

Nanotecnología agrícola:

Caso 1. Liberadores de feromonas,
Caso 2. Establecimiento de gramíneas en condiciones semiáridas

Cibrián-Tovar, J.^{1,3}; Quero-Carrillo, A.²; Muñiz-Merino, M.^{1,3}; Hernández-Guzmán, F.J.²; Cibrián-Jaramillo, A.⁴; Manzano-Camarillo, M.⁵

¹ Programa de Fitosanidad Entomología y Acarología *Campus* Montecillo, ² Programa de Ganadería, ³ LPI-16 Innovación Tecnológica Colegio de Postgraduados, km 36,5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México 56230.

⁴ Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad, CINVESTAV, Irapuato, Guanajuato C.P. 36821.

⁵ Sistemas Ambientales, ITESM. *Campus* Monterrey.

Autor Responsables: jcibrian@colpos.mx

RESUMEN

La nanotecnología ofrece la oportunidad de integrar avances en el desarrollo de estrategias en el sector agrícola. En el caso uno se presenta una estrategia para el control biológico de la palomilla *Cactoblastis cactorum* L. (Lepidoptera: Phycitinae), plaga de varias especies de cactáceas, para quien la encapsulación de feromonas y uso de trampas ofrece una solución innovadora para proteger la producción de nopal en México. En el caso dos se presenta una propuesta mediante el encapsulado de la cariósida (semilla agrícola de gramíneas), para mejorar la germinación y el vigor de plántulas de pastos nativos que enfrentan ambientes adversos y sequía inter-estival, con el fin de mejorar la cobertura de suelo en zonas semi-áridas altamente degradadas por el sobre pastoreo, mejorando la retención del suelo y la humedad.

Palabras clave: polímeros, tasa de liberación, volátiles, septos de caucho, nanoesferas.



INTRODUCCIÓN

Se define a la nanotecnología como el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, dispositivos y sistemas a escala nanométrica de 1-100 nm (1×10^{-9}) (Sharma 2012). En esta contribución se explora su aplicación en el área agrícola, con dos propuestas: su uso en la liberación de feromonas para insectos, y la dispersión de nutrientes para pastos.

CASO 1: Liberadores de feromonas

En el mundo viviente se producen diversos compuestos químicos que son liberados al medio; estas sustancias provocan cambios fisiológicos o de comportamiento en los organismos que los reciben, y establecen una trama fina de relaciones químicas entre unos y otros. Así, todos los organismos producen señales químicas y, en reciprocidad, todos responden a las emisiones químicas de otros organismos (Wilson, 1971). Estos mensajeros químicos se conocen como semioquímicos, del griego “*semeion*”, que significa señal, liberados por plantas, insectos y otros organismos. Los insectos los utilizan como fuente de información del medio que los rodea, gracias a que su sentido del olfato está muy desarrollado; se localiza en antenas, palpos maxilares y, en menor proporción, en las patas y otras estructuras orgánicas (Vogt, 2005).

Hay dos grandes grupos de semioquímicos; unos actúan a nivel interespecífico y son conocidos como aleloquímicos, y otros a nivel intraespecífico y se denominan feromonas. En esta contribución se hace referencia a estas últimas y se utilizará como ejem-

plo la feromona sexual de *Cactoblastis cactorum* L. (Lepidoptera: Phycitinae), conocida como la palomilla, la cual se alimenta de varias especies de cactáceas (Zimmerman *et al.*, 2001); en México se encuentra en abundancia (Figura 1).

A la fecha la palomilla del nopal aún no se encuentra en México, aunque los estudios de Hight y Carpenter (2009) predicen su avance de 160 km por año (Figura 2).



Figura 1. Hembra de la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) con palpos maxilares que se proyectan hacia delante.

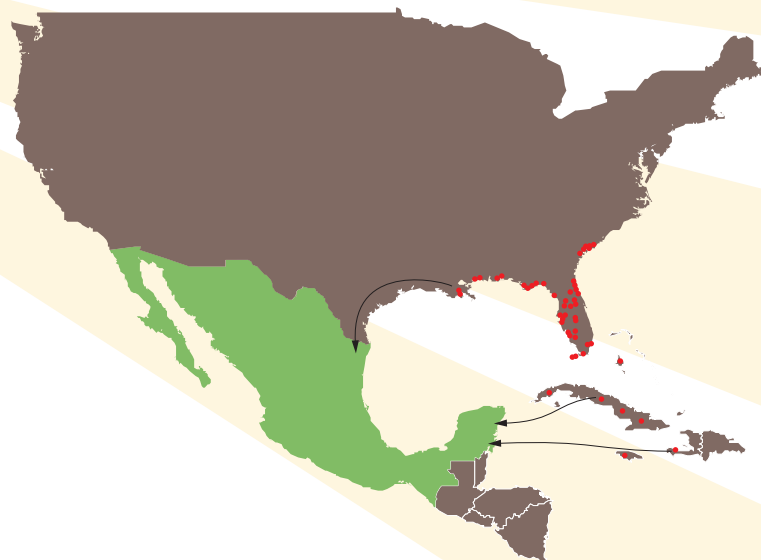


Figura 2. Posibles sitios de entrada de la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) a México. Los puntos rojos indican la presencia de la palomilla y las líneas negras muestran las posibles vías de entrada de la plaga a México desde el extranjero (Hight y Carpenter, 2009).

El avance de ésta hacia México debe ser de gran preocupación, ya que amenaza a las especies mexicanas de *Opuntia* spp. y a la producción nacional de nopal y tuna (Zimmerman *et al.*, 2001). El daño que producen las larvas de quinto instar de *C. cactorum* en un día, es devastador (Figura 3 A). Se destaca que a diferencia de otros insectos, las larvas atacan en conjunto (Tifton Georgia, EEUU, 2010).

La hembra de esta especie produce alrededor de 200 nanogramos (200×10^{-9} g) en su glándula de feromona sexual (Figura 3 B) de las cinco a las seis de la mañana (Heath *et al.*, 2006), la misma hora en que los machos se activan para ubicar a las hembras mediante sus antenas. Las sustancias que integran la feromona sexual de la palomilla del nopal son: (Z, E)-9,12 tetradecadien-1-ol acetato, (Z, E)-9,12 tetradecadien-1-ol y (Z)-9-tetradecen-1-ol acetato. El reto es tener un dispositivo que libere estos compuestos en las mismas proporciones que la hembra para atraer al macho a la trampa, y así determinar el avance de la palomilla hacia México.

Actualmente se utilizan septos de caucho (Figura 4 A) cargados con feromona sintética (1 mg) y colocados en trampas, como se indica en la Figura 4 B, y útiles por 30 días en campo; liberan feromona las 24 horas.

A la fecha se han colocado 1200 trampas distribuidas desde Cancún, QR hasta el Río Bravo en Tamaulipas, para detectar el ingreso de este insecto a México y actuar en consecuencia.

Al considerar el tamaño de los insectos, se puede deducir que las glándulas que producen estas sustancias son aún más pequeñas y, por lo tanto, la cantidad producida de feromona es aún menor. Así, lo que es una desventaja en la investigación inicial, ya que para aislar e identificar las sustancias se trabaja a partir



Figura 3. A: Daño causado por larvas de la palomilla del nopal en un cladodio de *Opuntia* spp. B: La flecha señala la glándula de feromona de la palomilla del nopal.



Figura 4. A: Septo de caucho. B: Trampa de ala provista con un septo de caucho (arriba) de la feromona sexual de *C. cactorum*, Tamaulipas, México.

de cantidades muy reducidas, se convierte en una ventaja cuando ya se tienen los compuestos identificados y sintetizados porque no se necesitan cantidades mayores a 10 gr para vigilar varios cientos de hectáreas. Por ejemplo, la hembra de la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) libera “puffs” de 10-20 ng ($10-20 \times 10^{-9}$ g) por hora, o bien, 0.000000010 g ha⁻¹ (Heath *et al.*, 2006). A la fecha se utilizan varios dispositivos, como los microcapilares, fibrillas, encapsulados y microesferas, que cumplen su papel como liberadores de feromonas. Sin embargo, el potencial de nano-liberadores y nano cápsulas, principalmente de polímeros (Serban *et al.*, 2010) o de Quitosan, pueden competir favorablemente con las emisiones de insectos en campo y funcionar sólo a la hora prevista (de 5:00 am a 6:00 am) y dar un gran impulso al manejo de insectos mediante feromonas.

La investigación de nano cápsulas está basada en polímeros y encaminada no sólo a la liberación de feromonas, sino de otros agentes de protección de cultivos; por ejemplo,

insecticidas, fungicidas y herbicidas, entre otros. La liberación de feromonas a escala nano está siendo desarrollada (Serban *et al.*, 2010) y será en cantidades menores de las que se usan hoy en día y en horarios específicos. La aplicación de estas tecnologías novedosas seguramente tendrán impacto en la técnica de interrupción del apareamiento de *Cactoblastis cactorum*, ya que se podrán diseminar nano cápsulas o nano esferas en un área determinada, de tal forma que los machos se confundan ante una multitud de estímulos falsos y les sea difícil encontrar a las hembras reales. En Sinaloa, México se usan liberadores micro para el manejo del gusano alfiler (*Keiferia lycopersicella*) con una carga de 60-80 g ha⁻¹, pero si se usaran nano liberadores se necesitarían cantidades menores a 1.0 g ha⁻¹, y con nanotecnología se pueden diseñar nanoliberadores basados en polímeros y geles que ofrecen las siguientes ventajas:

Uso de menor cantidad de sustancias activas (nanogramos).

Estabilización de los compuestos feromonales ante la degradación por luz, aire, humedad y microorganismos.

Menor contaminación, ya que un gramo cubre varias hectáreas.

Intervalos de aplicación más largos, debido a las propiedades de los polímeros que responden sólo a una determinada temperatura y no se liberan las 24 horas

Disminución de costos

En insectos se han usado nano partículas cargadas con aceite de ajo para el manejo de *Tribolium castaneum* con un éxito aceptable (Yang *et al.*, 2009); sin embargo, hay que asegurarse de que no haya riesgos nano-toxicológicos y que éstos sean conocidos y reducidos (por debajo de un nivel crítico) (Moniruzzaman *et al.*, 2007; Serban *et al.*, 2010). Su uso en medicina humana (en particular para enfermedades crónicas y degenerativas) apoya la viabilidad de su empleo en agricultura.

CASO 2. Establecimiento de gramíneas en condiciones semiáridas

La aplicación de técnicas de encapsulado a cariósides de gramíneas forrajeras en condiciones de secano es de gran interés, ya que esta tecnología puede mejorar la germinación y el mejor desarrollo de plántulas, incrementando el reclutamiento de nuevos individuos en pastizales de regiones áridas y semiáridas, las cuales están fuertemente expuestas a la erosión y tienen un elevado porcentaje de suelo desnudo (Quero *et al.*, 2010) (Figura 5).

Se ha estudiado el efecto de dióxido de titanio (TiO₂) en forma de nano partículas y no nano sobre la germinación y crecimiento de plántulas de espinaca evaluados por Zheng *et al.* (2005), quienes reportaron incrementos de 0.25% a 4% en la germinación y vigor de semilla estimulada con la forma nano particulada (NP). Gracias a su densidad de semilla por kilogramo y a su rapidez para establecerse, las gramíneas representan un aliado para proteger al suelo de la erosión. En estudios realizados, las plántulas presentaron mayor peso seco, concentración de clorofila y tasa

Figura. 5. Grandes superficies del territorio nacional se encuentran en condiciones de baja cobertura de suelo.



fotosintética; sin embargo, el efecto en la semilla es aún desconocido. Gao *et al.* (2007) proponen que el efecto de las NP en espinaca es sobre la absorción de la luz, su transformación a electrones, y activación de la RuBis-co. En pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), la eliminación de estructuras que envuelven el cariósido tiene un efecto positivo sobre la germinación (Quero *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2012a). Esta práctica promueve la emergencia de plántulas al momento de la siembra, alcanzando prácticamente la totalidad de la viabilidad de la cariósido (Cuadro 1). De forma similar, Hernández *et al.* (2012b) indican que la selección de cariósidos de mayor tamaño aumentó el crecimiento inicial de las plántulas, siendo éstas más grandes y vigorosas (Figura 6) en los periodos críticos de establecimiento; sin embargo, este beneficio no se ve reflejado en condiciones de campo (datos no mostrados).

Debido al tamaño de las cariósidos, un kg de éstas contiene 1 400 000 individuos. Las plántulas recientemente emergidas son pequeñas y de lento crecimiento, por lo que en tierras de reconversión productiva con mayor contenido de maleza se han desarrollado estrategias de siembra para identificar a Banderita de la maleza anual, lo que es informativo para el manejo exitoso de establecimiento en esta especie (Figura 7).

En la mayoría de los cultivos, cariósidos de mayor tamaño producen plántulas vigorosas, que pueden enfrentar la sequía interestival, factor limitante en el establecimiento de praderas en zonas áridas y semiáridas. Las tierras de reconversión productiva poseen bancos de semilla abundantes, lo que dificulta el manejo de protección a la especie de interés. La siembra discontinua de cariósidos (mucho, nada, mucho, nada) ayuda a la diferenciación de la especie de interés y a su protección para lograr su establecimiento.

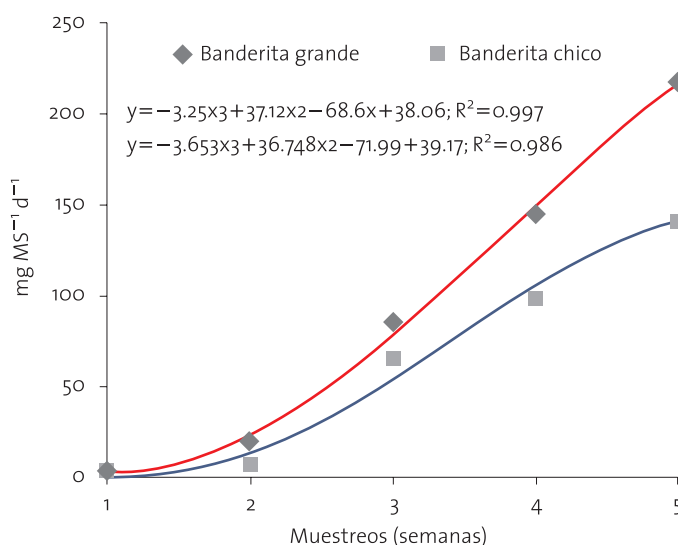


Figura 6. El desarrollo de plántula en dos genotipos de diferente tamaño de cariósido.



Figura 7. Siembra discontinua de cariósidos permite diferenciar la especie de interés

Cuadro 1. Caracterización de semilla (cariósidos) de cuatro gramíneas para zonas áridas, evaluadas para germinación y viabilidad, con diferente beneficio y clasificación.

Especie	1	1a	2	2a	3	4	5	6	7	8	9
Buffel	2606	384	649	1540	11	21	97	40	86	11	11
Navajita	590	1695	513	1949	13	36	98	62	84	84	96
Rhodes	293	3413	229	4367	11	24	98	32	88	55	88
Banderita	962	1039	714	1401	11	24	97	23	92	74	96

Peso de mil diásporas (mg); 1a: Número de diásporas (miles) por kg 2: Peso de mil cariósidos (mg); 2a: Número de cariósidos (miles) por kg. 3: contenido de humedad (%); 4: Pureza física de diásporas (%)*; 5: Pureza física de cariósidos; 6: Número de cariósidos en 100 diásporas; 7: Viabilidad de cariósidos (%); 8: Germinación diásporas (%); 9: Germinación cariósidos (%). *Pureza física= Peso cariósidos x 100 / peso total muestra.

CONCLUSIONES

El uso de la nanotecnología tiene gran potencial en el control de plagas de cactáceas y en el establecimiento de gramíneas en zonas semiáridas y de secano agrestes. La innovación de nuevas técnicas en la escala micro y nano, ofrecen alternativas en la solución de problemas del agro mexicano.

AGRADECIMIENTOS

A la LPI 16 "Innovación Tecnológica" del Colegio de Postgraduados, por su apoyo en la consecución de los experimentos descritos. Al CONACyT, por las becas de doctorado del tercer y cuarto autor.

LITERATURA CITADA

- Gao F., Liu C., Qu C., Zheng L., Yang F., Su M., Hong F. 2008. Was improvement of spinach growth by nano-TiO₂ treatment related to the changes of Rubisco activase? *Biometals*. 2008 21(2): 211-217.
- Heath, R. R., Teal P. E. A., Epsky N. D., Dueben B., Hight S. D., Bloem S., Carpenter J. E.; Weissling T. J.; Kendra P. E., Cibrian-Tovar J. 2006. Pheromone-Based Attractant for Males of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Environmental Entomology* 35 (6): 1469-1476.
- Hernández G.F.J., García de los S.G., Ortega C.M.E. Pérez P.R., Quero C.A.R. 2012a. Tamaño de cariósipide y desarrollo de gramíneas para temporal. *In: Memorias 2da Reunión Internacional Conjunta de Manejo de Pastizales y Producción Animal*. Zacatecas, Zac. pp:172-176.
- Hernández G.F.J., Pérez P.R., García de los S.G., Ortega M.E.C., Ramírez E.J., Carranco M.E., Quero C.A.R., Plascencia R. 2012b. Siembra y establecimiento de cuatro gramíneas con diferentes métodos y unidades de dispersión. *In: Memorias 2da Reunión Internacional Conjunta de Manejo de Pastizales y Producción Animal*. Zacatecas, Zac. pp:167-171.
- Hight S.D., Carpenter J.E. 2009. Flight phenology of male *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) at different latitudes in the Southeastern United States. *Florida Entomologist* 92(2): 208-216.
- Moniruzzaman M., Sabey C.J., Fernando G.F. 2007. Photoresponsive polymers: an investigation of their photoinduced temperature changes during photoviscosity measurements. *Polymers* 48, 255-263.
- Quero-Carrillo A.R., Hernández G. F.J., Hernández G.A., Pérez P.J., Mendoza P.S.I. 2010. Análisis de los factores que inciden en el establecimiento de pastos perennes en condiciones de temporal de zonas áridas. *In: Contexto Actual del Uso, Manejo y Tendencias de Investigación en Pastizales y Recursos Forrajeros en México*. I Congreso Internacional de Manejo de Pastizales Ma. E Velasco Z, RA. Perezgrovas G, Ma. de L Adriano A, MS Figueroa (eds.) UA de Chiapas. Vol. II. Resúmenes in extenso. pp: 248-254. Tuxtla Gutiérrez, Chis. 13 al 15 de Octubre.
- Serban F.P., Oancea F., Siciua O.A., Constantinescu F., Dinu S. 2010. Responsive Polymers for Crop Protection. *Polymers* 2, 229-251; doi: .3390/polym2030229.
- Sharma N.K. 2012 *Nanotechnology: Synthesis and Applications*, Akhand Publishing House United Kingdom, 259 p.
- Wilson E.O. 1971. *The insect societies*. Cambridge, MA, USA: The Belknap Press of Harvard University Press. 234 p.
- Yang F.L., Li X.G., Zhu., Lei C.L. 2009. Structural characterization of nanoparticles loaded with garlic essential oil and their insecticidal activity against *T. castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(21): 10156-10162.
- Zheng L., Hong F., Lu S., Liu C. 2005. Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biol Trace Elem Res*. 104(1): 83-92.
- Zimmermann H.G., Moran V.C., Hoffmann J.H. 2001. The renowned cactus moth, *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae): its natural history and threat to native *Opuntia* floras in Mexico and the United States of America. *Florida Entomologist* 84, 543-551.

