

La cochinilla fina del nopal, colorante mexicano para el mundo

Fidel de la Cruz Hernández-Hernández,
Fernando García Gil de Muñoz, Ignacio del Río Dueñas
y Humberto Lanz Mendoza

¿POR QUÉ SON IMPORTANTES LAS COCHINILLAS DEL NOPAL DE MÉXICO?

La llamada cochinilla fina del nopal es un insecto originario de México que vive como parásito en la superficie del nopal verdulero (*Opuntia ficus-indica*), y que no debe confundirse con la “cochinilla de la humedad”, pequeño y conocido crustáceo terrestre. La cochinilla del nopal se cultiva por ciclos de 80-90 días (Figura 1), tiempo en que completa su ciclo de vida; de ese modo se sincronizan las poblaciones del insecto para su cultivo. Su ciclo de vida es muy especial, ya que cada sexo tiene desarrollo propio. Se inicia cuando del huevo sale una larva pequeña (ninfa) parecida a una arañita, la cual camina activamente, se asienta en una penca de nopal y pasa por varias etapas de desarrollo; en algún momento algunas de las ninfas darán origen a hembras y otras a machos. El macho adulto se origina a partir de ninfas que realizan metamorfosis completa, es alado y muere luego de copular. En contraste, la ninfa de la hembra adulta siempre queda fija en una de las caras de la penca del nopal, donde succiona los jugos de los vasos floemáticos de esta planta. Ahí se desarrolla, sufre una metamorfosis incompleta y en estado adulto presenta un aspecto similar a la ninfa, excepto por la reducción de las patas y el aumento de volumen. La hembra ma-

dura pone sus huevos y luego muere (Figuras 2 y 3) (Cruz, 1990).

Existen dos tipos de cochinilla: la silvestre y la fina, o “grana del carmín”. La cochinilla silvestre compren-

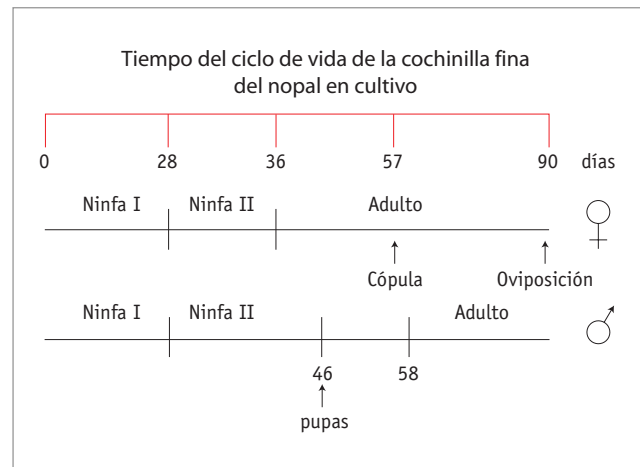
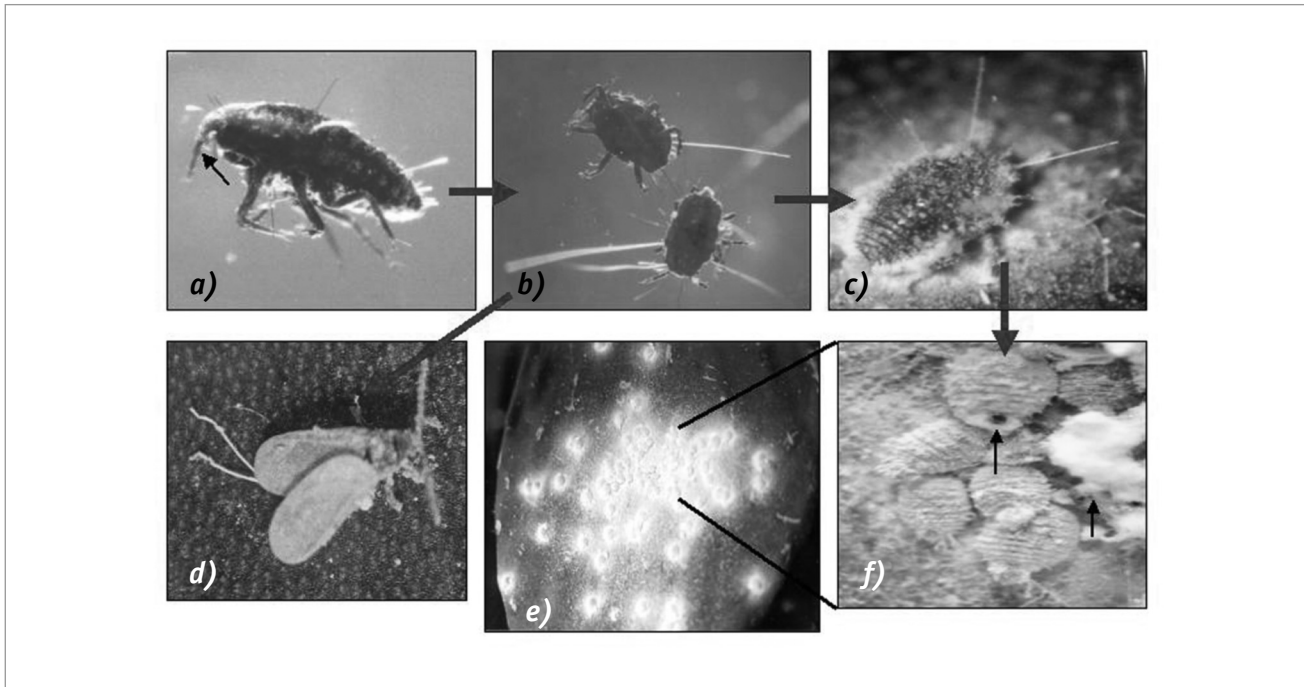
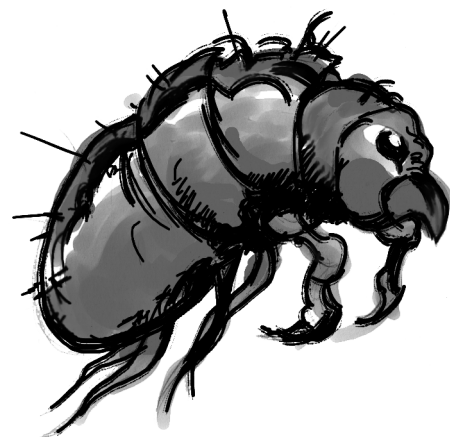


Figura 1. Duración en cultivo de las fases del ciclo de vida de hembras y machos de la cochinilla del nopal. El cultivo de la cochinilla en sistemas tipo cobertizo se ajusta a 90 días (escala superior). Durante este tiempo la hembra pasa por dos estados ninfales, alcanza la madurez sexual alrededor de los 60 días, copula y aproximadamente a los 90 días pone huevecillos y muere (consultar figuras 2 y 3) (escala intermedia). Los machos pasan por dos estados ninfales, al día 46 entran en pupación y aproximadamente al día 58 emergen como adultos sexualmente maduros, los cuales copulan y en alrededor de una semana mueren (consultar figuras 2 y 3) (escala inferior).



de varias especies del género *Dactylopius*, entre las que *D. confertus*, *D. confusus*, y *D. opuntiae* son las más representativas de América (Williams y Watson, 1990). Las cochinillas silvestres tienen gran velocidad de dispersión y crecimiento, lo que las hace capaces de destruir tanto los cultivos de nopal como los de la “grana fina” (Llenderal y Nieto, 1999). La cochinilla fina pertenece a la especie *Dactylopius coccus* Costa, que se cultiva desde tiempos prehispánicos para la producción de la “grana”, colorante rojo (debido a la presencia del ácido carmínico), muy cotizado por sus múltiples usos en la tinción de fibras textiles, la industria de los alimentos cárnicos y lácteos, en productos farmacéuticos, cosméticos y para la elaboración de tinciones histológicas y bacteriológicas. Para la producción de grana se requiere un cultivo intensivo y cuidadoso de la grana fina que implica limpiar, seleccionar y recolectar a mano a los insectos penca por penca. La grana fina se caracteriza por tener un alto porcentaje de ácido carmínico (25 por ciento del peso del animal) y porque su superficie está protegida por un polvo seroso. En contraste, la especie silvestre posee sólo un 10 por ciento de ácido carmínico y está recubierta por fibras de aspecto algodonoso, que dificultan la extracción del pigmento. Las hembras adultas preñadas se cosechan, se secan y son la materia prima para la extracción del colorante.

Figura 2. Aspecto de la cochinilla del carmín en distintas fases del ciclo de vida. La ninfa I recién nacida o “caminadora” (a) busca un sitio sobre la superficie del nopal para fijarse con su estilete bucal (flecha) y a continuación sus patas se atrofian (b). Los insectos viven sobre la superficie de la penca (c y e); en el caso de la hembra (f) se observa la secreción de una cera (coccicerina) y, al final del ciclo, un punto rojo en su orificio anal (flechas) indica el punto de salida de las ninfas desarrolladas a partir de huevos que se incubaron dentro de la cavidad del cuerpo. Las hembras permanecen inmóviles durante toda su vida adulta. En comparación, el macho realiza metamorfosis y el adulto alado busca a las hembras (d).



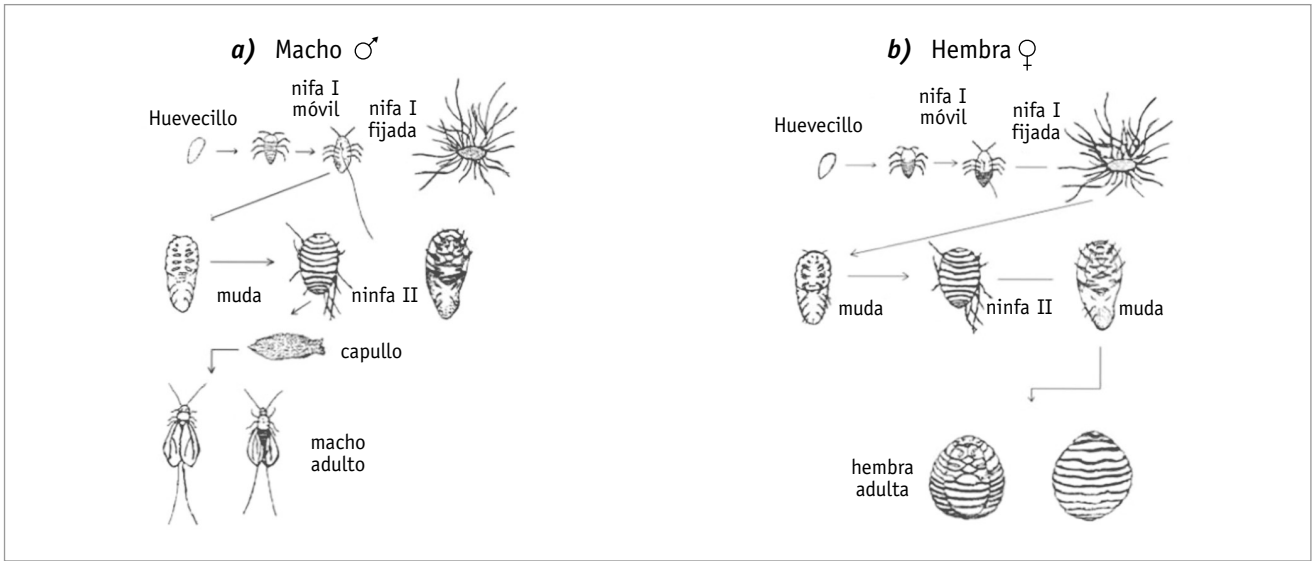


Figura 3. Comparación del desarrollo de machos y hembras de la cochinilla del nopal. El desarrollo de los individuos de ambos sexos de la cochinilla se inicia con la emergencia de larvas caminadoras, que se dispersan en la superficie de los nopales hasta que se fijan por su estilete, el cual atraviesa la cutícula del nopal hasta alcanzar un vaso floemático (ninfia I móvil). Una vez fijadas, las ninfas secretan cera en forma de filamentos o de un polvo blanco que las cubre (ninfia I fijada). A partir de este momento, el desarrollo es diferente entre los sexos. Los machos (a) realizan una muda para generar una ninfia II y posteriormente forman capullos donde se realiza la metamorfosis, de la cual resulta un macho alado, sexualmente maduro. En los siguientes días los machos copulan y mueren. En comparación, las hembras sufren dos mudas más: en la primera se generan las ninfas II y en la segunda las hembras adultas, sin pasar por un estado de pupa. Las hembras adultas copulan y forman huevos, los cuales se desarrollan en su interior. Al término del ciclo, las hembras dan a luz a las ninfas caminadoras (b) (esquema modificado de Viguera, 1992).

Aunque la grana es originaria de México y fue muy apreciada durante la Colonia (Figura 4), España, Chile y Perú son actualmente los principales productores a escala mundial.



Figura 4. Recolectación de la grana por un indígena durante la Colonia. En aquella época la grana se recolectaba y seleccionaba a mano (Tomado de Alzate, 1777).

HISTORIA

En la época precortesiana, la grana fina era llamada por los aztecas *nocheztli*, palabra que quiere decir “sangre de tunas”. La escritura y dibujo en murales y en papel amate son ejemplos del uso de este colorante. La cerámica y textiles del periodo postclásico (900-1521 de nuestra era) también fueron teñidos con grana.

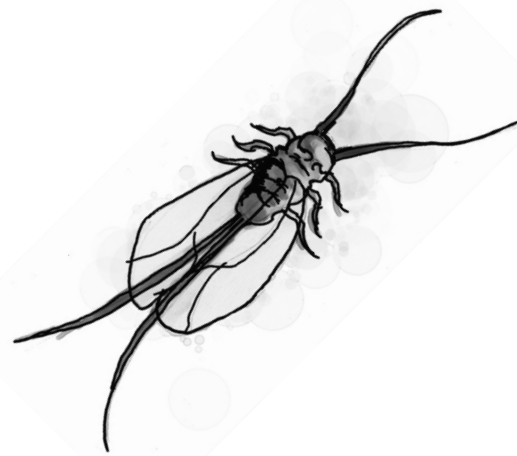
En la época colonial los españoles tomaron el control de la producción de la grana del carmín, manteniéndola como el tercer producto de exportación de México, sólo superado por el oro y la plata. Los españoles, aprovechando que el pigmento se obtiene de las hembras adultas secas del insecto, las cuales parecen semillas y son resistentes como éstas, las exportaron a Europa y, para ocultar el origen del producto y conser-

var el monopolio, decían que eran productos vegetales, lo cual también dio lugar al uso de frases como sembrar, cosechar, etcétera, para referirse a las actividades del cultivo, palabras que aún se conservan. Fueron los mismos españoles, en el siglo XVI, quienes llevaron pencas infestadas de grana fina de la Nueva España a las Islas Canarias para producir pigmento y abastecer el enorme mercado europeo. Cabe mencionar, como ejemplo, del extenso uso de la grana en ese tiempo para los uniformes del ejército inglés, las famosas “casacas rojas”, que se teñían con este pigmento.

Más adelante, durante la guerra de Independencia de México, los primeros ejércitos libertadores operaron en zonas productoras de grana, como los estados de Jalisco, Oaxaca y San Luis Potosí. Cuando el ejército insurgente, comandado por Morelos, ocupó la ciudad de Oaxaca, el principal producto tomado en el saqueo fue la grana. Con el dinero que proporcionó esta grana, Morelos pudo equipar su ejército para continuar con la guerra. Al paso del tiempo, ya cercana la Independencia, los ricos comerciantes graneros (productores de grana) se pusieron a la orden del ejército insurgente, con el propósito de no verse despojados de sus riquezas (Del Río, 2002).

Una vez consumada la Independencia (1821), se siguió cultivando la grana. Sin embargo, a pesar de, o quizá debido a su gran demanda mundial, la grana mexicana empezó a producirse con poco control, usando cepas de grana de baja calidad, cultivadas en regiones poco favorables para el crecimiento del insecto. Esta situación prevaleció hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando el cultivo de la grana decayó definitivamente debido a que, en el marco de la Revolución Industrial, el desarrollo de la química proporcionó tintes sintéticos como las anilinas, que fueron más baratos y fáciles de producir que los colorantes naturales. Las cosas siguieron así hasta la década de 1980, cuando se acumularon evidencias de que los colorantes artificiales pueden producir daños a la salud como cáncer, toxicidad y algunos tipos de alergia, por lo que a mediados de la década se generó una gran demanda de colorantes naturales, oportunidad aprovechada por Chile y Perú, que se convirtieron en los grandes productores mundiales de cochinilla (4 a 5 mil toneladas anuales, www.cochinilla.org). Este repunte de la demanda de

Quando el ejército insurgente,
comandado por Morelos,
ocupó la ciudad de Oaxaca,
el principal producto tomado
en el saqueo fue la grana.
Con el dinero que proporcionó
esta grana, Morelos pudo
equipar su ejército para continuar
con la guerra



Ya en la antigüedad,
los pueblos prehispánicos
conocían la grana y la utilizaban
contra padecimientos
de la cabeza y el corazón

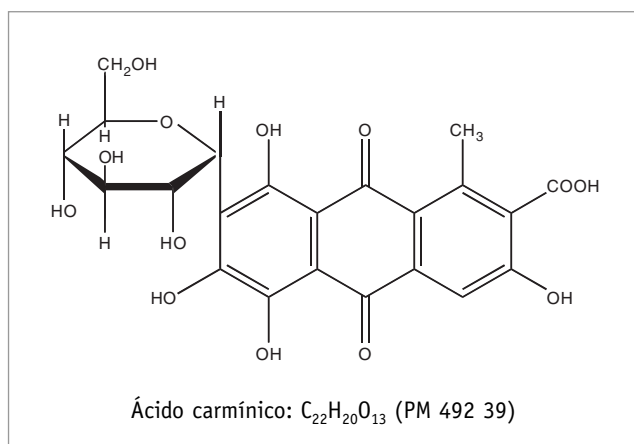


Figura 5. Estructura química del ácido carmínico. El pigmento está formado de una antraquinona hidroxilada unida a una glucosa (flecha) por medio de un enlace carbono-carbono.

ácido carmínico no modificó la situación en México, donde actualmente sólo en los estados de Oaxaca, Morelos y Jalisco se dedican algunas parcelas para la producción de cochinilla fina en pequeña escala, con fines principalmente artesanales.

QUÍMICA Y FARMACIA DE LA GRANA FINA

Como se mencionó, el colorante que se extrae de las hembras adultas de la cochinilla es el ácido carmínico. Este pigmento se localiza en todo el hemocele (cavidad interior del cuerpo) del insecto, pues forma parte de la hemolinfa, y en el interior de varios tipos de células. Químicamente, el ácido carmínico es una metil-antraquinona hidroxilada, unida a una glucosa por enlaces carbono-carbono (Figura 5). Este pigmento tradicionalmente fue usado como purgante y vermífugo (para eliminar lombrices), y se aplicaba en las heridas. Ya en la antigüedad, los pueblos prehispánicos conocían la grana y la utilizaban contra padecimientos de la cabeza y el corazón. Hace unos años se discutió que la grana puede poseer propiedades anticancerígenas. Sin embargo, a pesar de estos antecedentes, las propiedades reales de este pigmento no han sido descritas en detalle y aún no se han estudiado sistemáticamente.

¿DÓNDE Y CÓMO SE PRODUCE EL CARMÍN?

Aunque parezca extraño, actualmente no se sabe qué células del insecto producen el ácido carmínico (o si el insecto alberga un simbiote productor del pigmento), y mucho menos la ruta metabólica para sintetizarlo (Joshi y Lambdin, 1996). Algunos autores han propuesto que los hemocitos o células “sanguíneas” del insecto (Joshi y Lambdin, 1996) son las productoras del pigmento. Pero otros sugieren que el cuerpo graso (órgano principal del metabolismo intermediario en los insectos, que funciona como depósito de proteínas, lípidos y azúcares) es el productor (Llanderal y Nieto, 1999). Estas hipótesis no son mutuamente excluyentes, ya que se ha descrito que en los insectos varios tipos de células de la hemolinfa se producen en el cuerpo graso.

¿PARA QUÉ LE SIRVE EL CARMÍN A LA COCHINILLA?

Dado que el insecto produce una cantidad significativa de carmín, surge la pregunta: ¿cuál es el papel biológico de este pigmento? Existen antecedentes que permiten proponer una explicación del papel que juega el ácido carmínico en la interacción de *Dactylopius* con otros organismos. Se ha observado que hormigas de la especie *Monomorium destructor* son repelidas por el ácido carmínico. Por otra parte, se conoce que el “gusano telero” (*Laetilia coccidivora*), un depredador de la grana, almacena en su cuerpo el colorante y lo arroja cuando se ve amenazado por otros depredadores (Eisner y Nowicki, 1980). Estas observaciones sugirieron que el carmín puede ser un repelente de agresores, aunque no se ha determinado si esto ocurre mediante un efecto fisiológico sobre el atacante, por un efecto de “advertencia” debido al color, o ambos.

En busca de una explicación, en nuestro grupo de trabajo analizamos las reacciones que pudiera tener *in vitro* la hemolinfa de la grana ante estímulos químicos producidos por componentes de microorganismos potencialmente patógenos. En los artrópodos, el sistema inmunitario se caracteriza por ser inespecífico, carecer de memoria y poseer mecanismos efectores dependientes de reacciones en cascada. Los principales mecanismos inmunitarios descritos son el sistema de la profenoloxidasas, la coagulación, la nodulación, la fagocitosis y la síntesis de péptidos antimicrobianos (Figura 6) (Stanley-Samuelson y colaboradores, 1991).

En nuestro laboratorio observamos que cuando la hemolinfa, que contiene ácido carmínico, se pone en contacto con componentes de paredes celulares de bacterias y hongos, los cuales activan la respuesta inmunitaria de artrópodos, ocurre la formación de un coágulo, donde las proteínas son “secuestradas”, desapareciendo además el color rojo de la fase soluble

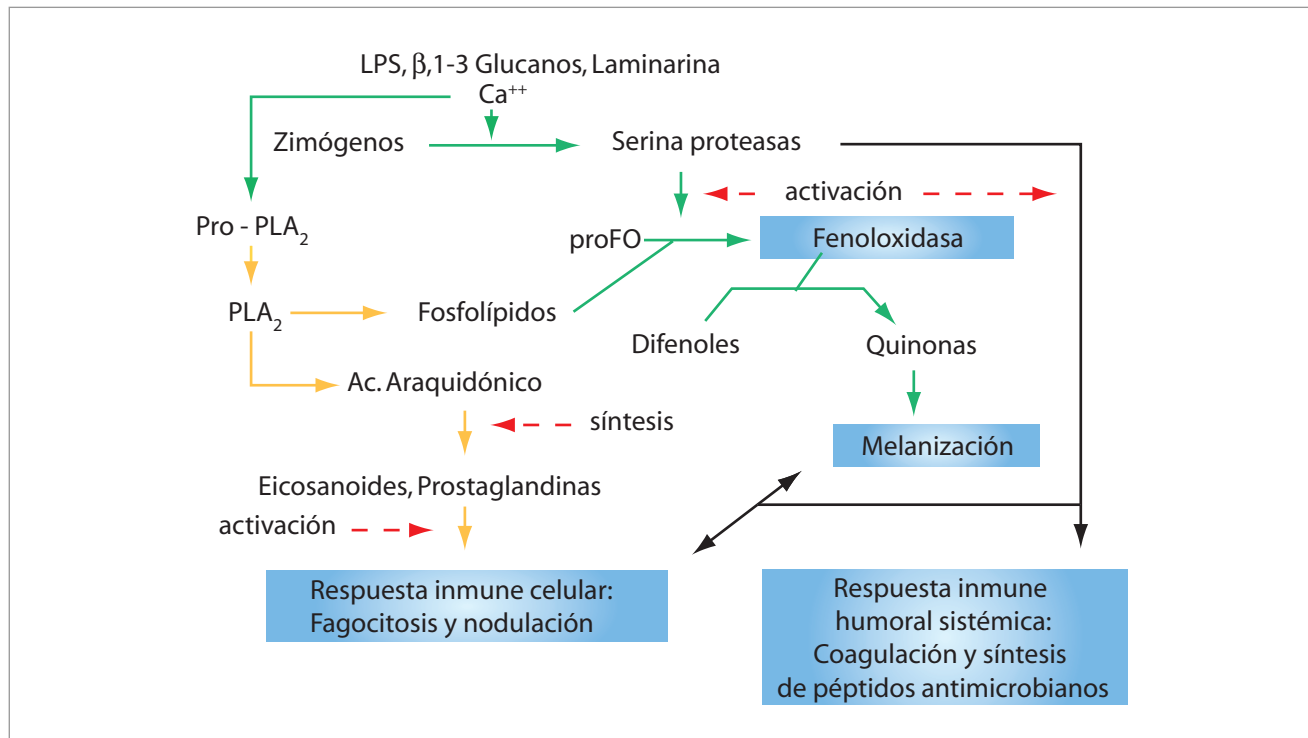


Figura 6. Rutas metabólicas principales descritas para el sistema inmunitario de los insectos. Los mecanismos de defensa de los insectos son la vía de la respuesta inmunitaria humoral, iniciada por la activación de proteasas de serina, las cuales, a su vez, activan a la profenoloxidasas para conducir a la melanización, la coagulación y la síntesis de péptidos antimicrobianos. Por otra parte, la fagocitosis y nodulación corresponden a las vías de respuesta celular. LPS.- Lipopolisacárido. proFO.- Profenoloxidasas. Pro-PLA₂.- fosfolipasa tipo 2 inactiva. PLA₂.- fosfolipasa tipo 2 activa.

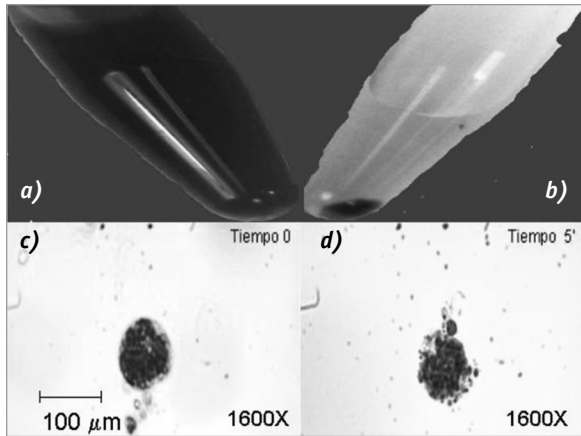


Figura 7. La coagulación en la hemolinfa de *D. coccus*. La hemolinfa de la cochinilla (a) reacciona en el tubo de ensayo a la presencia de moléculas de superficie microbiana formando un coágulo donde queda atrapado el ácido carnínico (b). Las células del cuerpo graso del insecto (imágenes inferiores), aparentes productoras del ácido carnínico, responden a la presencia de componentes microbianos. Antes del contacto con el inductor de la respuesta, las células albergan gránulos que contienen ácido carnínico (c), los cuales liberan al ser estimuladas por polisacáridos como el zimosán y que reaccionan formando un pigmento negro, posiblemente melanina (d).

El ácido carnínico participa en el sistema inmunitario de la cochinilla del nopal. Ahora se necesita estudiar la biología molecular de los procesos inmunitarios de estos insectos, buscando las enzimas implicadas y sus genes

(Figura 7) (García-Gil y colaboradores, 2002). El mismo efecto ocurre con el contenido del intestino de “gusanos teleros” que se han alimentado de la hemolinfa de las cochinillas, lo que indica, además, que este depredador posee un mecanismo anticoagulante. Estas observaciones sugieren que en los eventos de coagulación el ácido carnínico participa como sustrato, un dato novedoso (Hernández-Hernández y colaboradores, 2003).

Por otra parte, se ha observado que en los insectos la ruta de coagulación y nodulación está regulada por la síntesis de eicosanoides (como las prostaglandinas), compuestos que son derivados de ácidos grasos de 20 carbonos, cuyo principal representante es el ácido araquidónico, producido a partir de los fosfolípidos de membrana. En los artrópodos las prostaglandinas son consideradas mediadores de la respuesta inmunitaria celular. Su síntesis es catalizada por enzimas llamadas ciclo-oxigenasas; los inhibidores de estas enzimas, como la dexametasona o la indometacina, bloquean en los insectos la respuesta inmunitaria celular, disminuyendo significativamente los mecanismos de fagocitosis, nodulación y coagulación, entre otros (Stanley-Samuelson y colaboradores, 1991). En la grana fina comprobamos que no ocurre coagulación cuando se añaden a la hemolinfa los inhibidores estándar de formación de prostaglandinas y de la profenoloxidasas, lo que sugiere que el sistema inmunitario de la cochinilla fina también es dependiente de mediadores del tipo de los eicosanoides.

¿QUÉ FALTA POR ESTUDIAR EN LA HEMOLINFA DE LAS COCHINILLAS?

Resumiendo, nuestros datos nos permiten señalar que el ácido carnínico participa en el sistema inmunitario de la cochinilla del nopal. Ahora se necesita estudiar la biología molecular de los procesos inmunitarios de estos insectos, buscando las enzimas implicadas y sus genes.

Se puede prever que los conocimientos que se obtengan a partir del estudio de la inmunología de las cochinillas tendrá aplicaciones de diversa índole, entre las cuales están conocer la ruta de la síntesis del carnín, identificar productos útiles para nuevas aplicaciones comerciales, el combate a insectos depredadores de

cultivos de nopal, tuna y grana fina y, en general, el diseño y elaboración de métodos de control de insectos dañinos que podrían ser aplicables a otros cultivos. Por otra parte, también se obtendrán conocimientos respecto a la interacción de los insectos con parásitos, lo cual tendrá aplicación en el estudio de la transmisión de enfermedades por insectos vectores.

Bibliografía

- Alzate, J. A. (1777), *Memoria sobre la naturaleza, cultivo y beneficio de la grana*, edición facsimilar preparada y comentada por Sánchez Silva, C. y A. De Ávila Blomberg para el Archivo General de la Nación (2001), pág. 239.
- Chapman, R. F. (1998), *The insects. Structure and function*, 4a. edición, Cambridge University Press, pág. 770.
- Hernández López, J., T. Gollas y F. Vargas Albores (2000), “El sistema de activación de la profenoloxidasa en crustáceos: un modelo de reconocimiento y defensa de los invertebrados”, *Ciencia*, 51, 21-26.
- Sugumaran, M., y M. Kanost (1993), “Regulation of Insect hemolymph phenoloxidasas”, en Beckage, N. E., S. N. Thompson, B. A. Frederick (editores), *Parasites and Pathogens, I*, San Diego, Academic Press, pág. 317-342.

Referencias citadas

- Del Río e I. Dueñas, (2002), “La importancia de la grana del carmín o cochinilla fina en la Independencia Mexicana”. II Congreso Internacional de Grana Cochinilla y Colorantes Naturales, *Memorias*, Guadalajara, México, pág. 62.
- Eisner, T., y T. Nowicki, (1980), “Red cochineal dye (carminic acid): its role in nature”, *Science*, 208, 1039-1041.
- Fujii, I., Z-G. Chen, Y. Ebizuka y U. Sankawa (1991), “Identification of emodianthrone oxygenase in fungus *Aspergillus terreus*”, *Biochemistry International*, 25, 1043-1048.
- García-Gil F., y colaboradores (2002), “Efecto de inhibidores de la síntesis de prostaglandinas en la coagulación del homóptero *Dactylopius coccus* (cochinilla del nopal)”, *Investigación Universitaria Multidisciplinaria* (Universidad Simón Bolívar, México) 1, 15-19.
- Hernández-Hernández, F.C., y colaboradores (2003), “Carminic acid dye from the homopteran *Dactylopius coccus* hemolymph is consumed during treatment with different microbial elicitors”, *Archives of Insect Physiology and Biochemistry* 54, 37-45.
- Joshi, P., y P. Lambdin (1996), “The ultrastructure of hemocytes in *Dactylopius confusus* (Cockerell), and the role of granulocytes in the synthesis of cochineal dye”, *Protozoology* 192, 199-216.

Los conocimientos que se obtengan a partir del estudio de la inmunología de las cochinillas tendrá aplicaciones de diversa índole, entre los cuales están el combate a insectos depredadores de cultivos de nopal



- Llanderal C y H., R. Nieto (1999), "Características biológicas de la grana cochinilla del nopal (*Dactylopius coccus* Costa)", en Llanderal, C. y R. Nieto (editores), *Cría de la grana cochinilla del nopal para la producción de su pigmento*, Montecillo, Texcoco, Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados, p. 23-30.
- Stanley-Samuelson D. W. y colaboradores (1991), "Insect immune response to bacterial infection is mediated by eicosanoids", *Proceedings of the National Academy of Sciences* (EUA) 88, 1064-1068.
- Vigueras, G. (1992), *Influencia de los macro y microelementos en el desarrollo, crecimiento y producción de la grana o cochinilla Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae), tesis profesional de licenciatura en biología, Universidad de Guadalajara, 75 págs.
- Williams D. J., y W. G. Watson (1990), *The Scale Insects of the Tropical South Pacific Region, Part 3, The Soft Scales (Coccidae) and other families*, Londres, CAB International Institute of Entomology, págs. 267.

Fidel de la Cruz Hernández-Hernández es biólogo experimental por la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, y maestro y doctor en ciencias por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav). A la fecha es jefe del laboratorio de entomología molecular del departamento de Patología Experimental del Cinvestav y colabora con la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Simón Bolívar, México. Sus líneas de investigación incluyen la biología molecular de insectos vectores de enfermedades como el mosquito *Anopheles*, transmisor de la malaria, y la chinche besucona, transmisora de la enfermedad de Chagas. Por otra parte, aplica la biología molecular al estudio de la inmunología de la grana cochinilla.
cruzacruz@mail.cinvestav.mx

Fernando Luis García Gil de Muñoz es biólogo por la Universidad Simón Bolívar, maestro en ciencias y actualmente estudiante de doctorado en el Departamento de Patología Experimental del Cinvestav. Es profesor de carrera en la facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Simón Bolívar. Realiza trabajos de investigación en el área de la inmunología y biología molecular de insectos, particularmente el mosquito *Anopheles*, y en el insecto *Dactylopius coccus* o cochinilla fina del nopal.
dactylopius@hotmail.com

Ignacio del Río Dueñas es licenciado en ingeniería química por la Universidad Nacional Autónoma de México y actualmente es director general de la empresa Colorantes Naturales de Oaxaca A.P.L.R. Tlapanochetzli, con sede en Coyotepec, Oaxaca, donde se tiene en funcionamiento el único centro, a nivel mundial, que se dedica a la difusión, cultivo y aplicaciones de la grana, incluyendo apoyo a la investigación. Está próximo a publicar, con el apoyo del gobierno del estado de Oaxaca, un libro con la recopilación de la historia de la grana desde los tiempos prehispánicos.
aztecacolor@infoseq.com

Cuahtémoc Juan Humberto Lanz Mendoza es biólogo por la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, de la UNAM, y maestro y doctor en ciencias por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Es director del área de enfermedades transmitidas por vectores, en el CISEI-INSP. Sus investigaciones versan sobre la respuesta inmunitaria en insectos vectores de enfermedades. Se encuentra entre los primeros investigadores de la respuesta inmunitaria en invertebrados.
humberto@insp.mx

