sigma(x; \tau) = \tau x$. El vector de parámetros $(\phi, \psi_0, \psi_1, \tau)$ se estimó por Máxima Verosimilitud y la prueba de significancia del modelo se hizo con base en la prueba de la razón de verosimilitud. Se optó por este modelo ya que los modelos de regresión lineal circular, con variable de respuesta circular dada por la inclinación del tallo y variable explicativa lineal dada por el tamaño de la planta, no ajustaron el comportamiento de los datos observados. De igual forma, se evaluó la influencia de la longitud y el diámetro de los tallos en el número de frutos por planta a través de modelos lineales generalizados Poisson con función de liga log. Dado que ambas variables están correlacionadas ($Cor = -0.6533, r_{xy} = 6.458, P < 0.0001$) y resultaron ser significativas, longitud ($Z = 2.481, P = 0.0131$) y diámetro ($Z = 6.124, P < 0.0001$), se empleó el criterio de Akaike para seleccionar el modelo que mejor explica el comportamiento de los datos. En este caso, el modelo Poisson correspondiente al diámetro de los tallos presentó el mínimo valor del criterio de Akaike ($AIC = 530.14$), mientras que

el otro modelo obtuvo un $AIC = 561.14$. Así, se seleccionó el diámetro de los tallos como variable explicativa para el número esperado de frutos por planta. Para evaluar la influencia de la inclinación y azimut de los tallos en la producción de frutos se ajustó un modelo no lineal generalizado Poisson con media dada por la siguiente función:

$$\lambda(D, \theta; \beta_0, \beta_1, \beta_2, \mu) = \ln[\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 \cos(\theta - \mu)], \quad (1)$$

donde D representa el diámetro del tallo, θ la variable circular y $(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \mu)$ es el vector de parámetros del modelo. Dado que las variables circulares inclinación y azimut están correlacionadas ($Cor = -0.3929, r_{xy} = -2.723, P < 0.0065$), se empleó nuevamente el criterio de Akaike para seleccionar el modelo que mejor explica el comportamiento de los datos. En este caso, el modelo con diámetro y azimut obtuvo el mínimo valor del criterio de Akaike ($AIC = -2600.332$), mientras que el otro modelo con diámetro e inclinación obtuvo un $AIC = -2560.683$. Por lo tanto, se seleccionó al diámetro (D) y azimut (θ en radianes) de los tallos como variables explicativas para el modelo no lineal generalizado Poisson con media dada en (1). Cabe mencionar que la implementación de los modelos y los análisis estadísticos de inferencia fueron realizados a través del programa R (R Core Team 2017).

Resultados

La muestra de 58 plantas de la población de *F. wislizenii* indica que los tallos varían desde erectos (0°) hasta con valores de inclinación de 25° con respecto a la vertical. La distribución observada indica que la mayor parte de los tallos muestran inclinaciones menores a 10° , con una dirección media de 8.89° y una desviación angular de 5.72° (Fig. 1). La prueba de Rayleigh ($Z = 0.995, P < 0.0001$)

indica que efectivamente los tallos tienen una inclinación significativa. El análisis de la relación entre la longitud del tallo y la inclinación muestra que las plantas pequeñas (< 40 cm) tienen valores bajos de inclinación y que conforme se elongan, gradualmente aumenta la inclinación (Fig. 2). El análisis estadístico muestra que la inclinación tiene una asociación significativa con la longitud del tallo ($LR=30.81$, $P < 0.0001$). El ajuste de la media estimada del modelo a los datos se presenta en la Figura 2, junto con los parámetros estimados.

La distribución de la orientación de los tallos muestra que la gran mayoría presentan azimuts entre los 140° y 251° (Fig. 3). La dirección media de la orientación fue de 177.76° y la desviación angular de 24.37° . La prueba de Rayleigh ($Z=0.9095$, $P < 0.0001$) indica que la orientación es significativa y efectivamente los tallos de esta población están orientados al sur.

Por último, el diámetro y el azimut de los tallos tuvieron una influencia significativa en el número de frutos por planta ($LR=40.6336$, $P < 0.0001$), comparado con el modelo que considera solamente el diámetro como variable explicativa. El ajuste del modelo a los datos se presenta en la Figura 4, junto con los parámetros estimados. En esta figura se observa que el modelo ajustado indica que la cantidad de frutos por planta se incrementa cuando el diámetro del tallo crece y el azimut se encuentra en una orientación de preferencia de 166.75° (2.9103 en radianes).

Discusión

Los datos obtenidos muestran claramente que la población estudiada de *F. wislizeni* posee tallos ligeramente inclinados, con orientación ecuatorial. La inclinación del

tallo parece ser un proceso gradual que aumenta con el tamaño de los individuos. De las variables medidas, el diámetro y azimut del tallo tuvieron una influencia significativa en el número de frutos por planta. Desconocemos el mecanismo responsable de esta asociación entre diámetro y azimut del tallo con fecundidad. Nuestras observaciones de campo sugieren que tallos con mayor diámetro producen más flores. Es probable que el diámetro del tallo esté estrechamente correlacionado con el número de areolas fértiles en el ápice y por esa razón el diámetro del tallo fue una de las variables que tuvo una influencia significativa en la producción de frutos. Esta hipótesis requiere de una evaluación empírica de la relación entre diámetro, número de areolas fértiles y fecundidad. De igual forma, es necesario evaluar empíricamente la relación entre la orientación de los tallos, la temperatura apical, la inducción de flores en areolas fértiles y la fructificación para dilucidar el posible mecanismo responsable de esta asociación.

En ambientes sujetos a vientos regularmente fuertes, algunas especies cambian la postura vertical de sus tallos, creciendo de forma inclinada a favor de la dirección dominante del viento, para reducir la resistencia y evitar rupturas (Gardiner *et al.* 2016). Aunque no se midió con precisión la inclinación y orientación, se ha documentado que los tallos de una población de *F. fordii* de la Isla Piedra de Baja California crecen con orientación sureste, aparentemente a favor de la dirección dominante del viento (Ortega-Rubio *et al.* 1995). En cambio, en otras especies de *Ferocactus* en las que se ha medido con mayor precisión la inclinación (I) y orientación (O), se ha documentado que en latitudes por arriba de 32° , los tallos crecen inclinados y orientados preferentemente



Francisco Molina.

FOTO 2. Dispositivo para medir la inclinación de los tallos. Consiste de una varilla, un transportador y una plomada.

hacia el sur (Nobel 1981): a) *F. acanthodes*: $I = 8^\circ \pm 5^\circ$, $O = 171^\circ \pm 17^\circ$; b) *F. covillei*: $I = 12^\circ \pm 4^\circ$, $O = 208^\circ \pm 15^\circ$; c) *F. viridescens*: $I = 8^\circ \pm 3^\circ$, $O = 204^\circ \pm 19^\circ$; d) *F. wislizeni*: $I = 17^\circ \pm 6^\circ$, $O = 199^\circ \pm 14^\circ$. En el caso de *F. acanthodes*, se ha documentado la inclinación de dos poblaciones de los Estados Unidos (Nobel 1981, Ehleringer & House 1984). Los datos de inclinación ($34^\circ \pm 1^\circ$ vs. $8^\circ \pm 5^\circ$) de estas dos poblaciones (Latitudes: 37° N vs. 33° N) sugieren que la inclinación de los tallos aumenta con la latitud. Nuestros datos de la población de la costa de Sonora (Latitud: 28° N; $I = 8^\circ \pm 6^\circ$), son ligeramente menores a la población previamente estudiada de *F. wislizeni* de Arizona (Latitud: 32° N; $I = 17^\circ \pm 6^\circ$, Nobel 1981), sugieren-

do también una tendencia latitudinal. Un estudio de más poblaciones a lo largo de un gradiente latitudinal pudiera esclarecer si existe un patrón consistente y proporcionar evidencia sobre el papel de la inclinación de los tallos en *Ferocactus*. Por otra parte, la similitud en la orientación de tallos entre poblaciones y especies sugiere que existe un estímulo común. Aunque no existen datos sobre la velocidad y dirección dominante del viento (en o cerca) del sitio de estudio que nos permita evaluar la relación con la orientación observada, nuestras observaciones de campo sugieren que el viento no es un factor importante en el área. En otras especies de *Ferocactus*, se ha sugerido que el patrón de inclinación y orientación de los tallos mas

bien parece ser una estrategia que permite reducir la intercepción de radiación fotosintéticamente activa en algunos lados del tallo durante el verano y aumentar la temperatura apical durante el invierno, lo cual puede minimizar el daño por heladas y favorecer la producción de flores (Nobel 1981, Ehleringer & House 1984). Por esa razón, en el futuro será importante medir la intercepción de radiación fotosintética y la temperatura de la superficie de los lados y ápice del tallo en el sitio de estudio, para evaluar el posible significado funcional del patrón observado de inclinación y orientación.

Literatura citada

- Anderson EF. 2001. *The cactus family*. Timber Press, Portland.
- Ballesteros-Canóvas JA, Márquez-Peñaranda JF, Sánchez-Silva M, Díez-Herrero A, Ruiz-Villanueva V, Bodoque JM, Eguibar MA & Stoffel M. 2015. Can tree tilting be used for paleoflood estimations? *J Hydrol* **529**:480-489.
- Ehleringer J & House D. 1984. Orientation and slope preference in barrel cactus (*Ferocactus acanthodes*) at its northern distribution limit. *Great Basin Nat* **44**:133-139.
- Ehleringer J, Mooney HA, Gulmon SL & Rundel P. 1980. Orientation and its consequences for *Copiapo* (Cactaceae) in the Atacama Desert. *Oecologia* **46**:63-67.
- Gardiner B, Berry P & Moulia B. 2016. Review: wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Sci* **245**:94-118.
- Humphrey RR. 1936. Growth habits of barrel cacti. *Madroño* **3**:348-352.
- MacDougal DT & Spalding ES. 1910. *The water-balance of succulent plants*. Carnegie Institution of Washington Publication No. 141, Washington.
- Morita MT. 2010. Directional gravity sensing in gravitropism. *Annu Rev Plant Biol* **61**:705-720.
- Moulia B, Bastien R, Chauvet-Thiry H & Leblanc-Fournier N. 2019. Posture control in land plants: growth, position sensing, proprioception, balance, and elasticity. *J Exp Bot* **70**:3467-3494.
- Niklas KJ. 1998. The influence of gravity and wind on land plant evolution. *Rev Paleobot Palyno* **102**:1-14.
- Nobel PS. 1981. Influence of photosynthetic active radiation on cladode orientation, stem tilting and height of cacti. *Ecology* **62**:982-990.
- Nobel PS. 1988. *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ortega-Rubio A, Romero-Schmidt H, Arguelles-Méndez C & Castellanos-Vera A. 1995. Effect of wind on a *Ferocactus fordii* var. *fordii* population on Piedra Island, Baja California Sur, Mexico. *J Arid Environ* **31**:15-19.
- Paredes-Aguilar R, Van Devender TR & Felger RS. 2000. Cactáceas de Sonora, México: su diversidad, uso y conservación. IMADES & Arizona-Sonora Desert Museum Press, Tucson.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- Shreve F & Wiggins I. 1964. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, Palo Alto.

Recibido: julio 2019; Aceptado: octubre 2019.
Received: July 2019; Accepted: October 2019.

Sobre el VII Congreso Mexicano de Ecología

Pedro Luis Valverde¹, Fabián Vargas-Mendoza², Fernando Vite¹, Gilberto Hernández-Cárdenas¹ & Humberto Suzán-Azpiri³

Desde su fundación, la Sociedad Científica Mexicana de Ecología (SCME) ha organizado congresos a nivel nacional cada dos años (Cuadro 1). Sin lugar a dudas, la organización de cada congreso ha representado la labor más importante de sus distintos Consejos Directivos. Los congresos han sido fundamentales para darnos una identidad propia en la comunidad científica

mexicana. En este año se celebró el VII Congreso Mexicano de Ecología (VIICME). Dicho congreso tuvo lugar en el Centro de Negocios de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).

Simposios

Los simposios son parte medular de los congresos de ecología. En el VIICME se

CUADRO 1. Relación histórica de los congresos organizados por la Sociedad Científica Mexicana de Ecología.

Ciudad y año	Nombre del congreso	Tema
Morelia, Michoacán, 2006	Congreso Mexicano de Ecología 2006	Perspectivas de la ecología mexicana
Mérida, Yucatán, 2008	Congreso Mexicano de Ecología 2008	La ecología mexicana en tiempos de cambio global
Boca del Río, Veracruz, 2011	III Congreso Mexicano de Ecología	Los retos de la investigación ecológica ante la problemática ambiental
Villahermosa, Tabasco, 2013	IV Congreso Mexicano de Ecología	Conocimiento ecológico para la solución de problemas ambientales
San Luis Potosí, San Luis Potosí, 2015	V Congreso Mexicano de Ecología	Fronteras de la ecología en un mundo globalizado
León, Guanajuato, 2017	VI Congreso Mexicano de Ecología	Teoría y manejo para el funcionamiento del planeta
Juriquilla, Querétaro, 2019	VII Congreso Mexicano de Ecología	Abordando la complejidad de la naturaleza

¹ Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Avenida San Rafael Atlixco 186, Colonia Vicentina, 09340 Iztapalapa, Ciudad de México.

² Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Calle Plan de Ayala s/n, Santo Tomás, 11340 Miguel Hidalgo, Ciudad de México.

³ Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Av. de las Ciencias s/n, 76230 Juriquilla, Querétaro, México.

CUADRO 2. Número de contribuciones en el VII Congreso Mexicano de Ecología.

Temas	Simposios	Ponencias orales	Carteles
Agroecología	1	20	23
Cambio global	1	13	9
Comunidades	2	32	34
Conservación	2	26	15
Ecología de aguas continentales	3	8	3
Ecología del comportamiento	0	8	10
Ecología del paisaje	0	18	2
Ecología evolutiva	3	38	21
Ecología funcional y ecofisiología	2	31	35
Ecología marina	0	18	15
Ecología microbiana	1	8	16
Ecología molecular	0	16	8
Ecología teórica, modelado y estadística	1	7	4
Ecosistemas	4	13	8
Ecosistemas urbanos	1	15	14
Especies invasoras	1	16	14
Fragmentación	0	5	1
Impactos antrópicos	0	18	15
Interacciones	2	37	35
Macroecología y Biogeografía	0	2	5
Manejo de ecosistemas	0	9	6
Modelado de nicho	0	7	8
Paleoecología	0	0	0
Percepción remota	0	4	4
Poblaciones	1	15	17
Restauración	1	14	17
Sistemas socio-ecológicos	1	15	7
Sociedad y educación	0	10	4
Sustentabilidad	1	5	3
Totales	28	428	353



FIGURA 1. Logotipo del VII Congreso Mexicano de Ecología.



FIGURA 2. Portada del Programa y las *Memorias del VII Congreso Mexicano de Ecología*, ambos publicados en línea.



FOTO 1: Clausura del VIICME (4 de octubre de 2019). De izquierda a derecha: Fabián Vargas-Mendoza (Vicepresidente, SCME), Gilberto Hernández-Cárdenas (Secretario, SCME), Hugo Luna Soria (Srio. Acad., FCN, UAQ), Pedro Luis Valverde (Presidente, SCME), Fernando Vite (Tesorero, SCME), Humberto Suzán-Azpiri (Presidente del Comité Organizador Local) y Guadalupe Malda (Comité Organizador Local).

llevaron a cabo 28 simposios con muy diversas temáticas. Con 230 ponencias (212 primeros autores y 715 autores totales), los simposios abarcaron desde procesos y mecanismos en distintos niveles de complejidad y ecosistemas, hasta la ecología evolutiva de taxones modelo. Dada la temática de esta revista, es pertinente destacar los simposios *Ecología evolutiva de agaves en México* y *Ecología de poblaciones: una visión integrada*, este último incluyendo distintos estudios sobre cactáceas y otras suculentas.

Ponencias orales y carteles

Numéricamente, las ponencias orales (428) y los carteles (353) representaron el tipo de contribución más importante del congreso. De entre las 29 temáticas convocadas, destacan, como los campos de estudio más populares, en ponencias orales, Ecología Evolutiva, Interacciones y Comunidades, y en carteles, Interacciones, Ecología Funcional y Comunidades (Cuadro 2). En sentido opuesto, en ponencias orales, Sustentabilidad, Percepción Remota y Macroecología y Biogeografía, así como, Sustentabilidad, Ecología del Paisaje y Fragmentación, en carteles, fueron los temas menos representados (Cuadro 2). El patrón de popularidad de las temáticas es consistente en ambos tipos de contribuciones ($r = 0.829$, $p < 0.0001$). Es de destacar que no se recibieron resúmenes del tema Paleoecología. El número total de autores y coautores de ponencias orales y carteles fue 2064.

Conferencias magistrales

Durante el congreso, seis destacados investigadores expusieron diferentes programas de investigación de relevancia en ecología: Lawrence Venable “¿Quién sigue las reglas? Compromisos, estructura de comunidades

y la importancia de la abundancia en la dinámica de anuales del desierto sonorense”, Arturo Flores-Martínez “Estado y tendencias de la vegetación en México”, Philip Hulme “Fragmentation, disturbance and introduction effort erode the resilience of tropical forests to plant invasions”, Orley R. Taylor “Monarchs, conservation and climate change”, Jean-François Guégan “Neglected tropical diseases: biodiversity-health relationships in the light” y Robert A. Raguso “Complejidad química en la comunicación planta-polinizador: fronteras abiertas de la biodiversidad”.

Otras actividades

Se ofrecieron los siguientes Talleres pre-congreso para estudiantes: “Simbiosis micorrízica” (por Andrés Argüelles Moyao, Julieta Álvarez Manjarrez y Rodolfo Ángeles Argáiz), “Escribe tus artículos y tu tesis en R usando R Markdown” (por Francisco Mora y Nathalia Pérez), “Workshop to form evaluators for the evaluation of species in the red book of IUCN” (por Shelby McCay) y “Organización y análisis de bases de datos de fototrampeo con base en el uso del programa R” (por Eduardo Mendoza Ramírez).

A solicitud de los propios organizadores de los conversatorios, se llevaron a cabo los siguientes: “Mujeres en la ciencia: conversatorio sobre la equidad de género en la ecología de México” (moderadora Julia Carabias Lilo; participantes Carolina Ureta, Alicia Mastretta, Karina Acebedo y Ángela Guerrero) y “Conversatorio para la creación de un Observatorio Nacional para la Sustentabilidad Socioecosistémica (ONSSSES)” (organizadores Andrés Camou Guerrero y Manuel Maass; participantes Patricia Balvanera, Miguel Equihua y Raúl Pineda).

Como en todos los congresos de la SCME, se premiaron a las mejores tesis en los niveles licenciatura, maestría y doctorado, pero por primera vez también se premiaron a los autores de la mejor ponencia oral y el mejor cartel (dos categorías por día, es decir, diez premios en total).

Tema

El ecólogo estadounidense Frank E. Egler (1911-1996) planteó que los ecosistemas no sólo son más complejos de lo que pensamos, sino más complejos que lo que podemos pensar¹. Es interesante que él aplica la idea de complejidad al ecosistema, concepto y paradigma muy popular entre los ecólogos pues encarna en sí mismo la interrelacionalidad y la integralidad. Actualmente, la complejidad en los sistemas ecológicos se percibe más claramente, sobre todo si consideramos que las escalas en tiempo y espacio abordadas son cada vez mayores en las investigaciones. A esto contribuye, de igual manera, la incorporación de otras dimensiones de la realidad como la social, la económica, la cultural, la histórica, la jurídica y hasta la catastrófica. De hecho, actualmente, en ecología, así como en otros campos de la investigación científica, la complejidad se aborda explícitamente. Y si bien en este congreso se presentaron toda una gama de estudios en sistemas que van desde los relativamente menos complejos a los mucho más complejos, las combinaciones de los diferentes enfoques,

los objetos de estudio, las metodologías y las escalas, resultaron en una muestra de cómo los ecólogos en México están abordando la complejidad de la naturaleza.

El logotipo del VIICME (Fig. 1), creado por la artista visual Paula Vite, destaca la figura de un cacomixtle (*Bassariscus astutus*), nombre de origen náhuatl que implica una mezcla de dos animales en uno. Esta especie no es endémica a México pero tiene una amplia distribución en el país y se presenta no sólo en ambientes silvestres sino también en áreas con un cierto grado de urbanización. La parte vegetal en el logotipo está representada por un agave. En el logotipo también se aprecia la Peña de Bernal, uno de los monolitos basálticos más grandes del mundo, muy conocido de Querétaro, el estado anfitrión del congreso.

Este modesto análisis del VIICME nos permite confirmar el profundo interés y desarrollo actual de la ecología en México. Como testimonio de lo anterior están disponibles en publicación electrónica el Programa y las Memorias correspondientes (Fig. 2).

¹ "Ecosystems are not only more complex than we think, but more complex than we can think." Otra versión, también de Egler, es "Nature is not more complicated than you think, it is more complicated than you can think." Pero ambas pueden rastrearse al dicho del biólogo evolucionista H.B.S. Haldane (1892-1964): "... the universe is not only queerer than we suppose, but queerer than we can suppose."

Fe de erratas: En el número 3 del Vol. 64, faltó dar crédito a Ortiz-Martínez Luis Eder como coautor de la ficha sobre *Thelocactus rinconensis* (Poselg.) Britton Rose.

Calendario de Cactáceas y Suculentas Mexicanas 2020



De venta en

- Tigridia (Tienda del Jardín Botánico Exterior de Ciudad Universitaria)
- Laboratorio de Genética y Ecología, Instituto de Ecología, UNAM, Ciudad de México.
- Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Jardín Botánico Regional de Cadereyta Ing. Manuel González de Cosío.
- Laboratorio El Hombre y su Ambiente, UAM-Xochimilco.

Costo: \$30.00

Echinocereus cinerascens var. *septentrionalis* N. P. Taylor



Planta de hábito rastrero, formada por un conjunto de tallos cilíndricos, postrados o erectos, de color verde brillante, de hasta 30 cm de longitud, 6 cm de diámetro y de 6 a 8 costillas. Espinas centrales erectas, de hasta 4.5 cm de largo, de color rosa, naranja, marrón o blanco. Las flores surgen de las areolas situadas por debajo del ápice del tallo, tienen forma de embudo y miden de 7 a 10 cm de alto y de 6 a 12 cm de diámetro. El color de las flores es blanco, rosa pálido o magenta brillante. Los frutos son de color verde y tienen abundantes espinas color café (Anderson 2001. *The cactus family*. Timber Press) y las semillas son de tamaño mediano (1.50 mm ± 0.11, Rojas-Aréchiga 2014).

Es una planta endémica de México que se distribuye en zonas de matorral xerófilo o matorral espinoso de San Luis Potosí y Tamaulipas, por encima de los 1200 m snm (Anderson 2001. *The cactus family*. Timber Press; IUCN 2019. iucnredlist.org). Aunque se reconoce que el cambio de uso de suelo reduce el área de extensión y la calidad del hábitat, no se encuentra en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-Semarnat-2010 y en la Lista Roja IUCN se encuentra dentro de la categoría “preocupación menor” (IUCN 2019. iucnredlist.org).

Cárdenas Ramos Diana

Lab. Genética y Ecología, Instituto de Ecología, UNAM
correo electrónico: dianacardenasr92@gmail.com