

Repelencia de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) a película plástica con nanopartículas cargadas con aceite esencial en tomate bajo condiciones controladas

Bactericera cockerelli Sulc. (Hemiptera: Triozidae) repellency to plastic foil with nanoparticles loaded with essential oil in tomato under controlled conditions

Agustín Hernández-Juárez^{1*}, Luis Alberto Aguirre-Urbe¹, Juan Mayo-Hernández¹, Julio César Chacón-Hernández², Epifanio Castro-del Ángel¹

¹Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

²Instituto de Ecología Aplicada, Universidad Autónoma de Tamaulipas, División del Golfo 356, colonia Libertad, CP 87019, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

*Autor para correspondencia: chinoahj14@hotmail.com

Resumen

La nanotecnología es un medio eficaz que puede utilizarse en plaguicidas con alta especificidad, ya que permite liberarlos en forma controlada. El suministro de plaguicidas se realiza a través de polímeros a nano-escala, los cuales presentan mayor estabilidad en su formulación, capacidad para lenta liberación de ingredientes activos y mayor actividad; esta actividad busca incorporar moléculas bioactivas en películas plásticas para desarrollar, *a posteriori*, acolchados que protejan los cultivos y liberen las moléculas que repelen las plagas. Se evaluó el efecto de repelencia de nanopartículas poliméricas cargadas con 1, 3 y 5% de tres aceites esenciales: albahaca *Ocimum basilicum*, canela *Cinnamomum verum* y citronela *Pelargonium* sp., las cuales se incorporaron en película plástica sobre *Bactericera cockerelli* en tomate *Solanum lycopersicum* var. Río Grande, mediante bioensayos de Libre Elección y de No-Elección, tanto en laboratorio como en invernadero. Se registró el arribo de los insectos sobre la planta y la oviposición, a la vez que se obtuvo el índice de repelencia. Los datos se evaluaron mediante un análisis de varianza y una prueba de medias de DMS. La película plástica en general es efectiva para repeler adultos de *B. cockerelli*. La integración de las tres concentraciones de nanopartículas cargadas con aceite esencial de albahaca repelió adultos de *B. cockerelli*. Las nanopartículas cargadas con aceites esenciales de albahaca y canela en la película plástica se identifican como potenciales para su desarrollo e integración en pruebas de campo para el control de *B. cockerelli*, mientras que las nanopartículas cargadas con aceite esencial de citronela en la película plástica mostraron la menor efectividad. La nanotecnología es una alternativa con potencial para el control de insectos, por tal razón, es importante seguir este tipo de investigación con diferentes biomoléculas y diversas plagas, en condiciones de laboratorio y campo.

Palabras clave: albahaca, canela, citronela, nanotecnología, psílido del tomate.

Abstract

Nanotechnology provides an effective means to liberate and distribute pesticides in a controlled manner with high specificity, since it allows them to be released in a controlled manner. The pesticide supply is based on polymers with nanoscale dimensions that have greater stability in formulation, capacity for slow release of active ingredients and greater activity; this activity search to incorporate bioactive molecules in plastic foil to develop plastic padding *a posteriori*, that protect crop and release these molecules to repel pests. The repellency effect of polymeric nanoparticles loaded with 1, 3 and 5% of three essential oils, basil *Ocimum basilicum*, cinnamon *Cinnamomum verum* and citronella *Pelargonium* sp., essential oil was incorporated in plastic foil for mulching on *Bactericera cockerelli* in tomato *Solanum lycopersicum* cv. Río Grande through free Choice and non-Choice bioassays in laboratory and greenhouse respectively. Arrival and oviposition were recorded, and repellency index was obtained. It was evaluated with analysis of variance and LSD means test. Plastic foil is generally effective in repelling *B. cockerelli* adults. The integration of three concentrations of nanoparticles loaded with basil essential oil repelled *B. cockerelli* adults. Basil and cinnamon essential oils nanoparticles loaded in plastic foil are very promising for their development and integration in field tests for *B. cockerelli* control, while the integration of citronella essential oil nanoparticles loaded in plastic foil was not very effective. Nanotechnology is an alternative with potential for insect control, for this reason, it is important to continue with more studies with different biomolecules and diversity of pests under laboratory and field condition are needed.

Keywords: basil, cinnamon, citronella, nanotechnology, tomato psyllid.

INTRODUCCIÓN

El psílido de la papa y/o paratrioza *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae), es una plaga cuarentenaria listada en EPPO (CABI 2022), muy destructiva en diversos cultivos de la Familia Solanaceae con preferencia por el

tomate (*Solanum lycopersicum* L.), tomatillo (*Physalis* spp. L.), papa (*Solanum tuberosum* L.) y chile (*Capsicum* spp. L.) (Ramírez et al. 2008; Munyaneza et al. 2012). Esta plaga se caracteriza por dos tipos de daño: daño directo por la alimentación cuando succiona la savia y daño indirecto por la transmisión de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, agente causal de la enfermedad permanente del tomate (Munyaneza et al. 2009; Delgado-Ortiz et al. 2019), enfermedad que ocasiona hasta un 80% de pérdidas (Liu et al. 2006).

Para el control de esta plaga, durante la temporada de tomate y papa en el Estado de Coahuila, se realizan hasta 12 aplicaciones de insecticidas químicos como el tiacloprid e imidacloprid (Vega-Gutiérrez et al. 2008). El control no ha sido efectivo debido a las frecuentes aplicaciones de insecticidas y aplicación de productos que tienen el mismo modo de acción lo que ocasiona problemas resistencia (Rubio et al. 2013), que, como consecuencia eleva los costos del tratamiento y agudiza los problemas de medio ambiente (Nakamatsu 2002).

En el control de plagas se han priorizado los aspectos ambientales, conduciendo muchas investigaciones con nuevas materias bioactivas que puedan ser empleadas en el manejo integrado de plagas, con el fin de reducir los negativos en el ambiente (Bianchi et al. 1997; Bowers y Locke 2000).

La nanotecnología se considera de gran importancia, particularmente en la elaboración, caracterización y aplicación de materiales de dimensiones nanométricas, con tamaños entre 1 y 100 nanómetros (nm) (Ali et al. 2014). La premisa básica de la aplicación de nanopartículas en la producción agrícola y alimentaria es minimizar las pérdidas y reducir los efectos adversos sobre el medio ambiente debido al uso excesivo de insecticidas (Gutiérrez-Ramírez et al. 2021).

Actualmente las aplicaciones nanotecnológicas son muy diversas, en la agricultura se destaca la elaboración de nanopesticidas encapsulados para su liberación gradual, así como la utilización eficiente y sustentable de los agroquímicos, lo cual permite reducir sus efectos ambientales adversos (Nakamatsu 2002; Lira et al. 2018). Sumado a que los aceites esenciales de origen vegetal podrían proporcionar una alternativa eficaz a los insecticidas sintéticos y para evitar su inestabilidad y la alta volatilidad, es necesario proteger sus componentes bioactivos mediante la nanoencapsulación (Ibrahim et al. 2022).

La nanotecnología es un área de oportunidad en la agricultura moderna, a través de la cual se busca incorporar diversas nanopartículas con moléculas bioactivas en películas plásticas para desarrollar en un futuro acolchados que protejan al cultivo y liberen esas moléculas para repeler insectos plaga. Por lo anterior, se evaluó bajo condiciones controladas en tomate *Solanum lycopersicum* L. var. Rio Grande el efecto de repelencia de tres aceites esenciales cargados en película plástica por nanotecnología sobre *Bactericera cockerelli*.

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología Molecular y Alternativas de Control de Plagas e Invernadero del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México.

Se utilizaron películas plásticas transparentes para acolchado (0.02 cm de ancho) con nanopartículas poliméricas cargadas con aceites esenciales de albahaca *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae), canela *Cinnamomum verum* Blume (Lauraceae) y citronela *Pelargonium* sp. L'Her. ex Aiton (Geraniaceae) en tres concentraciones: 1, 3 y 5% del peso de las nanopartículas. Este método de preparación de nanopartículas cargadas con diferentes aceites esenciales fue desarrollado en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y Extrisa S.A. de C.V., cuya caracterización se encuentra en resguardo industrial por solicitud de patente.

El insecto *B. cockerelli* se crio en jaulas de 60x60x60 cm, alimentado con plantas de tomate, bajo condiciones de invernadero [$25 \pm 5^\circ\text{C}$, $60 \pm 10\%$ humedad relativa (HR)] y ventilación automatizada para renovar el suministro de bióxido de carbono.

Se evaluó el efecto de repelencia de nanopartículas cargadas con aceites esenciales en la película plástica para acolchado sobre *B. cockerelli*, por los métodos de Libre Elección y de No-Elección, bajo condiciones controladas de laboratorio e invernadero.

Libre Elección: Este método consistió en observar la repelencia o atracción de las nanopartículas cargadas con los aceites esenciales bajo condiciones de laboratorio ($25 \pm 5^\circ\text{C}$, $60 \pm 10\%$ HR y 14:10 h luz: oscuridad [L:O] de fotoperiodo). Para esto se adaptaron recipientes de acrílico de 40 cm de altura por 20 cm de largo y ancho, cubiertos en la parte superior con una sección de tela tipo organza para permitir ventilación y el paso de oxígeno/bióxido de carbono. Se preparó un arreglo de cinco recipientes en forma de "X"; el recipiente central se conectó con los extremos mediante tubos de 10 cm de longitud. Cada recipiente se diseñó para contener una maceta con una planta de tomate. En dos recipientes se colocaron las plantas y en la base de estas, película plástica con nanopartículas cargadas con aceite esencial a razón de 100 cm^2 y en otros dos, las plantas sin película la plástica y en el contenedor central sin planta y sin película plástica. Inmediatamente en este último se liberaron 40 insectos adultos sin sexar, a razón de 10 adultos por planta. Cada una de estas se realizó por triplicado.

No-Elección: Este método consistió en colocar ocho plantas de tomate de 15 cm de altura (30 días después del trasplante, edad susceptible de daño y cuando liberan mayor cantidad de compuestos volátiles que atraen insectos) en jaulas de 60x60x60 cm bajo condiciones de invernadero ($25 \pm 5^\circ\text{C}$, $60 \pm 10\%$ HR). El bioensayo se llevó a cabo en tres jaulas; en la jaula número uno, se colocaron cua-

tro plantas con película plástica con nanopartículas cargadas con aceite esencial a razón de 100 cm² y cuatro plantas sin los tratamientos; todas distribuidas de manera aleatoria. En la jaula dos se colocó la película plástica con nanopartículas cargadas con aceite esencial en las ocho plantas y en la jaula tres se colocaron ocho plantas sin película plástica. En cada jaula se liberaron 80 insectos adultos sin sexar a razón de 10 adultos por planta. Cada una de estas pruebas se realizó por triplicado.

Diseño experimental y evaluación: Se establecieron tres aceites esenciales (albahaca, canela y citronela) con tres concentraciones (1, 3 y 5%), cada uno con su testigo y con tres repeticiones. En el método de libre elección se registró el arribo (número de insectos que se posan por planta) a la una y 24 horas después de la exposición de los insectos a los tratamientos. La oviposición (número de huevos por planta) se registró 24 horas después de la exposición de los insectos a los tratamientos. En el método de No-Elección se registró el arribo a la hora y la oviposición a las 24 horas. Con los datos en cada película plástica con aceite esencial y su testigo, en ambos métodos se determinó el índice de repelencia de *B. cockerelli* mediante la fórmula propuesta por Rodríguez-Ledesma et al. (2017):

$$(IR) = \frac{2G}{(G+P)}$$

donde:

IR = índice de repelencia

G = porcentaje de insectos en el tratamiento

P = porcentaje de insectos en el control

Se utilizó como referencia para esta prueba:

(*IR* = 1) Neutro, (*IR* > 1) Atrayente y (*IR* < 1) Repelente.

Los datos que se obtuvieron en los parámetros observados tanto en laboratorio como invernadero se evaluaron con un análisis de varianza y una prueba de medias por diferencia mínima significativa (DMS) (*P* < 0.05), utilizando el software SAS/STAT (SAS, 2002).

RESULTADOS

Bajo condiciones de laboratorio el arribo de *B. cockerelli* en la planta de tomate a la primera hora (durante la cual el insecto inicia el proceso de búsqueda de alimento) fue bajo, con diferencias significativas entre los índices de repelencia (*F* = 38.11;

gl= 8,18; P < 0.0001). En el Cuadro 1 se observa atracción de *B. cockerelli* hacia los tres aceites esenciales. En las plantas con película plástica con aceite esencial de canela al 5% no arribo la plaga, mientras que, en cinco de los tratamientos, los insectos presentaron repelencia a las diferentes concentraciones de los aceites.

A 24 horas de exposición a las películas plásticas con aceites esenciales se presentan diferencias significativas entre los tratamientos (F= 24.96; gl= 8,18; P < 0.0001), el arribo de *B. cockerelli* aumento en todos los tratamientos, probablemente al mayor tiempo de adaptación a las plantas. Se observa solo atracción en dos de los aceites esenciales (citronela al 5% y canela al 3%), mientras que en siete se observó efecto de repelencia. Durante este tiempo, citronela al 5% mantuvo la respuesta de atracción, por otro lado, con canela al 3% mostro un cambio significativo, con un cambio de efecto repelente a un efecto atrayente y con mayor repelencia la albahaca al 5 por ciento.

En la prueba en invernadero en la primera hora, se observó un arribo bajo hacia la planta de tomate y un índice de repelencia en seis de los tratamientos (canela al 1 y 3%, citronela al 3% y la albahaca en las tres concentraciones), atracción en citronela al 1 y 5% y un efecto neutro en canela al 5%, con diferencias significativas entre los índices de repelencia (F= 14.02; gl= 8,18; P < 0.0001). Se presento mayor atracción en la citronela al 5%, preferente para *B. cockerelli* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índice de repelencia del arribo de adultos de *B. cockerelli* en plantas de tomate var. Rio Grande con nanopartículas cargadas con tres concentraciones de aceites esenciales incorporadas en películas plásticas bajo condiciones de laboratorio e invernadero.

Tratamientos	Laboratorio			Invernadero		
	IR ± EE (1 h)	Referencia	IR ± EE (24 h)	Referencia	IR ± EE (1 h)	Referencia
Citronela 1%	1.288±0.04a	Atrayente	0.878±0.03bc	Repelente	1.065±0.02ab	Atrayente
Citronela 3%	0.963±0.09b	Repelente	0.851±0.02bc	Repelente	0.779±0.10c	Repelente
Citronela 5%	1.344±0.09a	Atrayente	1.176±0.05a	Atrayente	1.148±0.06 ^a	Atrayente
Canela 1%	1.288±0.04a	Atrayente	0.656±0.06d	Repelente	0.815±0.06bc	Repelente
Canela 3%	0.778±0.11bc	Repelente	1.126±0.01a	Atrayente	0.484±0.17d	Repelente
Canela 5%	0.000±0.00e	N/A	0.938±0.11b	Repelente	1.007±0.01abc	Neutro
Albahaca 1%	0.656±0.09cd	Repelente	0.786±0.06bcd	Repelente	0.501±0.06d	Repelente
Albahaca 3%	0.611±0.06cd	Repelente	0.764±0.02cd	Repelente	0.098±0.05e	Repelente
Albahaca 5%	0.556±0.06d	Repelente	0.256±0.04e	Repelente	0.501±0.15d	Repelente

IR= Índice de repelencia (IR= 1) Neutro; (IR > 1) Atrayente; (IR < 1) Repelente. EE= Error estándar. N/A= No aplica. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente (ANOVA y prueba de DMS; p > 0.05).

Durante 24 horas, bajo condiciones de laboratorio el número de huevos puestos (Cuadro 2) por el psílido entre los tratamientos generaron diferentes efectos (F= 3.34; gl= 8,18; P= 0.0159). Se observa que la película plástica cargada con aceite

esencial de citronela en las tres diferentes concentraciones mostro atracción (IR= 1.288) para *B. cockerelli*, reflejado en un mayor promedio de huevos en comparación con los otros tratamientos. En la película plástica con aceite esencial de canela se reflejaron los resultados observados en el arribo, en la concentración de 3% con mayor atracción y oviposición y en las concentraciones de 1 y 5% con repelencia y menor oviposición. Mientras que, con la película plástica con aceite esencial de albahaca en sus tres concentraciones, *B. cockerelli* fue repelida disminuyendo la oviposición, siendo consistente con el arribo a las 1 y 24 horas bajo esta misma condición. Durante el mismo periodo, en la prueba de invernadero el efecto de repelencia fue más evidente, se observó con la oviposición un índice de repelencia a las diferentes concentraciones de las nanopartículas cargadas con aceites esenciales integradas a las películas plásticas, así como también mayor preferencia de *B. cockerelli* por ovipositar en los testigos con diferencia significativa en el número de huevos entre los tratamientos ($F= 3.95$; $gl= 8,18$; $P= 0.0074$).

Cuadro 2. Oviposición de adultos de <i>B. cockerelli</i> en plantas de tomate var. Rio Grande con nanopartículas cargadas con aceites esenciales en película plástica durante 24 horas de exposición, bajo condiciones de laboratorio e invernadero.								
Tratamientos	Laboratorio				Invernadero			
	(%)	Huevos promedio $\pm$ EE	IR	Referencia	(%)	Huevos promedio $\pm$ EE	IR	Referencia
Citronela 1%	67.22	121.00 $\pm$ 40.45a	1.344	Atrayente	43.14	280.00 $\pm$ 83.28a	0.863	Repelente
Testigo	32.78				56.86			
Citronela 3%	52.49	88.00 $\pm$ 45.18ab	1.050	Atrayente	21.85	116.00 $\pm$ 5.03cd	0.437	Repelente
Testigo	47.51				78.15			
Citronela 5%	63.64	30.33 $\pm$ 21.33bc	1.273	Atrayente	39.39	262.33 $\pm$ 51.69ab	0.788	Repelente
Testigo	36.36				60.61			
Canela 1%	46.15	14.00 $\pm$ 2.08c	0.923	Repelente	17.34	77.33 $\pm$ 18.34d	0.347	Repelente
Testigo	53.85				82.66			
Canela 3%	53.09	28.67 $\pm$ 12.41bc	1.062	Atrayente	13.10	58.33 $\pm$ 20.19d	0.262	Repelente
Testigo	46.91				86.90			
Canela 5%	26.32	15.00 $\pm$ 7.64c	0.526	Repelente	25.43	137.67 $\pm$ 26.77bcd	0.509	Repelente
Testigo	73.68				74.57			
Albahaca 1%	43.26	20.33 $\pm$ 6.36c	0.865	Repelente	32.95	240.33 $\pm$ 64.86abc	0.659	Repelente
Testigo	56.74				67.05			
Albahaca 3%	24.74	8.00 $\pm$ 8.00c	0.495	Repelente	14.35	63.67 $\pm$ 16.74d	0.287	Repelente
Testigo	75.26				85.65			
Albahaca 5%	1.16	0.33 $\pm$ 0.33c	0.023	Repelente	35.40	257.00 $\pm$ 64.39ab	0.708	Repelente
Testigo	98.84				64.60			

%= Porcentaje del total de cada tratamiento con su testigo. IR= Índice de repelencia. (IR=1) Neutro; (IR > 1) Atrayente; (IR < 1) Repelente. EE= Error estándar. Letras iguales entre tratamientos no difieren significativamente (ANOVA y prueba de DMS; $P > 0.05$).

Es evidente tanto en laboratorio como invernadero que la película plástica con nanopartículas cargadas con aceite esencial en general es efectiva para repeler a los insectos. En algunos tratamientos que contenían aceite esencial, muchos insectos no se posaron directamente en la planta; cuyo comportamiento y desplazamiento era hacia las paredes del contenedor, principalmente en albahaca y canela, esto indica que el insecto al percibir el aroma del aceite esencial no le era preferente y esto explica la baja presencia de insectos posados en la planta y la menor oviposición. De los tratamientos destaca la película plástica con aceite esencial de albahaca, el arribo a las 1 y 24 horas y en el número de huevos a las 24 horas fue muy consistente, con un índice de repelencia en todos los casos. Le sigue a este la película plástica con aceite esencial de canela proporcionando en general un buen nivel de repelencia a los adultos de *B. cockerelli* y en consecuencia efecto en la oviposición.

Las nanopartículas cargadas con aceite esencial de citronela en general presentaron un efecto contrario al de repelencia, se observó que los insectos presentaron mayor arribo a las plantas con la película plástica con nanopartículas con este aceite esencial. Los tratamientos en laboratorio con aceite esencial de citronela presentaron el mayor promedio de huevos ovipositados por *B. cockerelli*, lo cual es consistente con el arribo, observando que el aceite esencial de citronela es preferente para las poblaciones del psílido, con excepción de la oviposición en invernadero, en este último caso se observó un efecto de repelencia con menor porcentaje de oviposición que su testigo.

DISCUSIÓN

Este estudio es un avance importante con la utilización de nanopartículas poliméricas cargadas con aceite esencial para repeler insectos. En los últimos años, se han realizado muchos esfuerzos para impulsar la investigación sobre nanotecnología, con la finalidad de encontrar novedosas aplicaciones de esta ciencia emergente en la producción sustentable de alimentos y cultivos (Ditta et al. 2015; Kashyap et al. 2015).

De las primeras investigaciones en demostrar sistemas de liberación controlada, es el trabajo de Feng-Lian et al. (2009), en su caracterización estructural de nanopartículas recubiertas de polietilenglicol cargadas con aceite esencial de ajo contra *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), demostraron durante un periodo de cinco meses un control del insecto por encima del 80%, asumiendo que se debía a la liberación lenta y persistente de los componentes activos de las nanopartículas.

Galli et al. (2018) demostraron el efecto insecticida y de repelencia del aceite esencial de eucalipto *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae) en diferentes na-



noestructuras (nanoemulsión y nanocápsulas al 1, 3 y 5%) contra moscas *Musca domestica* y *Haemotobia irritans* (Diptera: Muscidae).

La nanoencapsulación para el control de insectos plagas también se demostró en la investigación de Khoshraftar et al. (2019) sobre la actividad insecticida del extracto vegetal nano encapsulado de *E. globulus* con una mortalidad del 100% sobre el pulgón *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) en 48 horas de exposición, presumiblemente debido a la liberación lenta y persistente de los componentes activos de la nano-cápsula.

En una investigación similar, el CIQA (el mismo desarrollador de la tecnología de la presente investigación), probó directamente en campo abierto la película, constituida por polietilenos de baja densidad con las nanopartículas poliméricas cargadas con esencia de canela a un contenido de 3% en peso de las nanopartículas, se aplicó el acolchado en un cultivo con calabaza *Cucurbita pepo* L. grupo Zucchini (Cucurbitaceae) durante 45 días, encontrando capturas semanales de mosca blanca 50% menos en la película con nanopartículas con aceite esencial en comparación con la película testigo sin nanopartículas, resultados consistentes con nuestra investigación (Saade et al. 2021).

Ibrahim et al. (2022) tuvieron éxito con sistemas de nanoencapsulación de quitosano-celulosa para mejorar la actividad insecticida del aceite esencial de citronela contra el gusano de la hoja del algodón *Spodoptera littoralis* Boisduval (Lepidoptera: Noctuidae) con una eficiencia de liberación de dos semanas, interrumpiendo el desarrollo del insecto.

Recientemente, Yeguerman et al. (2022) reportaron que las nanopartículas poliméricas aumentan la actividad letal de los aceites esenciales de menta y palmarosa sobre adultos del gorgojo del arroz *Sitophilus oryzae* (L.) (Curculionidae) y el escarabajo cigarrillo *Lasioderma serricorne* (F.) (Anobiidae) extendiendo su efecto de repelencia durante 84 horas y modifican el comportamiento por 24 horas. Y demostraron no tener toxicidad hacia organismos no objetivo de prueba como el gusano de la harina *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae) y ninfas de cucaracha *Blaptica dubia* Serville (Blaberidae), demostrando que las nanopartículas cargadas con aceites esenciales son una formulación novedosa y ecológica para controlar plagas de insectos.

La tecnología de los nanomateriales ofrecen muchas oportunidades a la industria agrícola, con aplicaciones en toda la cadena agrícola, como la nanoencapsulación de agroquímicos y el empleo de plásticos que permiten el desarrollo de sistemas de liberación sostenibles de sustancias activas utilizando nanopartículas que pueden aumentar el rendimiento y la eficiencia de los pesticidas al aplicar en el campo menores dosis (Nakamatsu 2002; Foladori e Invernizzi 2008; Patel et al. 2012; Sekhon 2014); aunque se tienen desventajas de esta tecnología, principalmente la complejidad en la fabricación de los sistemas, un alto costo, y la

permanencia de residuos en el suelo (en el caso de matrices de polímeros inertes) (Nakamatsu 2002).

La nanoencapsulación de agroquímicos ha adquirido una gran relevancia y es actualmente de las tecnologías más prometedora para la protección de plantas de los insectos plaga, al ser una tecnología con bajo impacto ambiental, lo cual permite reducir la cantidad de agroquímicos que dañen los ecosistemas (Grillo et al. 2016; Lira et al. 2018). Este proceso evita la degradación de los compuestos y el lixiviado de los mismos, por lo que se garantiza la concentración efectiva requerida en la planta. En cambio, con los agroquímicos convencionales, esta concentración no puede asegurarse y por ello, se requiere de aplicaciones repetidas, aumentando la contaminación ambiental (Echeverría- Machado 2019).

La escasa solubilidad en agua, la alta volatilidad y la inestabilidad son las principales propiedades fisicoquímicas que dificultan el uso de aceites esenciales en la protección de cultivos. La nanoencapsulación es un medio eficaz para evitar estos problemas y mejorar la disponibilidad y mantener la liberación sostenible del aceite esencial (Ibrahim et al. 2022).

La nanotecnología es una alternativa con mucho potencial para el control de plagas agrícolas; no obstante, se requiere mayor investigación futura en esta disciplina sobre la integración o encapsulación de aceites esenciales y determinar su eficacia con diversas plagas y cultivos.

CONCLUSIÓN

Las nanopartículas cargadas con aceite esencial en película plástica es una tecnología viable, pero que requiere mayor investigación. Esta tecnología bajo las condiciones de la presente investigación en general repele adultos de *B. cockerelli*.

El aceite esencial de albahaca y canela en la película plástica son prometedores para su desarrollo e integración en un manejo de plagas en pruebas de campo para el control de *B. cockerelli*.

EL aceite esencial de citronela en la película plástica no fue efectivo, principalmente en la prueba de laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Extrisa, S.A. de C.V., a través del proyecto de Investigación Desarrollo de una Película Tricapa para Acolchado Agrícola con Nanopartículas de Aceites Esenciales Repelentes de Insectos Plaga en Cultivos de Importancia Agroindustrial, del Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2018, en su modalidad Proyectos en Red Orientados a la Innovación (PROINNOVA) del Conacyt.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por el apoyo brindado en la colaboración para llevar a cabo el proyecto de investigación.

LITERATURA CITADA

- Ali M.A., Rehman I., Iqbal A., Din, S., Rao A.Q., Latif A., Samiullah T.R., Azam S. and T. Husnain. 2014. Nanotechnology: A new frontier in Agriculture. *Advancements in Life Science*. 1(3): 129-138.
- Bianchi A., Zambonelli A., Zechini A. and F. Bellesia. 1997. Ultrastructural studies of the effects of *Allium sativum* on phytopathogenic fungi *in vitro*. *Plant disease*. 81(11): 1241-1246. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.11.1241>.
- Bowers J.H. and J.C. Locke. 2000. Effect of botanical extracts on the population density of *Fusarium oxysporum* in soil and control of *Fusarium* wilt in the greenhouse. *Plant disease*. 84(3): 300-305. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.3.300>.
- CABI. *Bactericera cockerelli* (Tomato/Potato Psyllid). Invasive Species Compendium. Wallingford, UK. 2022. [in: https://www.cabi.org/isc/datasheet/45643](https://www.cabi.org/isc/datasheet/45643). (Fecha de consulta: 10 junio 2022).
- Delgado-Ortiz J.C., Beltrán-Beache M., Cerna-Chávez E., Aguirre-Urbe L.A., Landeros-Flores J., Rodríguez-Pagaza Y. y Y.M. Ochoa-Fuente. 2019. *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 22:1-12. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.177>.
- Ditta A., Arshad M. and M. Ibrahim. 2015. Nanoparticles in Sustainable Agricultural Crop Production: Applications and Perspectives. *In: Siddiqui M., Al-Whaibi M., Mohammad F. (Eds). Nanotechnology and Plant Sciences*. Springer International Publishing. Switzerland AG. 55-75. pp. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-14502-0_4.
- Echeverría-Machado I. 2019. El tamaño sí importa: Los nanofertilizantes en la era de la agricultura de precisión. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Desde el Herbario CICY. 11:69-75. *In: Fernández-Concha G.C., Tapia M.J.L. (Eds.).* https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2019/2019-04-04-Echevarria-El-tamano-si-importa-Nanofertilizantes.pdf. (Fecha de consulta: 10 junio 2022).
- Feng-Lian Y., Xue-Gang L., Fen Z. and L. Chao-Liang. 2009. Structural Characterization of Nanoparticles Loaded with Garlic Essential Oil and Their Insecticidal Activity against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(21): 10156-10162. <https://doi.org/10.1021/jf9023118>.

- Foladori G. y N Invernizzi. 2008. Nanotecnologías en la alimentación y agricultura. Universidad de la República, Comisión Sectorial de Extensión y Actividades en el Medio. Montevideo. 116 p. <https://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/05/Nanotecnologias-en-la-Agricultura-y-en-la-Alimentacion.pdf#page=26>
- Galli G. M., Roza L.F., Santos R.C.V., Quattrin P.M., Ourique A.F., Klein B., Wagner R., Baldissera M.D., Volpato A., Campigotto G., Glombowsky P., Soldá N.M., Baretta D., Tonin A.A., Stefani L.M. and A.S. Da Silva. 2018. *Journal of Economic Entomology*. 111(6): 2983-2987. <https://doi.org/10.1093/jee/toy267>
- Grillo R., Abhilash P.C., and L.F. Fraceto. 2016. Nanotechnology Applied to Bio-Encapsulation of Pesticides. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 16(1): 1231-1234. <https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12332>.
- Gutiérrez-Ramírez J.A., Betancourt-Galindo R., Aguirre-Uribe L.A., Cerna-Chávez E., Sandoval-Rangel A., Castro-del Ángel E., Chacón-Hernández J.C., García-López J.I. and A. Hernández-Juárez. 2021. Insecticidal Effect of Zinc Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticles against *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Trioziidae) on Tomato *Solanum lycopersicum*. *Agronomy*. 11(8): 1460. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081460>.
- Ibrahim S.S., Abou-Elseoud W.S., Elbehery H.H. and M.L. Hassan. 2022. Chitosan-cellulose nanoencapsulation systems for enhancing the insecticidal activity of citronella essential oil against the cotton leafworm *Spodoptera littoralis*. *Industrial Crops and Products*. 184:115089. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115089>.
- Kashyap P.L., Xiang X. and P. Heiden. 2015. Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. *International Journal of Biological Macromolecules*. 77: 36-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.02.039>.
- Khoshraftar Z., Safekordi A.A., Shamel, A., and M. Zaefizadeh. 2019. Synthesis of natural nanopesticides with the origin of *Eucalyptus globulus* extract for pest control. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 12: 286-298.
- Munyanza J.E. 2012. Zebra Chip Disease of Potato: Biology, Epidemiology, and Management. *American Journal of Potato Research*. 89: 329-350.
- Munyanza J.E., Sengoda V.G., Crosslin J.M., Garzón-Tiznado J.A. and O.G. Cárdenas-Valenzuela. 2009. First report of "*Candidatus liberibacter solanacearum*" in tomato plants in México. *Plant disease*. 93:1076. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-10-1076A>
- Nakamatsu J. 2002. Matrices Poliméricas para Liberación Controlada de Sustancias Activas. *Revista de Química*. 16(1-2): 13-23.
- Lira S.R.H., Méndez A.B., Vera R.I., y V.G. de los Santos. 2018. Agronanotecnología: una nueva herramienta para la agricultura moderna. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de UNCuyo*. 50(2):395-411.

- Liu D., Trumble J.T. and R. Stouthamer. 2006. Genetic differentiation between eastern populations and recent introductions of potato psyllid (*Bactericera cockerelli*) into western North America. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 118(3): 177-183.
- Patil C., Borase H., Patil S., Salunkhe R. and B. Salunke. 2012. Larvicidal activity of silver nanoparticles synthesized using *Pergularia daemia* plant latex against *Aedes aegypti* and *Anopheles stephensi* and nontarget fish *Poecillia reticulata*. *Parasitology Research*. 111(2):555-562.
- Ramírez G.M., Santamaria C.E., Mendez R.J.S., Rios F.J.L., Hernández S.J.R. y M.J.G. Pedro. 2008. Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratrioza (*Bactericera cockerelli* B. y L.) (Homoptera: Triozidae) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 76: 47-56.
- Rodríguez-Ledesma Y., Mirabal-García R., Suárez-Pérez C., García-González T.M., Albert-Rodríguez A. y I. Orrantia-Cárdenas. 2017. Control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky con polvo de mármol en granos de maíz almacenados. *Pastos y forrajes* 40(4): 296-301.
- Rubio-Covarrubias O.A., Cadena-Hinojosa M.A. y M.G. Vázquez-Carrillo. 2013. Manejo integrado de la punta morada de la papa en el Estado de México. Folleto Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Sitio Experimental Metepec, Estado de México. 40 p.
- Saade C.H., Soriano C.F., Saltijeral M., Valdéz G.J.A., López C.R.G., Illescas R.C.P. y G. Maynez. 2021. Película para acolchado agrícola con repelencia a insectos: Desarrollo CIQA. in: [https://www.ciqa.mx/documentos/mp_108_septiembre_octubre_2021%20\(2\)-56-59.pdf](https://www.ciqa.mx/documentos/mp_108_septiembre_octubre_2021%20(2)-56-59.pdf). (Fecha de consulta: 22 agosto 2022).
- S.A.S. Institute. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0; SAS Institute: Cary, NC, USA.
- Sekhon B.S. 2014. Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnology Science and applications*. 7: 31-53. <https://doi:10.2147/NSA.S39406>
- Vega-Gutiérrez M.T., Rodríguez-Maciel J.C., Díaz-Gómez O., Bujanos-Muñiz R., Mota-Sánchez D., Martínez-Carrillo J.L., Lagunes-Tejeda A. y J.A. Garzón-Tiznado. 2008. Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Agrociencia*. 42: 463-471.
- Yeguerman C.A., Urrutia R.I., Jesser E.N., Massiris M., Delrieux C.A., Murray A.P. and J.O.W. González. 2022. Essential oils loaded on polymeric nanoparticles: bioefficacy against economic and medical insect pests and risk evaluation on terrestrial and aquatic non-target organisms. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20848-0>