

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Repelencia de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) a Nanopartículas con Aceites Esenciales en Tomate Bajo Condiciones Controladas.

Por:

**MARÍA ELENA HERNÁNDEZ ARAIZA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Repelencia de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) a Nanopartículas con Aceites Esenciales en Tomate Bajo Condiciones Controladas.

Por:

**MARÍA ELENA HERNÁNDEZ ARAIZA**

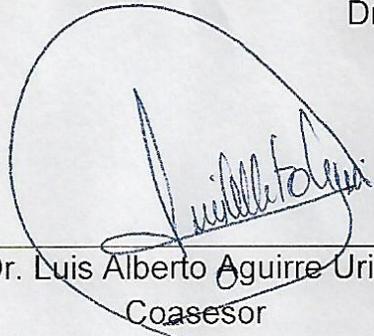
TESIS

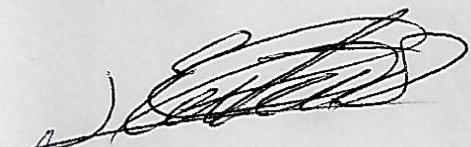
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

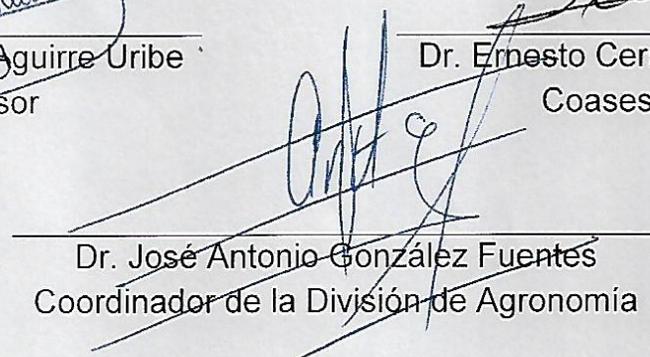
**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Agustín Hernández Juárez  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ernesto Cerna Chávez  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2019



## AGRADECIMIENTOS

A la empresa Extrisa S.A. de C.V., por el apoyo brindado en convenio de colaboración en 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, en el 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.

A Mi Alma Terra Mater: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” que de ella me llevo muchos recuerdos que siempre estarán presentes en corazón, y en especial a todos los maestros del Departamento de Parasitología que me brindaron sus conocimientos y amistad.

En especial a mi asesor el Dr. Agustín Hernández Juárez por haberme brindado la confianza y el apoyo para poder realizar mis objetivos, al Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe, Dr. Ernesto Cerna Chávez y al Dr. Juan Mayo Hernández, por el apoyo brindado en la realización de este trabajo, los conocimientos transmitidos y la paciencia, así como también al M.C. Antonio Cárdenas Elizondo., M.C. Víctor Manuel Sánchez Valdez y a la Dra. Miriam Sánchez Vega por los consejos fuera del aula y las enseñanzas adquiridas en clase.

Gracias Dios por permitirme cumplir una meta más en la vida y sobre todo llegar a este punto donde comienza un nuevo camino lleno de experiencias por recorrer y en el cual se me abren muchísimas otras puertas para continuar.

Muy especial a mi familia por haberme apoyado en mis decisiones, aunque no fueran del todo de su agrado, pero siempre se mantuvieron constantes conmigo para que no decayera en ningún momento sobre todo por su comprensión, confianza y apoyo moral que siempre he recibido de su parte y ante todo sabiendo que mis logros son también de ustedes. Papa esto va con mucho cariño para ti donde quiera que estés, por fin unas de mis tantas metas se están cumpliendo y es gracias al ejemplo que me brindaste de seguir adelante a pesar de cualquier obstáculo.

A Susana orduña Ponce y familia por brindarme esa bonita amistad y hacerme sentir como parte de su familia por haberme apoyado en los momentos que más necesite

ayuda, sobre todo por creer en mí y sin dejar de lado la preparación para aguantar carrilla, a ti Karen Lizeth Rodríguez Orduña por confiar y creer en mí y siempre estar ahí para apoyarme cuando ya no tenía fuerzas para seguir.

Sin dejar de lado a mis compañeros y colegas; Librado Castillo Rodríguez, Juan Manuel Juárez Ozuna, Alonso Villatoro Ventura, José Iver Velasco Pérez y Ricardo Zayit Luviano Jaimes, por siempre estar para apoyarme, escucharme y brindarme un consejo.

Gracias Ing. Baltazar, Janeth, Marisol, Alan Josué, Rubí, y a todos y a cada una de las personas que me brindaron su apoyo y sobre todo que me abrieron las puertas de su corazón.

De corazón y sinceramente Maria Elena

## DEDICATORIA

A mi familia, que, aunque estén a distancia nunca han dejado de brindarme su apoyo, mis padres; Eleazar Hernández Arredondo (+) y Ana Maria Araiza Hernández, a mis hermanos: Alma Rosa, Rigoberto, Adriana, Gabriela y Adrián, a mis abuelos; J. luz Hernández Torres y Catalina Arredondo.

Esto es para ustedes porque son la parte más importante de mi vida, gracias por ser mi familia, pero sin duda, gracias por permitirme formar parte de ella.

Para ustedes y por ustedes.

**“Aprende... que todo en la vida vuelve, que no hay mal que por bien no venga, aprende que con voluntad y esfuerzo todo resulta más fácil, que lo más valioso de la vida es la familia y los verdaderos amigos, que no se llora a quien no te valora, aprende que, por más tropezón, caída, obstáculo, o barrera que se te interponga en tu camino, el objetivo es levantar la cabeza y seguir adelante...”**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>ix</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>x</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>12</b>
Objetivo General.....	15
Objetivos específicos.....	15
Hipótesis .....	15
<b>REVISION DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
Generalidades del Tomate .....	16
Taxonomía:.....	16
Características morfológicas: .....	16
<b>Psílido de la papa/ paratrioza <i>Bactericera cockerelli</i> Sulc.</b> .....	<b>18</b>
Descripción Morfológica .....	19
Tamaño de los estadios.....	22
Biología y Hábitos.....	23
Hospederas .....	24
Distribución.....	24
<b>Importancia económica</b> .....	<b>25</b>
Daño en cultivos .....	25
Enfermedades asociadas a la Paratrioza .....	26
Estrategias de control del psílido de la papa .....	29
<b>Uso de nanopartículas en el control de plagas</b> .....	<b>31</b>
Generalidades del uso de nanopartículas en el control de plagas .....	31
Descripción de nanopartículas .....	37
Propiedades .....	38

Importancia económica y/o en el control de plagas y enfermedades .....	38
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	42
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	46
<b>CONCLUSIONES</b> .....	54
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Aplicaciones potenciales de la nanotecnología y de las nanopartículas en la agricultura, incluyendo la fabricación de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas. ....	14
<b>Figura 2.</b> Planta de tomate. ....	18
<b>Figura 3.</b> Huevecillos de <i>Bactericera cockerelli</i> . ....	19
<b>Figura 4.</b> Ciclo biológico de <i>Bactericera cockerelli</i> .....	21
<b>Figura 5.</b> Hembra adulta y segmento genital en forma cónica. ....	22
<b>Figura 7.</b> Macho adulto y segmento genital.....	22
<b>Figura 8.</b> Punta morada de la papa. ....	27
<b>Figura 9.</b> Rayado de papa (Zebra chip).....	28
<b>Figura 10.</b> Permanente del tomate. ....	29
<b>Figura 11.</b> Aplicaciones de las nanotecnologías en la agricultura. ....	33
<b>Figura 12.</b> Efectos de la aplicación de los agroquímicos convencionales (fertilizantes, pesticidas, etc.) y los agroquímicos nanoencapsulados o nanoformulaciones, sobre las plantas y el ambiente.....	34
<b>Figura 13.</b> Aplicaciones potenciales de la nanotecnología y de las nanopartículas en la agricultura, incluyendo la fabricación de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas. ....	40

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Tamaños de los estados de desarrollo de <i>B. cockerelli</i> .....	23
<b>Cuadro 2.</b> Ejemplos de avances recientes en nanotecnología en agricultura. ....	36
<b>Cuadro 3.</b> Arribo de adultos de <i>B. cockerelli</i> en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 1 hora de exposición bajo condiciones de laboratorio. ....	47
<b>Cuadro 4.</b> Arribo de adultos de <i>B. cockerelli</i> en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 24 horas de exposición bajo condiciones de laboratorio. ....	48
<b>Cuadro 5.</b> Oviposición de adultos de <i>B. cockerelli</i> en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 24 horas de exposición bajo condiciones de laboratorio. ....	49
<b>Cuadro 6.</b> Arribo de adultos de <i>B. cockerelli</i> en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 1 hora de exposición bajo condiciones de invernadero. ....	51
<b>Cuadro 7.</b> Oviposición de adultos de <i>B. cockerelli</i> en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 24 horas de exposición bajo condiciones de invernadero. ....	52

## RESUMEN

El psílido de la papa o paratrioza *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae), es una plaga de importancia económica en diversos cultivos; con preferencia para depositar sus huevecillos y desarrollar sus poblaciones en solanáceas. Esta plaga es de importancia debido al daño directo al momento de la alimentación y daño indirecto, originado por patógenos. El control se basa casi exclusivamente en la aplicación intensiva de insecticidas químicos. En los últimos años la utilización indiscriminada de estos pesticidas, trajo consigo y de manera directa muchos peligros para la salud pública al exponer a quienes trabajan en el campo y a la población en general a estos compuestos. La tecnología de liberación controlada de sustancias activas es una alternativa en el desarrollo de sistemas de liberación sostenibles utilizando nanopartículas (NP) que pueden aumentar el rendimiento y la eficiencia de los pesticidas y también puede reducir sus efectos ambientales adversos. La nanotecnología es un área de oportunidad en la agricultura moderna, de tal manera que se busca incorporar moléculas bioactivas en películas plásticas para desarrollar acolchados que protejan al cultivo de la forma tradicional y liberen además moléculas que repelen insectos plaga. En el presente trabajo se evaluó la repelencia de *B. cockerelli* a tres concentraciones (1, 3 y 5%) de tres aceites esenciales (Canela, Citronella y Albahaca) integrados a películas plásticas monocapa mediante el uso de la nanotecnología en plantas de tomate *S. lycopersicum* cv. Rio Grande bajo condiciones controladas de laboratorio e invernadero, denominados ensayos de libre Elección y de No-Preferencia respectivamente. Se registró el arribo y oviposición y se obtuvo el índice de repelencia y/o atracción por las películas plásticas con aceite esencial y se evaluaron con un análisis de varianza y una prueba de medias de LSD ( $P < 0.05$ ) y se utilizó la tasa de crecimiento como el parámetro para seleccionar el efecto de los tratamientos. La integración de aceite esencial en película plástica por nanotecnología en general repele adultos de paratrioza *B. cockerelli*. Los aceites esenciales de albahaca y canela en película plástica por nanotecnología son muy prometedores para su desarrollo e integración en un manejo integrado de plagas en

pruebas de campo para el control de *B. cockerelli*, mientras que la integración de aceite esencial de citronella en película plástica fue muy poco efectiva, principalmente en la prueba de laboratorio. La prueba de invernadero es efectiva y sus resultados son más apegados a lo que sucedería en campo abierto, por lo cual estos resultados dan una respuesta evidente al evaluar el efecto de las películas plásticas con aceite esencial sobre *Bactericera cockerelli*.

**Palabras clave:** Aceite esencial, Acolchado, Nanotecnología, Nanopartículas, Paratrioza.

## INTRODUCCION

El psílido de la papa o paratrioza *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae), es una plaga de importancia económica en diversos cultivos; con preferencia para depositar sus huevecillos y desarrollar sus poblaciones en solanáceas como chile (*Capsicum* spp), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), tomatillo (*Physalis* spp. L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) (Ramírez *et al.*, 2008).

Esta plaga es de importancia debido a los daños que ocasiona; daño directo, al momento de la alimentación, las ninfas producen una toxina que daña a células que producen clorofila en las hojas, lo que ocasiona que las plantas se vean amarillentas y raquílicas, y el daño indirecto, originado por patógenos, por la transmisión de fitoplasmas (Ramírez *et al.*, 2008) y de la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Liefing *et al.*, 2008). Estos fitopatógenos provocan enfermedades importantes; Permanente del tomate en *S. lycopersicum* (Garzón *et al.*, 2009) y punta morada de la papa-manchado del tubérculo en *S. tuberosum* (Rubio *et al.*, 2011) y Zebra Chip (Almeyda *et al.*, 1999; Cadena *et al.*, 2003).

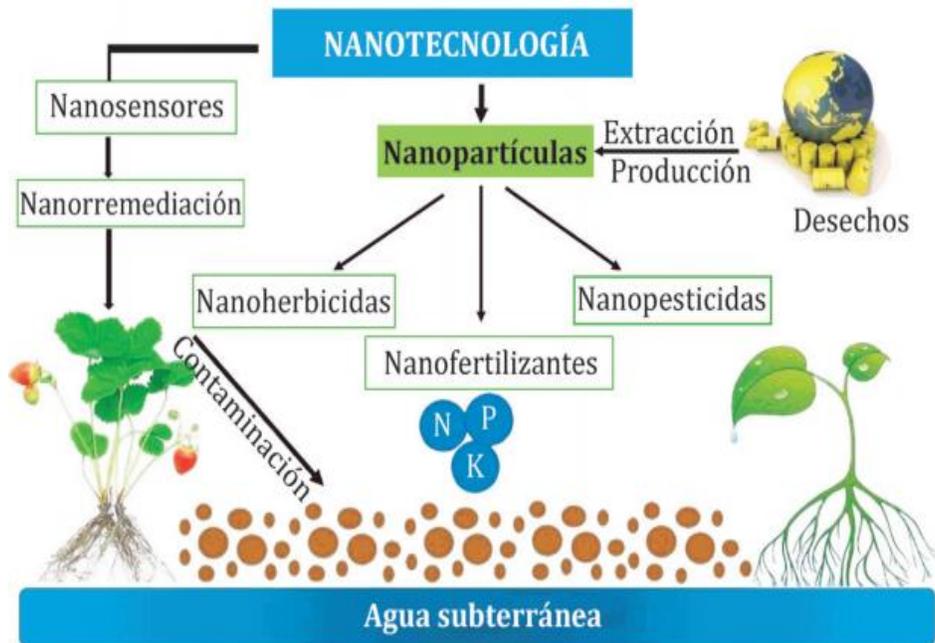
El control se basa casi exclusivamente en la aplicación intensiva de insecticidas químicos. No obstante, aún y cuando se dispone de insecticidas que son efectivos contra *B. cockerelli*, el control en el campo no ha sido totalmente efectivo, y en muchos casos es por la dificultad que se tiene para que las aspersiones lleguen al envés de las hojas inferiores de las plantas cuando el follaje cubre totalmente el terreno, siendo este lugar de la planta en donde preferentemente se alimenta y se reproduce *B. cockerelli*, o por las frecuentes aplicaciones de insecticidas que pueden inducir resistencia en este insecto y/o por la aplicación de productos que tienen la misma forma de acción (Rubio *et al.*, 2013). Se estima que hasta un 90% de los agroquímicos aplicados pueden llegar a perderse sin llegar a cumplir su objetivo, como consecuencia, se hace necesario aplicar una mayor dosis y con mayor frecuencia, lo cual eleva los costos del tratamiento y puede tener efectos secundarios en el cultivo y agudizar los problemas de medio ambiente (Nakamatsu, 2002).

La sociedad ha priorizado los aspectos ambientales, conduciendo muchas investigaciones hacia el descubrimiento de nuevas materias bioactivas que puedan ser empleadas en el manejo integrado de plagas, con menos efectos negativos al ambiente (Bianchi *et al.*, 1997; Bowers y Locke 2000).

La tecnología de liberación controlada de sustancias activas es una alternativa en el desarrollo de sistemas de liberación sostenibles utilizando nanopartículas (NP) que pueden aumentar el rendimiento y la eficiencia de los pesticidas y también puede reducir sus efectos ambientales adversos (Nakamatsu, 2002). La nanoencapsulación de agroquímicos y microorganismos benéficos ha adquirido una gran relevancia al ser una manera de controlar plagas y enfermedades con bajo impacto ambiental, lo cual permite reducir la cantidad de agroquímicos que dañen los ecosistemas (Lira *et al.*, 2018). Las principales desventajas de esta tecnología son la complejidad en la fabricación de los sistemas, el mayor costo, y la permanencia de residuos en el suelo (en el caso de matrices de polímeros inertes) (Nakamatsu, 2002).

Las aplicaciones de la nanotecnología (NT) en la agricultura son muy diversas, destacando principalmente la elaboración de nanopesticidas encapsulados para su liberación controlada, la producción de macro y micronutrientes al nivel nano, así como su utilización buscando hacer más eficiente y sustentable el uso y aplicaciones de los agroquímicos. El uso potencial de la NT para diseñar y fabricar nanosensores que permiten detectar la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos. Asimismo, ha permitido el desarrollo de empaques inteligentes de alimentos que pueden revelar el desarrollo bacteriano o fúngico al estar envasados. En la figura 1, se muestra que diversos tipos de NPs metálicas como las de Ag, Fe, Cu, Zn, etc., pueden ser utilizadas con un enfoque dual, ya sea como nanofertilizantes al mejorar la germinación de semillas y al promover el crecimiento de las plantas, o para emplearse como nanopesticidas. Algunos materiales como arcillas y zeolitas pueden ser usados al nivel nano para mejorar la capacidad de

retención de agua en el suelo, y además actúan como materiales de lenta liberación de agua y fertilizantes, incrementando así la eficiencia en el uso de agua y nutrientes por las plantas (Lira *et al.*, 2018).



**Figura 1.** Aplicaciones potenciales de la nanotecnología y de las nanopartículas en la agricultura, incluyendo la fabricación de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas.

La nanotecnología es un área de oportunidad en la agricultura moderna, de tal manera que se busca incorporar moléculas bioactivas en películas plásticas para desarrollar acolchados que protejan al cultivo de la forma tradicional y liberen además moléculas que repelen insectos plaga.

## **Objetivo General**

Evaluar la repelencia en *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) a aceites esenciales integrados en película plástica por nanotecnología bajo condiciones controladas.

## **Objetivos específicos**

Evaluar la repelencia en *B. cockerelli* por aceite de albahaca en película plástica bajo condiciones de laboratorio e invernadero.

Evaluar la repelencia en *B. cockerelli* por aceite de canela en película plástica bajo condiciones de laboratorio e invernadero.

Evaluar la repelencia en *B. cockerelli* por aceite de citronella en película plástica bajo condiciones de laboratorio e invernadero.

## **Hipótesis**

La nanotecnología proporcionara un medio para liberar aceites esenciales de la película plástica y *B. cockerelli* presentara repelencia al menos a uno de los aceites esenciales integrados en película plástica por nanotecnología.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades del Tomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) pertenece a la familia de las Solanáceas; su nombre proviene del náhuatl, xictlitomatl, u “tomate de ombligo”, también es conocido como tomate, coatomate, o tomate bola. La especie es originaria de Sudamérica, pero su domesticación se llevó a cabo en México. Actualmente el jitomate se considera el segundo vegetal más importante en el mundo después de la papa. Las principales variedades comerciales son: tomate bola, cherry, saladette, pera, beef, marmande, vemone, moneymaker, muchamiel, pometa tardío, san marzano, cocktail, ramillete y liso (Biodiversidad Mexicana, 2019).

### Taxonomía:

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las Solanáceas.

Clase..... Dicotiledóneas.

Orden.....Sonalanes (Personatae).

Familia.....Solanaceae.

Subfamilia.....Solanoideae.

Tribu.....Solaneae.

Género.....Solanum.

Especie.....*Lycopersicum* (C. Linneo).

### Características morfológicas:

El tomate es una planta perenne herbácea que se cultiva como anual, puede desarrollarse como planta erecta, rastrera o semirrecta. El crecimiento es limitado en las variedades determinadas, mientras que es ilimitado en variedades indeterminadas (SNAVMO, 2019).

**Sistema radicular:** El sistema radical del tomate está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias (SNAVMO, 2019).

**Tallos:** En los primeros estadios de crecimiento el tallo es frágil, herbáceo y pubescente, luego se convierte en decumbente, semileñoso, con pelos glandulares. Durante el primer período de desarrollo se mantiene en posición erecta y luego el propio peso lo hace recostarse sobre el suelo. Hasta la aparición de la primera inflorescencia la ramificación es monopodial, luego la ramificación es simpodial. Las variedades comerciales pueden clasificarse en dos categorías: de crecimiento determinado que presentan inflorescencias junto con cada una o dos hojas y el ápice terminal se diferencia en un racimo floral; mientras, que los de desarrollo indeterminado presentan inflorescencias más espaciadas, un porte más alto y el brote terminal siempre es vegetativo (SNAVMO, 2019).

**Hojas:** Los cotiledones son fusiformes agudos, las primeras dos hojas son simples y las posteriores son compuestas, alternas pinatisectas, imparipinnadas (con 7 ó 9 foliolos), con los foliolos dentados o lobulados, y con pelos glandulares (SNAVMO, 2019).

**Flores:** Las flores se agrupan en racimos simples o ramificados, con pedúnculos cortos, provistas de cáliz y corola con cinco pétalos. Se encuentran ubicadas en diferentes pisos o estratos, con 3 a 10 flores por inflorescencia. Las flores son hermafroditas y se autofecundan (SNAVMO, 2019).

**Fruto:** Es una baya de color rojo o amarillo, de forma globular, achatada o piriforme, tiene un diámetro de 3 a 16 cm y el número de lóculos puede variar de dos a treinta (SNAVMO, 2019).

**Semilla:** La semilla tiene 3 a 5 mm de diámetro, es reniforme aplastada, de color marrón claro y recubierta de pelos (SNAVMO, 2019).



**Figura 2.** Planta de tomate.

### **Psílido de la papa/ paratrioza *Bactericera cockerelli* Sulc.**

Los psílidos se han considerado como plagas secundarias hasta hace algunos años, pero recientemente en varias regiones de México, se asocia al psílido *B. cockerelli*, como responsable de la transmisión de fitoplasmas en cultivos de solanáceas (chile, papa, tomate y tomate de cáscara), y de producir daños por su efecto tóxico en sus plantas hospederas. Esta especie, también es conocida con nombres comunes como: pulgón saltador, psílido de la papa, el psílido del tomate, o simplemente como salerillo. Este insecto fue descubierto en 1909 por Cockerelli en el estado de Colorado (USA) y, como reconocimiento, Sulc (1909), propuso el nombre científico *Trioza cockerelli*, aunque más tarde se confirmó taxonómicamente como *Paratrioza cockerelli*; se le conoce también con el nombre de psílido, por su anterior clasificación dentro de la familia *Psyllidae*. Recientemente, el género de esta especie se ha revisado y se le ha asignado el nombre de *Bactericera cockerelli* (Burckhardt y Lauterer, 1997; Miller *et al.*, 2000).

## Descripción Morfológica

**Huevecillos:** De forma ovoide, de color anaranjado-amarillento, corion brillante, presentan en uno de sus extremos un pequeño filamento, con el cual se adhieren a la superficie de las hojas (Marín *et al.*, 1995), depositados por separado, principalmente en el envés de la hoja y por lo general cerca del borde de la misma (Fig. 3) (CAB, 2015 citado por Bujanos y Ramos, 2015).



**Figura 3.** Huevecillos de *Bactericera cockerelli*.

**Estadios ninfales:** Presenta cinco estadios con forma oval, aplanados dorso-ventralmente, con ojos bien definidos. Las antenas presentan sencillas placoides (estructuras circulares con función olfatoria), las cuales aumentan en número y son más notorias conforme el insecto alcanza los diferentes estadios. El perímetro del cuerpo presenta estructuras cilíndricas que contienen filamentos cerosos, los cuales forman un halo alrededor del cuerpo (Marín *et al.*, 1995).

Las ninfas presentan una coloración anaranjada. Las antenas presentan los segmentos basales cortos y gruesos y se van adelgazando hasta finalizar en un pequeño segmento con dos setas sensoras; ojos notorios tanto en vista dorsal como ventral con una tonalidad anaranjada. Tórax, con paquetes alares poco notables. La segmentación en las patas es poco visible. La división del cuerpo no está bien definida (Fig. 4) (Marín *et al.*, 1995).

A partir del segundo estadio, se aprecian claramente las divisiones entre cabeza, tórax y abdomen. La cabeza presenta un matiz amarillento, las antenas son gruesas

en su base y se estrechan hacia su parte apical presentando en estas dos setas sensoras. Los ojos presentan un color anaranjado oscuro. El tórax es de color verde-amarillento y los paquetes alares se hacen visibles; la segmentación en las patas se hace notoria. Tanto el tórax como el abdomen incrementan su tamaño. El abdomen presenta una coloración amarilla, y se aprecia un par de espiráculos en cada uno de los cuatro primeros segmentos (Fig. 4) (Marín *et al.*, 1995).

En el tercer estadio, la segmentación entre cabeza, tórax y abdomen es notoria. La cabeza es de color amarillo, las antenas presentan las mismas características que el estadio anterior. Los ojos presentan una coloración rojiza. El tórax, presenta un tono verde-amarillento y se observa con mucha facilidad los paquetes alares en mesotórax y metatórax. El abdomen es de color amarillo (Fig. 4) (Marín *et al.*, 1995).

El cuarto estadio tiene las mismas características de la cabeza y antenas del estado anterior. El tórax es de color verde-amarillento, la segmentación de las patas está bien definida y se aprecia en la parte terminal de las tibias posteriores, los segmentos tarsales y un par de uñas; estas características se aprecian fácilmente en ninfas aclaradas y montadas. Los paquetes alares están bien definidos. La coloración del abdomen es amarilla y cada uno de los cuatro primeros segmentos abdominales presenta un par de espiráculos (Fig. 4) (Marín *et al.*, 1995).

La segmentación entre cabeza, tórax y abdomen está definida en el quinto estadio. En la cabeza, las antenas están seccionadas en dos partes por una hendidura marcada cerca de la parte media; la parte basal es gruesa y la parte apical filiforme presentando seis sencillas placoides visibles en ninfas aclaradas y montadas. Los ojos adquieren un color guinda. El tórax presenta los tres pares de patas con su segmentación bien definida y la parte terminal de las tibias posteriores presentan las características anteriormente señaladas. Los paquetes alares están claramente diferenciados, sobresaliendo del resto del cuerpo. El abdomen es semicircular y presenta un par de espiráculos en cada uno de los cuatro primeros segmentos (Fig. 4) (Marín *et al.*, 1995).

Al emerger el adulto presenta una coloración verde-amarillento; es inactivo y de alas blancas que al paso de 3 o 4 horas se tornan transparentes (se conoce como adulto teneral). La coloración del cuerpo pasa de ligeramente ámbar a café oscuro o negro; este cambio se presenta en los primeros 7 a 10 días de alcanzar este estadio (se tienen datos que la coloración cambia cuando el adulto se aparea). Cabeza: 1/10 del largo del cuerpo, con una mancha de color café que marca la división con el tórax, ojos grandes de color café y antenas filiformes. Tórax: blanco amarillento con manchas café bien definidas, la longitud de las alas es aproximadamente 1.5 veces el largo del cuerpo. (Fig. 4) (Marín *et al.*, 1995).



**Figura 4.** Ciclo biológico de *Bactericera cockerelli*.

La hembra tiene abdomen con cinco segmentos visibles más el segmento genital, este es de forma cónica en vista lateral, en la parte media dorsal se presenta una mancha en forma de “Y” con los brazos hacia la parte terminal del abdomen (Fig. 5) (Marín *et. al.*, 1995).



**Figura 5.** Hembra adulta y segmento genital en forma cónica.

El macho tiene seis segmentos visibles más el genital, este último se encuentra plegado sobre la parte media dorsal del abdomen; al ver este insecto dorsalmente se distinguen los genitales con estructuras en forma de pinza que caracteriza a este sexo (Fig. 6) (Marín *et al.*, 1995).



**Figura 6.** Macho adulto y segmento genital.

### **Tamaño de los estadios**

El tamaño de los estados de desarrollo del insecto (huevecillo, ninfa y adulto) se presentan en el Cuadro 1 (Department of Agriculture Australian Government, 2012).

**Cuadro 1.** Tamaños de los estados de desarrollo de *B. cockerelli*.

Estados de desarrollo	Largo mm	Ancho mm
Huevo	0.32-0.34	0.18
Ninfa:		
1	0.40	0.21
2	0.52	0.33
3	0.80	0.48
4	1.18	0.75
5	1.65	1.23
Adulto (incluyendo alas):	2.8-2.9 (machos)	2.8-3.2 (hembras)

El rango óptimo de temperatura es de 21-27 °C (Capinera, 2001; Munyaneza, 2010), temperatura arriba de 32°C es perjudicial para *B. cockerelli* porque reduce la puesta de huevos y la eclosión, 27 °C es la temperatura óptima para el psílido (Cranshaw, 2001 citado por Wen *et al.*, 2009).

### **Biología y Hábitos**

Las ninfas de *B. cockerelli* toman normalmente una posición debajo de las hojas en las plantas donde el follaje es denso, pero unas cuantas pueden ser encontradas por el haz; su cuerpo es plano como escamas y su color verde dificulta observarlas; cuando están jóvenes se localizan cerca del sitio donde fueron depositados los huevecillos y permanecen inactivas durante los primeros instares. Este insecto generalmente deposita sus huevecillos por el envés y bordes de las hojas, pero si la incidencia es muy alta, también lo hace en las flores (Becerra, 1989 citado por SENASICA, 2009 citado por Bujanos y Ramos, 2015).

La paratrioza tiene hábitos migratorios, alcanzando vuelos de hasta 1.5 kilómetros de altura. Se presenta con mayor incidencia en zonas agrícolas de monocultivo de papa, jitomate, tomate de cáscara y chile, llegando a éstos desde cultivos de otras regiones y sus hospedantes silvestres. En algunos lugares el insecto desaparece

durante el invierno, emigrando a grandes distancias en busca de alimento (Anónimo, 2013).

Una hembra madura puede poner en promedio 500 huevos en un período de 21 días, aunque se tienen datos de que llegan a ovipositar hasta 1,500 en su ciclo de vida (Garzón, 2010 citado por Bujanos y Ramos 2015).

### **Hospederas**

El psílido de la papa tiene un amplio rango de hospederas cultivados y silvestres; las solanáceas, como chile (*Capsicum spp*), papa (*Solanum tuberosum*), jitomate (*S. Lycopersicum*) y tomate de cáscara (*Pysallis spp*) son de los más preferidos por las hembras para depositar sus huevecillos y desarrollar sus poblaciones. Se considera que el ciclo biológico de este insecto no varía en los cultivos de papa y tomate, sin embargo, el estado ninfal es más prolongado en aquellas especies de plantas que no pertenecen a la familia antes señalada: tal es el caso de algunas especies de maleza que son hospederas. Aunque el psílido del tomate se encuentra principalmente en la familia Solanaceae, también ataca a otras especies de otras familias botánicas (Pletsch, 1947; y Wallis, 1955). Por otro lado, se han reportado a las siguientes especies de plantas como hospederas alternantes de los fitoplasmas que infectan al cultivo: *Datura stramonium*, *D. metal*, *Cyphomandra betacea*, *Nicotiana tabacum*, *Medicago sativa*, *Melilotus alba* y *Trifolium repens*, tabaco (*Nicotiana tabacum*), berenjena (*Solanum melongena* L.), en las silvestres se encuentra el toloache común (*Datura stramonium* L.), hierba mora (*Solanum nigrum* L.) (Martin, 2008).

### **Distribución**

Este insecto se encuentra ampliamente distribuido en las principales regiones productoras de jitomate: Villa de Arista, San Luis Potosí, Yurécuaro, Michoacán, la región de La Laguna en los estados de Durango y Coahuila, San Quintín, Baja

California, y en Morelos, Puebla, Guanajuato, Nayarit, Sinaloa y Estado de México (Vega *et al.*, 2008 citado por Bujanos y Ramos, 2015).

## **Importancia económica**

### **Daño en cultivos**

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es la cuarta especie hortícola más cultivada en México, antecedida por el jitomate (*Solanum lycopersicum*), la papa (*Solanum tuberosum*) y el chile (*Capsicum annuum*) (Anónimo, 2002 citado por Bujanos y Ramos, 2015). Además, es hospedero de diversas plagas que limitan su capacidad productiva cuando éstas encuentran condiciones favorables para su reproducción; entre ellas destaca *Bactericera cockerelli* (Sulc), la cual ataca también a otras especies cultivadas como jitomate, chile y papa (Almeyda *et al.*, 2008).

*Bactericera cockerelli* provoca dos tipos de daño en sus plantas hospedantes: 1) durante sus estados ninfales inyecta una toxina que causa clorosis en la planta y 2) transmite un fitoplasma que origina la enfermedad permanente del tomate, la cual produce hasta 45 % de pérdidas en rendimiento en las 30 000 ha cultivadas en México (Almeyda *et al.*, 2008).

La cantidad de ninfas de *B. cockerelli* observadas puede ser suficiente para causar problemas metabólicos en la planta, ya que se ha reportado que, desde una hasta 25 ninfas por planta, son suficientes para causar los síntomas de toxicidad, aunque en esos estudios no se hicieron análisis de fitoplasmas en las plantas, por lo que existe la posibilidad de que los psílidos, aún en pequeñas cantidades, hayan transmitido los fitoplasmas que causan los síntomas de la PMP. La cantidad de chicharritas y de psílidos observados en el Estado de México fue alta si se considera la gran movilidad de los insectos adultos, los cuales tienen la habilidad de alimentarse de distintas plantas. En Coahuila y Nuevo León también se capturaron altas poblaciones de chicharritas y psílidos y se encontró un alto porcentaje (50%)

de plantas positivas a fitoplasmas. En Guanajuato se detectó que el 31% de las muestras contenían el fitoplasma causante de la PMP. En todas las regiones se encontraron insectos vectores de los fitoplasmas que causan la PMP, también se encontraron plantas con fitoplasmas, lo cual confirma que la enfermedad y sus vectores están ampliamente distribuidos en las principales zonas productoras de papa en México (Rubio *et al.*, 2006).

### **Enfermedades asociadas a la Paratrioza**

En general, los estadios ninfales de *B. cockerelli* son la etapa del ciclo biológico que producen la enfermedad causada por el amarillamiento, y parece que son inherentemente toxigénica (Cranshaw, 1994). Mediante pruebas repetidas (Richards *et al.*, 1933), encontraron que las densidades tan altas de adultos de *B. cockerelli* por planta de papa, no lograron producir síntomas de amarillamientos. Aunque Daniels (1934) encontró que los adultos fueron capaces de producir síntomas de la enfermedad en plantas de tomate para trasplante. Richards (1931) encontró que menos de 15 ninfas no indujeron síntomas uniformes de la enfermedad en las papas, pero con infestaciones mayores, los síntomas aparecen entre 4-6 días. Las plantas de papa pueden reanudar una apariencia normal y saludable si las ninfas son eliminadas 5-10 días después de la aparición de los primeros síntomas (Arslan *et al.*, 1985). Para los tomates, las relaciones con respecto al número de ninfas por planta y el umbral de daño resultante puede variar entre los cultivares; sin embargo, van a aparecer síntomas de amarillamientos cuando al menos ocho ninfas se alimenten en plantas de tomate de dos semanas de edad (Liu y Trumble, 2006). Estudios adicionales (Liu y Trumble 2006) encontraron que los cultivares de tomate también exhiben diferentes potenciales de recuperación, y como una medida conservadora recomiendan tratar cultivares de tomate cuando el número de *B. cockerelli* sea de 10 ninfas por planta por un período de cinco días.

### **Punta morada de la papa:**

Los síntomas de la enfermedad conocida como punta morada de la papa (PMP) en México son similares a Zebra chip en los Estados Unidos y han sido reportados en diferentes países como: México (Rubio *et al.*, 2006), Nueva Zelanda (Liefting *et al.*, 2008), el noroeste de los Estados Unidos y en Centroamérica (Munyanza *et al.*, 2007; Munyanza *et al.*, 2008; Secor *et al.*, 2009). Los síntomas de la PMP (Fig. 7) se caracterizan por un achaparramiento de la planta, abultamiento del tallo en los lugares de inserción de las hojas, formación de tubérculos aéreos y las hojas superiores tienden a adquirir una coloración morada en algunas variedades. Los tubérculos provenientes de plantas con síntomas de PMP desarrollan un pardeamiento interno y generalmente no brotan, o si lo hacen, sus brotes son muy delgados o ahilados (Rubio *et al.*, 2011).



**Figura 7.** Punta morada de la papa.

### **Zebra chip:**

El chip de cebra (ZC), una enfermedad emergente que causa pérdidas económicas a la industria de la papa, se ha informado desde principios de la década de 1990 en América Central, México y en Texas durante el año 2000. Posteriormente se encontró ZC en Nebraska, Colorado, Nuevo México, Arizona, Nevada, California y Kansas. Se reportaron pérdidas severas a los cultivos de papa en los últimos años en México, Guatemala y Texas. Los síntomas foliares incluyen la parte superior púrpura, entrenudos acortados, hojas pequeñas, agrandamiento de los tallos, brotes axilares hinchados y tubérculos aéreos. Las virutas hechas de tubérculos infectados exhiben rayas oscuras que se vuelven notablemente más visibles al freír y, por lo tanto, son inaceptables para los fabricantes (Fig. 8). Los tubérculos infectados

pueden o no producir plantas cuando se plantan. El agente causal de ZC no se conoce y ha sido objeto de una mayor investigación (Abad *et al.*, 2008).



**Figura 8.** Rayado de papa (Zebra chip).

Varios autores mencionan en diversos reportes que los síntomas asociados con la enfermedad conocida como Zebra chip fue documentada por primera vez en cultivos de papa cerca de Saltillo, México, en 1994 (Secor y Rivera-Varas, 2004; Munyaneza *et al.*, 2007a), aunque son solo suposiciones dado que la verificación precisa de Zebra chip y su asociación con *Candidatus Liberibacter solanacearum* se realizó hasta 2009 (Hansen *et al.*, 2008). Las papas afectadas por la enfermedad presentan los siguientes síntomas en la parte aérea: el retraso del crecimiento, clorosis, entrenudos hinchados, proliferación de yemas axilares, tubérculos aéreos, pardeamiento del sistema vascular, hojas quebradizas, y la muerte prematura de la planta (Munyaneza *et al.*, 2007b). En los Estados Unidos de América Zebra chip fue identificada por primera vez en los campos comerciales del Valle del Río Grande en Texas en 2000 y desde entonces ha sido registrado en Arizona, California, Colorado, Kansas, Nebraska, Nevada y Nuevo México (Secor y Rivera-Varas, 2004; Munyaneza *et al.*, 2007a). En el cultivo de papa durante 2004 a 2006, las pérdidas económicas debidas a Zebra chip tanto para los productores de papa y procesadores en numerosos lugares en los EE.UU. y México a menudo condujeron al abandono de los cultivos resultando en pérdidas que excedían a varios millones de dólares (Munyaneza *et al.*, 2007a). Solo en Texas, esta enfermedad ha sido responsable de una reducción de la superficie cultivada de papa en un 20%, y se estima que sea el responsable de pérdidas de 25 millones durante los brotes

epidémicos de 2004-2006 (Wen *et al.*, 2009). La enfermedad también se ha documentado en los campos de papa en Guatemala y Honduras con la incidencia de hasta el 80% de pérdidas totales de campo a causa de los tubérculos no comercializables (Secor y Rivera-Varas, 2004; Crosslin *et al.*, 2010).

### **Permanente del tomate:**

*Candidatus Liberibacter solanacearum* (Sin. *Candidatus L. psyllaourous*), está asociado como responsable de la enfermedad Permanente del tomate y Punta morada de la papa-manchado del tubérculo (Zebra chip) y es transmitida por *B. cockerelli*. En el caso de México, el Permanente del tomate (Figura 9), inicia con una clorosis de los bordes y un enrollamiento de las hojas inferiores que adquieren una estructura quebradiza, con un verde intenso y brillante. Las flores se secan (aborto). Las plantas quedan achaparradas, más verdes de lo normal y finalmente se tornan amarillentas, secándose por fungosis en la raíz, causada por el debilitamiento de la planta y mayor susceptibilidad al ataque de otros patógenos (Garzón *et al.*, 2005 citado por Bujanos y Ramos, 2015).



**Figura 9.** Permanente del tomate.

### **Estrategias de control del psílido de la papa**

Las estrategias de manejo dirigidas contra el psílido *B. Cockerelli* son los únicos medios efectivos para manejar los problemas fitosanitarios que se generan en los cultivos de solanáceas, sin embargo, las fuertes pérdidas económicas que ha

causado la plaga, ocasionan que en la mayoría de los casos el control esté basado en su totalidad en el control químico haciendo un lado la posibilidad de complementar con estrategias de control biológico donde se ha demostrado que son una buena opción de control complementaria (Bujanos y Ramos, 2015).

### **Muestreo y monitoreo:**

El monitoreo de las poblaciones del psílido de la papa y el tomate sirve para determinar su presencia y conocer la estructura de sus poblaciones; es decir, cuál es la proporción relativa de sus diferentes estados biológicos y si están presentes en una densidad de población que requiera llevar a cabo alguna acción de manejo, ya sea a nivel regional o de unidad de producción. El monitoreo es un valioso auxiliar para determinar el inicio del proceso de inmigración al cultivo y para determinar la eficacia de las tácticas de manejo que se estén utilizando (Bujanos y Ramos, 2015).

### **Muestreo de foliolos:**

El muestreo se realiza dos veces por semana, se deben realizar en las orillas y en el centro del cultivo, diez hojas por sitio de muestreo, las hojas a revisar deben ser de la parte media a baja de la planta y las que estén menos expuestas ya que los adultos y ninfas prefieren estas zonas, la revisión debe ser minuciosa apoyándose con lupas, el muestreo es el sistema más adecuado para el monitoreo de las poblaciones de estados inmaduros (huevos y ninfas). Crespo (2012) investigó tamaños de muestra en tomate de cáscara y propuso metodologías para asegurar tamaños de muestra y metodologías robustas en función de la región agrícola que se trate. En los Estados Unidos el Dr. John Trumble ha desarrollado ensayos para recomendar tamaños de muestra en función del estado de desarrollo de *B. cockerelli*; en Nueva Zelanda también se han generado metodologías de muestreo fundamentadas en esquemas de muestreo secuencial, debido al carácter cuarentenario en que se clasifica (Bujanos y Ramos, 2015).

## **Muestreo con red entomológica**

El muestreo con red de golpeo o entomológica, es la mejor herramienta para determinar la incidencia de insectos adultos dentro del cultivo. Debe de realizarse desde que aparece el follaje del cultivo. Realizando dos muestreos por semana. El muestreo debe de realizarse en las orillas y en el centro de la tabla para determinar la invasión de la plaga. Con veinte redazos o golpes por sitio de muestreo son suficientes para determinar la incidencia de la plaga (Bujanos y Ramos, 2015).

## **Trampas amarillas**

Las trampas amarillas son efectivas para detectar poblaciones inmigrantes de insectos al cultivo y deben de colocarse desde el inicio del cultivo, se recomienda el empleo de trampas rectangulares de 48 pulgadas<sup>2</sup> (Garzón *et al.*, 2002 citado por Bujanos y Ramos, 2015). Las más efectivas para capturar insectos vectores son las de color amarillo.

## **Uso de nanopartículas en el control de plagas**

### **Generalidades del uso de nanopartículas en el control de plagas**

Hasta el día de hoy, se han realizado múltiples investigaciones sobre las diferentes formas en que se puede aplicar la nanotecnología para mejorar la agricultura y esta empieza a ser un campo muy prometedor ya que está generando muy buenos resultados. Ya existen estudios que confirman que las nanopartículas metálicas son efectivas contra los patógenos de plantas, insectos y plagas. De hecho, las nanopartículas se pueden usar como nuevas formulaciones de pesticidas, insecticidas y de repelentes de insectos mediante técnicas de nanoemulsión o nanoencapsulación (Tortosa, 2012 citado por Johanny y Juliana, 2019).

La nanotecnología permite controlar la estructura de la materia, molécula por molécula, e incluso manipular los átomos individuales que la integran, construyendo mecanismos microscópicos con novedosas aplicaciones prácticas, especialmente

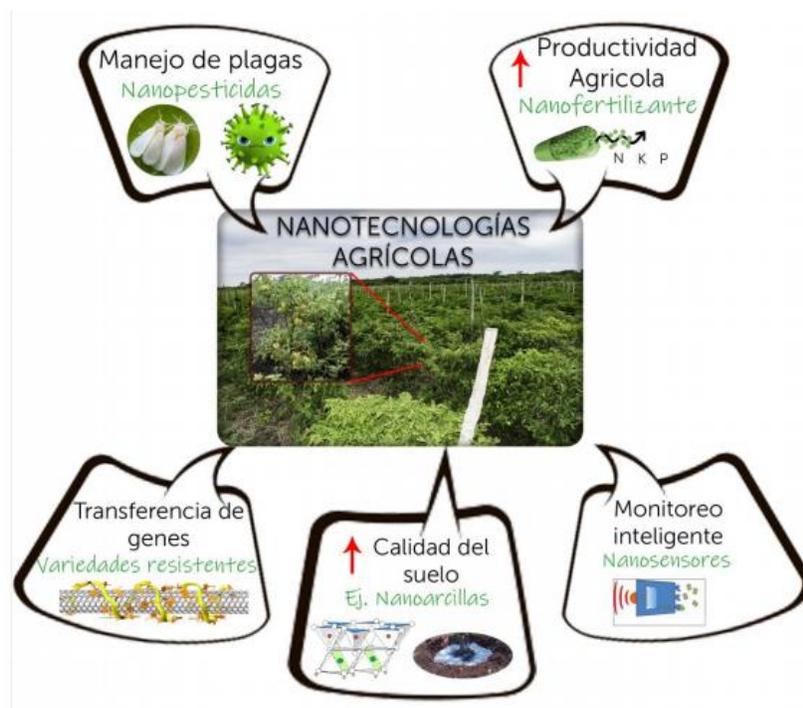
en las áreas de informática, electrónica, manufactura, agricultura, transporte, comunicaciones, energía y medicina. En cada campo, ya disfrutamos algunas ventajas de la visible miniaturización de nuestras computadoras celulares y aparatos de música o video, así como el uso creciente de robots industriales o para la exploración espacial, las comunicaciones vía Internet y satélite, el control de los problemas ambientales como el cambio climático, nuevas formas de energía y alimentos, entre otros, pero quizás lo más significativo para el ser humano serán los aparatos médicos siempre más pequeños para operaciones complejas y terapias de enfermedades incurables o crónicas, tal como se anticipó hace cuatro décadas en la conocida película de ciencia-ficción “Viaje fantástico” (Palmitesta, 2008).

En otras palabras, la revolución de la nanotecnología ya está aquí para quedarse y promete acelerar el desarrollo de técnicas cada vez más sofisticadas para alterar radicalmente nuestras formas de vida, de modo que en el siglo XXI podría iniciarse “la era de la nanotecnología”. Esta era, que realmente comenzó con la invención del transistor en los años 50, y continuó con el desarrollo del microchip en los años 60, ahora atraviesa por una nueva fase que influye mayormente en la electrónica. A una escala tan diminuta, será posible diseñar circuitos, sensores, materiales, e incluso laboratorios integrados en un único microchip, aunque éste ya no estará hecho de sílice como los modernos chips digitales (basados en ceros y unos), sino de sustancias químicas que pueden ser activadas con magnetismo o señales químicas (Palmitesta, 2008).

Las propiedades novedosas de los nanomateriales ofrecen muchas oportunidades nuevas a las industrias agrícolas y de alimentos, por ejemplo, en la forma de colorantes, saborizantes y aditivos nutricionales más fuertes para uso en alimentos, ingredientes antibacterianos para el envasado de alimentos y agroquímicos y fertilizantes más potentes. En muchos casos, la misma tecnología puede viabilizar aplicaciones en toda la cadena agrícola y de suministro de alimentos. Por ejemplo, hoy se utilizan extensamente unos compuestos de nanoarcilla –plásticos a los que se les ha agregado plaquetas de arcilla nanoscópicas– tanto en el envasado de alimentos y bebidas como en caños y plásticos de uso agrícola que permiten la

liberación controlada de herbicidas, y se está estudiando su empleo como revestimientos de fertilizantes de liberación controlada. La posibilidad que tienen las nanotecnologías de aplicarse a múltiples sectores no sólo significa mayores rendimientos para las inversiones en investigación, sino que también permite a las compañías ampliar sus actividades comerciales incursionando en otras industrias y segmentos de mercado totalmente nuevos. Por esta razón, suele decirse que la nanotecnología es una tecnología de 'plataforma' (Foladori y Invernizzi, 2008).

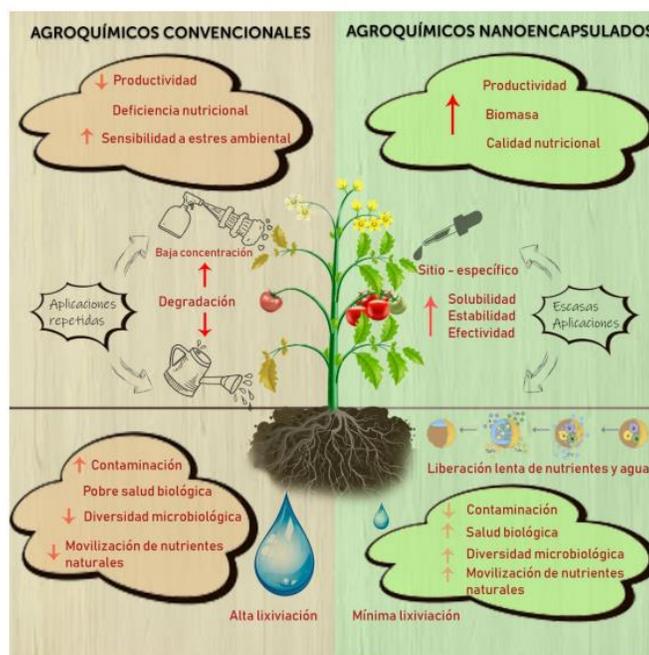
La nanotecnología es una tecnología que se usa para aumentar la rentabilidad, mientras se reduce el impacto de la agricultura sobre el ambiente. Por ejemplo, la adición de nanopesticidas (manejo de plagas), nanofertilizantes (NF) (aumento en los rendimientos agrícolas), nanoarcillas (recuperación de la calidad de los suelos) y NPs (nanopartículas) que medien la transferencia de genes (desarrollo de variedades resistentes a plagas y a ambientes extremos). El uso de nanosensores basados en "sistemas de entrega inteligentes" puede contribuir al uso eficiente de recursos como el agua, los nutrientes y otros agroquímicos (Fig. 10) (Echeverría, 2019).



**Figura 10.** Aplicaciones de las nanotecnologías en la agricultura.

Por ejemplo, nanopartículas (NPs) de plata de 10 a 20 nm se han aplicado de manera efectiva para el manejo de la enfermedad de la mancha marrón en trigo, causada por el hongo *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker (Mishra *et al.*, 2014). Igualmente, NPs de zinc con un tamaño entre 16 a 20 nm han sido efectivas contra bacterias (Elumalai *et al.*, 2015) y hongos fitopatógenos (Rajiv *et al.*, 2013). Recientemente, el uso de NMs (nanoportadores o nanocápsulas) basados en carbono y en metales, suprimió la infección viral (Turnip mosaic virus, TuMP) en *Nicotiana benthamiana* Domin (Hao *et al.*, 2018).

La nanoencapsulación o el nanorecubrimiento de los agroquímicos tienen una función vital en la protección del ambiente y en la planta. Estos procesos evitan la degradación de los compuestos y el lixiviado de los mismos, por lo que se garantiza la concentración efectiva requerida en la planta, aumentando la producción vegetal y la calidad nutricional de los cultivos. En cambio, con los agroquímicos convencionales, esta concentración no puede asegurarse y por ello, se requiere de aplicaciones repetidas, aumentando la contaminación ambiental (Fig.11) (Echeverría, 2019).



**Figura 11.** Efectos de la aplicación de los agroquímicos convencionales (fertilizantes, pesticidas, etc.) y los agroquímicos nanoencapsulados o nanoformulaciones, sobre las plantas y el ambiente.

En particular, un nanofertilizante (NF) se refiere a un producto que entrega nutriente a los cultivos a través de tres maneras: que sirvan como macro o micronutrientes para las plantas, nutrientes químicos convencionales encapsulados en el interior de los NMs (nanoportadores o nanocápsulas) o recubiertos por películas poliméricas protectoras (De Rosa *et al.*, 2010; Ditta y Arshad 2016). En el primer caso, por ejemplo, la aplicación de NPs (nanopartículas) de zinc y de hierro a cultivos que crecen en suelos con pH alcalino y ricos en carbonato de calcio es muy importante. En estos suelos la disponibilidad de los micronutrientes de Zn y Fe para las plantas es baja y las NPs (nanopartículas) proporcionan una forma más soluble de estos elementos debido a su alta reactividad. Igualmente, la aplicación de NPs de titanio, NPs de plata y los nanotubos de carbono aumenta el crecimiento y la productividad vegetal de una manera dependiente de la especie (Khodakovskaya *et al.*, 2013; Duhan *et al.*, 2017).

Uno de los objetivos de la nanotecnología en la agricultura podría ser hacer que los suelos sean más capaces para mejorar el uso eficiente de nutrientes para una mayor productividad y una mejor seguridad ambiental. El manejo de nutrientes con nanotecnología debe basarse en dos parámetros importantes, es decir, los iones deben estar presentes en formas disponibles para la planta en el sistema del suelo, y dado que el transporte de nutrientes en los sistemas suelo-planta depende del intercambio iónico (p. Ej.,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ), las reacciones de adsorción-desorción (p. ej., nutrientes de fósforo) y solubilidad-precipitación (p. ej., hierro), los nanomateriales deben facilitar procesos que aseguren la disponibilidad de nutrientes para las plantas en la velocidad y forma que las plantas demanden. Los materiales nanofabricados que contienen nutrientes para plantas se pueden usar en forma de suspensión acuosa e hidrogel, para permitir una aplicación sin riesgos, un almacenamiento fácil y un sistema de entrega conveniente. Del mismo modo, la aplicación de nanopartículas de hierro de valor cero e incluso nanopartículas de óxido de hierro podría aprovecharse para la remediación de suelos contaminados con pesticidas, metales pesados y radionucleidos, dada la alta

afinidad de adsorción que estos nanomateriales tienen para compuestos orgánicos y metales pesados (Mukhopadhyay, 2014).

**Cuadro 2.** Ejemplos de avances recientes en nanotecnología en agricultura.

<b>Producto</b>	<b>Solicitud</b>	<b>Institución</b>
Nanocidios	Pesticidas encapsulados en nanopartículas para liberación controlada Nanoemulsiones para mayor eficiencia	BASF, Ludwigshafen, Alemania Syngenta, Greensboro, Carolina del Norte, EE. UU.
Fertilizante Buckyball Nanopartículas	Amoniaco de buckyballs Nanopartículas específicas de adhesión para la eliminación de <i>Campylobacter jejuni</i> de aves de corral	Universidad de Kyoto, Kyoto, Japón Universidad de Clemson, Clemson, SC, EE. UU.
Envasado de alimentos	Embalaje de plástico hermético con nanopartículas de silicato.	Bayer AG, Leverkusen, Alemania
Aprovechamiento de residuos agrícolas. Nanosensores	Nanofibras de desperdicios de algodón para mejorar la resistencia de la ropa Contaminación de alimentos envasados. Detección de patógenos	Universidad de Cornell, Ithaca, NY, EE. UU. Nestlé, Kraft, Chicago, Estados Unidos Universidad de Cornell, Vevey, Suiza
Agricultura de precisión	Nanosensores vinculados a una unidad de seguimiento del sistema de posicionamiento global para el monitoreo en tiempo real de las condiciones del suelo y el crecimiento de los cultivos.	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Washington, DC, EE. UU.

## Descripción de nanopartículas

La reducción química es el método más utilizado para la preparación de nanopartículas; un ejemplo son las de plata (Ag NPs) que se pueden sintetizar en forma de dispersiones ya sea en agua o en disolventes orgánicos, utilizando reductores como borohidruro, citrato, ascorbato y el hidrógeno elemental. La síntesis verde de Ag NPs involucra tres pasos principales que deben ser evaluados en base a las perspectivas de la química verde: (1) la selección de medio solvente, (2) la selección del agente reductor amigable con el ambiente, y (3) la selección de sustancias no tóxicas para la estabilidad de las nanopartículas. Otra síntesis verde que se ha investigado es la obtención de nanopartículas de platino mediante aminodextrano. Los compuestos de amonio cuaternario y aminoácidos han sido utilizados ampliamente en la síntesis como agentes de dispersión y reductores demostrando que existe una coordinación directa de nanopartículas metálicas con sales de amonio y que las nanopartículas quedan protegidas por los grupos amino exterior del dendrímero. El aminodextrano se puede sintetizar de la reacción entre el dextrano oxidado y 1,3-propanodiamina. Tiene muchos grupos funcionales útiles tales como un aldehído reductor y los grupos amino (Camacho *et al.*, 2011).

Las nanopartículas (NPs) también son utilizadas para mejorar la eficiencia de los plaguicidas al aplicar en el campo menores dosis (Patil *et al.*, 2012).

El enfoque no biológico de las NPs crea posibilidades muy diversas con gran potencial en numerosas actividades del ser humano, incluyendo los envases plásticos y películas de polietileno (PE) nanoestructuradas para usos diversos. Recientemente, este enfoque se ha extendido a objetivos biológicamente interesantes, incluyendo péptidos y proteínas. Las condiciones relativamente sencillas de polimerización por precipitación utilizando acrilamidas tales como N-isopropilacrilamida han sido óptimas para la impresión biomacromolecular (Hoshino *et al.*, 2008).

## **Propiedades**

Las propiedades y efectos de las partículas y materiales a nanoescala difieren considerablemente de las partículas más grandes con igual composición química. Las nanopartículas pueden tener una mayor reactividad química y ser más bioactivas que las partículas más grandes, por su tamaño, tienen mejor acceso a cualquier cuerpo y tienen probabilidad de entrar en células, tejidos y órganos. Estas propiedades ofrecen nuevas aplicaciones en casi todas las áreas de la industria. La nanotecnología tiene aplicación en sistemas de alimentación y agricultura sustentable, mientras que los nanomateriales ofrecen innovación de productos a la industria de alimentos, en forma de colorantes, saborizantes, aditivos nutricionales e ingredientes antibacterianos para el envasado, así como agroquímicos y fertilizantes más potentes. Por ejemplo, compuestos de nanoarcilla (plásticos a los que se les ha agregado plaquetas de arcilla nanoscópicas) tanto en el envasado de alimentos y bebidas como en plásticos de uso agrícola que permiten la liberación controlada de herbicidas; también se está estudiando su empleo como revestimientos de fertilizantes de liberación controlada. La posibilidad que tienen las nanotecnologías de aplicarse a múltiples sectores permite a las compañías ampliar sus actividades comerciales incursionando en otras industrias y nuevos segmentos de mercado (Lugo *et al.*, 2010).

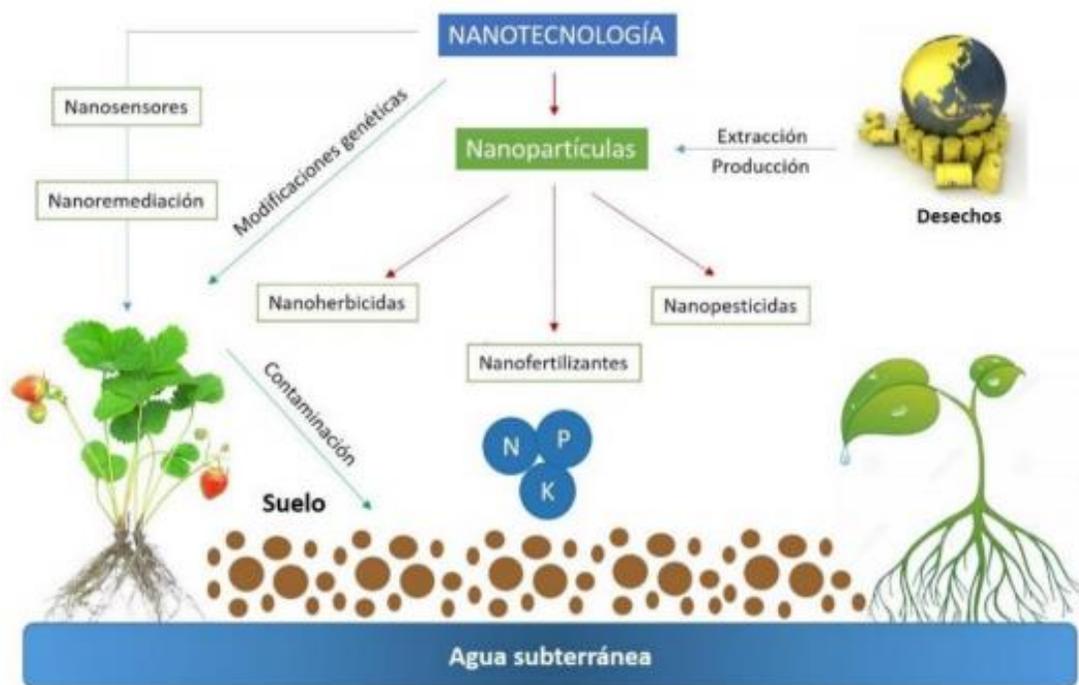
## **Importancia económica y/o en el control de plagas y enfermedades**

En años recientes muchos esfuerzos se han venido realizando en centros de investigación e instituciones de educación superior de todo el mundo, para impulsar la investigación sobre NT con la finalidad de encontrar novedosas aplicaciones de esta emergente ciencia en la producción sustentable de alimentos y cultivos (Ditta *et al.*, 2015; Kashyap *et al.*, 2015). En este contexto, la bioencapsulación de agroquímicos y microorganismos benéficos ha adquirido una gran relevancia porque es una manera de controlar plagas y enfermedades con bajo impacto ambiental, lo cual permite reducir la cantidad de agroquímicos que dañen los ecosistemas (Grillo *et al.*, 2016).

Las aplicaciones de la NT en la agricultura son muy diversas, destacando principalmente la elaboración de nanopesticidas encapsulados para su liberación controlada (Grillo *et al.*, 2016), para la producción de nano, macro y micronutrientes, así como para hacer más eficiente el uso y aplicaciones de los agroquímicos (Nuruzzaman *et al.*, 2016).

En la figura 12 se presenta un diagrama que ilustra el uso potencial de la NT (nanotecnología) para diseñar y fabricar nanosensores que permiten detectar la presencia de plagas y enfermedades de cultivos (Fraceto *et al.*, 2016). Asimismo, la NT ha permitido el desarrollo de empaques inteligentes de alimentos que pueden revelar el desarrollo bacteriano o fúngico al estar envasados (Vanderroost *et al.*, 2014). La figura también muestra que diversos tipos de NPs metálicas como las de Ag, Fe, Cu, Zn, etc., pueden ser utilizadas con un enfoque dual, ya sea como nanofertilizantes al promover el crecimiento de las plantas o como nanopesticidas (Le Van *et al.*, 2016). Algunos materiales como arcillas y zeolitas pueden ser empleados al nivel nano para mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo, y además actúan como materiales de lenta liberación de agua y fertilizantes, incrementando así la eficiencia en el uso de este recurso hídrico y de los nutrientes por las plantas. Las nanocápsulas pueden permitir la penetración efectiva de herbicidas a través de las cutículas y los tejidos, lo que permite la liberación lenta y constante de las sustancias activas. Las cápsidas virales pueden alterarse mediante mutagénesis para lograr diferentes configuraciones y administrar ácidos nucleicos, enzimas o péptidos antimicrobianos específicos que actúan contra los parásitos, nanopartículas de oro etiquetadas con ADN son efectivas contra *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) y, por lo tanto, serían un componente útil de una estrategia integrada de control de plagas, actividades antifúngicas de nanocompuestos de cobre a base de polímeros contra hongos patógenos, y nanopartículas de sílice-plata contra *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Callectotrichum gloeosporioides*, *Bipolaris sorokiniana* y *Magnaporthe grisea* ha sido reportado. Las nanopartículas de cobre en polvo de vidrio de cal sodada

mostraron actividad antimicrobiana eficiente contra bacterias y hongos grampositivos y gramnegativos (Sekhon, 2014).



**Figura 12.** Aplicaciones potenciales de la nanotecnología y de las nanopartículas en la agricultura, incluyendo la fabricación de nanosensores, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanoherbicidas.

Para el caso de la horticultura, se están utilizando nanomateriales para el tratamiento de algunas enfermedades de plantas, para la detección precoz de los patógenos que las producen (Krishnaraj *et al.*, 2016), para la mejora de la asimilación de nutrientes esenciales, e incluso para construir nanobiosensores importantes en determinados procesos biológicos (Vimala *et al.*, 2016). La NT puede incrementar la eficacia de los pesticidas e insecticidas comerciales, reduciendo la cantidad de aplicación al suelo o follaje a dosis significativamente menores que las requeridas convencionalmente, con la mejora que eso implica para los ecosistemas (Xue *et al.*, 2014).

La nutrición mineral de las plantas en la agricultura es de primordial importancia, y en este ámbito los nanofertilizantes ya están ofreciéndose en el mercado de Estado

Unidos; por ejemplo, la compañía A.M. Leonard (2016) puso a la venta el producto denominado Florikan, el cual se ha llamado NANO 16-5-11. La empresa que lo produce señala que, al utilizar NANO, se obtendrá 10 veces el número puntos de contacto comparado con el fertilizante estándar. NANO se ha formulado al 100 % como nanoencapsulado fertilizante de lenta liberación, teniendo el total de nutrientes solubles en agua para el consumo de las plantas; es elaborado con nitrato de amonio y está completamente libre de urea. Se considera que este producto es seguro de usarse, eficaz y económico con una reducción del volumen de fertilización total (Huang *et al.*, 2011).

El campo de la nanotecnología abre nuevas aplicaciones en la agricultura. La nanoencapsulación es actualmente la tecnología más prometedora para la protección de las plantas huésped contra las plagas de insectos. Con las técnicas de nanoencapsulación, es posible reducir la liberación de sustancias químicas en situaciones controladas, reduciendo la dosis de aplicación actual y mejorando la eficiencia (Sekhon, 2014).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología e Invernadero del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 22" LN y 101° 02" LO; 1742 msnm).

### Obtención de material bajo estudio

**Películas plásticas con aceite esencial.** Las películas con aceite esencial se desarrollaron en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Se obtuvieron 9 muestras de 2 m lineales por 0.2 m de ancho de cada película monocapa transparente con nanopartículas cargadas de tres aceites esenciales de albahaca, canela y citronella en tres concentraciones de 1, 3 y 5%.

**Organismo plaga.** Se utilizó el insecto plaga paratrioza *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemíptera: Triozidae), de una colonia susceptible, establecida en el Departamento de Parasitología de la UAAAN, libre de patógenos y parasitoides que afecten a los individuos. Esta especie se mantuvo bajo condiciones de invernadero a  $25 \pm 5$  °C, 60-70% humedad relativa (HR) y ventilación automatizada para reducir el calor ([IRAC] 2018, con modificaciones), en jaulas de 60x60x60 cm acondicionadas para tal propósito; desarrollada en plantas de papa *Solanum tuberosum* L., tomate *Solanum lycopersicum* L. y chile jalapeño *Capsicum annum* L. (Solanales: Solanaceae).

**Condiciones de trabajo.** El área de laboratorio se mantuvo a una temperatura promedio de  $25 \pm 5$  °C,  $60 \pm 10\%$  HR y 14:10 h luz: oscuridad de fotoperiodo). El invernadero se mantuvo a temperatura de  $25 \pm 5$  °C, humedad relativa de 60-70% y ventilación automatizada para reducir el calor y renovar el suministro de bióxido de carbono.

**Bioensayos de repelencia de aceites esenciales integrados en película plástica por nanotecnología sobre *B. cockerelli*.** Se evaluó la repelencia de los aceites esenciales integrados en película plástica por nanotecnología sobre *B. cockerelli*, por dos métodos, bajo condiciones controladas de laboratorio e invernadero, denominados de libre Elección y de ensayos de No-Preferencia respectivamente.

#### **Ensayo de Libre Elección:**

Este método consistió de pruebas de libre elección para observar la repelencia bajo condiciones de laboratorio. Se adaptaron recipientes de acrílico de 40 cm altura por 20 cm de largo y ancho, cubiertos en la boca del mismo con una pequeña sección con 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 demás mediante tubos del mismo material de 10 cm de longitud, dispuestos diagonalmente. Cada recipiente se diseñó para contener una planta de tomate *S. lycopersicum* var. Rio Grande y en 2 de ellas se colocó la película con aceite esencial a razón de 100 cm<sup>2</sup> por planta y 2 plantas sin aceite esencial; distribuido simétricamente opuesto y el recipiente central se dejaron sin planta. Inmediatamente en el recipiente central se liberaron 40 ± 10 insectos adultos sin sexar, a razón de 10 adultos por planta. Cada una de estas se realizó por triplicado.

#### **Ensayo de No-Preferencia:**

Este método de bioensayo consistió en colocar 8 plantas de 15 cm aprox. de tomate *S. lycopersicum* var. Rio Grande; que es cuando las plantas son más susceptibles de daño y cuando liberan mayor cantidad de compuestos volátiles que atraen insectos; dispuestas en jaulas de 60x60x60 cm bajo condiciones de invernadero.

El bioensayo se llevó a cabo en tres jaulas; en la jaula No. 1, se colocaron 4 plantas con la película plástica con aceite esencial a razón de 100 cm<sup>2</sup> en cada una y 4 plantas sin los tratamientos a evaluar; todas distribuidas de manera aleatoria. En la jaula No. 2 se colocó la película con aceite esencial en 8 plantas dentro de la jaula y en la jaula No. 3 se colocarán 8 plantas sin tratamiento alguno. En cada jaula se liberaron 80 ± 10 insectos adultos sin sexar a razón de 10 adultos por planta. Cada una de estas se realizó por triplicado.

**Diseño experimental.** En cada uno de los bioensayos se establecieron 2 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, correspondiendo a cada aceite esencial y su testigo.

**Evaluación.** En el ensayo de libre elección se registró el arribo (en que plántulas se posan los insectos) a la 1 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 ensayo de no-preferencia se registró el Arribo de insectos a la 1 hora y oviposición a las 24 horas después de la exposición de los insectos a los tratamientos. Con los datos en todos los bioensayos se obtuvo el índice de repelencia y/o atracción por las películas plásticas con aceite esencial con la ecuación siguiente:

$$\text{Índice de repelencia (IR)} = 2G / (G + P);$$

Dónde: G=Porcentaje de insectos en el tratamiento y P=Porcentaje de insectos en el testigo. Se utilizó como referencia: (IR=1) Neutro; (IR>1) Atrayente; (IR<1) Repelente.

**Análisis estadístico:** Los datos que se obtuvieron en cada uno de los parámetros evaluados entre los dos grupos de cada bioensayo (tratamiento y su testigo) tanto en laboratorio como invernadero, se evaluaron con un análisis de varianza y una prueba de medias de LSD ( $P < 0.05$ ), utilizando el software SAS/STAT (SAS, 2002;

Versión 9.0, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA). Se utilizó la tasa de crecimiento como el parámetro para seleccionar el efecto de los tratamientos.  $r = (1/t)(\log(N_t)/\log(N_0))$ , donde  $N_t$  es el número de individuos en el tiempo  $t$  (días),  $N_0$  es el número de individuos en el tiempo 0 (cohorte inicial= 40 psílicos) (Birch, 1948).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Repelencia de aceites esenciales integrados en película plástica por nanotecnología sobre *Bactericera cockerelli*.

#### Ensayo de Libre Elección

En la prueba de libre elección se observó a la primera hora después de iniciado el experimento (durante el cual el insecto inicia el proceso de búsqueda de alimento), un arribo de *Bactericera cockerelli* muy bajo en la planta de tomate. En el Cuadro 3, se muestra la atracción de *B. cockerelli* de tres bioensayos a diferentes concentraciones cada uno (1,3 y 5%), donde en uno de los tratamientos no presento arribo de la plaga, mientras que cinco de los bioensayos realizados si presentaron un índice de repelencia (IR) bajo las diferentes concentraciones a las que fue expuesta. Aunque no se presentaron diferencias estadísticas, a excepción del bioensayo de Albahaca al 5% y su testigo, por lo tanto, con base en el análisis estadístico, a la hora de exposición se encontraron diferencias significativas entre los índices de repelencia ( $F = 38.11$ ;  $gl = 8,18$ ;  $P < 0.0001$ ) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Arribo de adultos de *B. cockerelli* en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 1 hora de exposición bajo condiciones de laboratorio.

Tratamientos	Repeticiones			Total	(%)	IR	Referencia
	1	2	3				
Citronella 1%	2	3	1	6	54.55	1.288±0.04a	Atrayente
Testigo	1	2	2	5	45.45		
Citronella 3%	2	2	1	5	45.45	0.963±0.09b	<b>Repelente</b>
Testigo	3	1	2	6	54.55		
Citronella 5%	1	6	0	7	58.33	1.344±0.09a	Atrayente
Testigo	5	0	0	5	41.67		
Canela 1%	1	2	2	5	55.56	1.288±0.04a	Atrayente
Testigo	2	1	1	4	44.44		
Canela 3%	1	0	0	1	33.33	0.778±0.11bc	<b>Repelente</b>
Testigo	1	1	0	2	66.67		
Canela 5%	0	0	0	0	0	0.000±0.00e	N/A
Testigo	0	0	0	0	0		
Albahaca 1%	3	1	1	5	38.46	0.656±0.09cd	<b>Repelente</b>
Testigo	3	2	3	8	61.54		
Albahaca 3%	2	0	0	2	18.18	0.611±0.06cd	<b>Repelente</b>
Testigo	1	7	1	9	81.82		
Albahaca 5%	1	0	0	1	11.11	0.556±0.06d	<b>Repelente</b>
Testigo	3	3	2	8	88.89		

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

A las 24 horas de exposición a los tratamientos de diferentes aceites esenciales y a diferentes concentraciones (1,3 y 5%), el arribo de *B. cockerelli* se maximizó en todos los casos debido a la adaptación que tuvo la plaga al estar expuesta en los diferentes tratamientos. En el Cuadro 4 se observa solo atracción en dos de los bioensayos realizados, mientras que en 7 bioensayos se observó efecto de repelencia hacia *B. cockerelli*. Se puede observar en los Cuadros 3 y 4 que el bioensayo de Citronella evaluado a la hora y a las 24 horas después de estar expuesto a los aceites esenciales no presentó algún cambio de respuesta sino todo lo contrario ya que este fue un atrayente para la plaga. La canela al 3% también presentó una atracción a la primera hora de evaluación, sin embargo; mostró un cambio significativo a las 24 horas ya que pasó de tener un efecto atrayente a un efecto repelente, al estar más tiempo en contacto con la plaga. Hay diferencias

significativas entre los bioensayos con un mayor indicador de repelencia la albahaca al 5% y canela al 1% ( $F = 24.96$ ;  $gl = 8,18$ ;  $P < 0.0001$ ). (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Arribo de adultos de *B. cockerelli* en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 24 horas de exposición bajo condiciones de laboratorio.

Tratamientos	Repeticiones			Total	(%)	IR	Referencia
	1	2	3				
Citronella 1%	17	12	14	43	43.88	0.878±0.03bc	<b>Repelente</b>
Testigo	18	14	23	55	56.12		
Citronella 3%	8	21	23	52	42.62	0.851±0.02bc	<b>Repelente</b>
Testigo	20	27	23	70	57.38		
Citronella 5%	9	23	4	36	60.00	1.176±0.05a	Atrayente
Testigo	10	1	13	24	40.00		
Canela 1%	8	7	9	24	32.43	0.656±0.06d	<b>Repelente</b>
Testigo	14	21	15	50	67.57		
Canela 3%	12	15	18	45	56.25	1.126±0.01a	Atrayente
Testigo	6	13	16	35	43.75		
Canela 5%	13	7	8	28	46.67	0.938±0.11b	<b>Repelente</b>
Testigo	5	14	13	32	53.33		
Albahaca 1%	17	7	18	42	39.25	0.786±0.06bcd	<b>Repelente</b>
Testigo	29	13	23	65	60.75		
Albahaca 3%	14	7	10	31	38.27	0.764±0.02cd	<b>Repelente</b>
Testigo	10	19	21	50	61.73		
Albahaca 5%	3	2	3	8	12.70	0.256±0.04e	<b>Repelente</b>
Testigo	11	25	19	55	87.30		

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

La oviposición (número de huevos puestos) durante 24 horas reflejo de una manera significativa el movimiento que realizaron los insectos durante el tiempo de evaluación, observándose que la citronella en las tres diferentes concentraciones fue una de las preferidas de *B. cockerelli* para ovipositar, dando como resultado un índice de atracción para la plaga. En la canela se observaron los mismos resultados que en el arribo; al 3%, reflejo el arribo de *B. cockerelli* a la planta de tomate dando como resultado un índice de atracción en la oviposición, así como las concentraciones de canela al 5 y 1% mostraron un índice de repelencia. Por otro lado, la albahaca en las tres concentraciones mostro un índice de repelencia sobre

*B. cockerelli*, al igual que en el arribo a las 1 y 24 horas. En este parámetro entre los tratamientos se generaron diferentes efectos sobre el número de huevos puestos por el psílido ( $F = 3.34$ ;  $gl = 8,18$ ;  $P = 0.0159$ ) (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Oviposición de adultos de *B. cockerelli* en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 24 horas de exposición bajo condiciones de laboratorio.

Tratamientos	Repeticiones			Total	(%)	promedio $\pm$ EE	Tasa de crecimiento	IR	Referencia
	1	2	3						
Citronella 1%	44	138	181	363	67.22	121.00 $\pm$ 40.45a	0.412 $\pm$ 0.19	1.344	Atrayente
Testigo	45	34	98	177	32.78				
Citronella 3%	50	178	36	264	52.49	88.00 $\pm$ 45.18ab	0.233 $\pm$ 0.21	1.050	Atrayente
Testigo	36	101	102	239	47.51				
Citronella 5%	9	73	9	91	63.64	30.33 $\pm$ 21.33bc	-0.344 $\pm$ 0.30	1.273	Atrayente
Testigo	38	0	14	52	36.36				
Canela 1%	15	10	17	42	46.15	14.00 $\pm$ 2.08c	-0.466 $\pm$ 0.07	<b>0.923</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	16	18	15	49	53.85				
Canela 3%	7	29	50	86	53.09	28.67 $\pm$ 12.41bc	-0.266 $\pm$ 0.25	1.062	Atrayente
Testigo	0	36	40	76	46.91				
Canela 5%	20	0	25	45	26.32	15.00 $\pm$ 7.64c	-0.7024 $\pm$ 0.45	<b>0.526</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	11	87	28	126	73.68				
Albahaca 1%	9	21	31	61	43.26	20.33 $\pm$ 6.36c	-0.346 $\pm$ 0.16	<b>0.865</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	19	42	19	80	56.74				
Albahaca 3%	24	0	0	24	24.74	8.00 $\pm$ 8.00c	-1.1420 $\pm$ 0.46	<b>0.495</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	41	17	15	73	75.26				
Albahaca 5%	1	0	0	1	1.16	0.33 $\pm$ 0.33c	-1.602 $\pm$ 0.00	<b>0.023</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	1	29	55	85	98.84				

%=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;  $P>0.05$ ).

La tasa de crecimiento de la ovoposición de adultos de *B. cockerelli* fue diferente entre tratamientos ( $F = 6.31$ ;  $gl = 8,18$ ;  $P = 0.0006$ ), habiendo incluso en algunos tratamientos con un decrecimiento poblacional (signo negativo) traducido como una menor puesta de huevecillos con respecto al número de insectos (Cuadro 5).

Es notorio en la prueba de laboratorio que la película monocapa transparente es efectiva al liberar el aceite de manera gradual para repeler a los insectos. Y de los aceites esenciales integrados se destaca la película con aceite esencial de

albahaca, puesto que en el arribo a la 1 y 24 horas y en el número de huevos a las 24 horas fue muy consistente en el resultado, con un índice de repelencia en todos los casos, pero además se observa que este índice disminuye con el decrecimiento de la concentración (Cuadros 3, 4 y 5).

Cabe mencionar que en los tratamientos que contenían aceite esencial, muchos insectos presentes no se posaban directamente en la planta; esto indicaba que el insecto al percibir el aroma del aceite no le era preferente para su oviposición, principalmente en la película que contenía albahaca puesto que su comportamiento y desplazamiento era hacia las paredes del recipiente alejándose de la planta; esto puede explicar la presencia de insectos y la baja oviposición. A diferencia de la albahaca, la citronella presentó un efecto contrario al de repelencia ya que rápidamente los insectos se posaban en las plantas con película plástica con el aceite esencial; por ende, se puede interpretar que la citronella utilizado como aceite esencial para repeler insectos no funciona de tal manera si no que presenta una atracción para él y por lo tanto se obtiene un incremento en número de individuos así como también en la oviposición del insecto.

### **Ensayo de No-Preferencia**

En la prueba realizada bajo condiciones de invernadero a la hora de exposición de *B. cockerelli* a los diferentes tratamientos bajo las diferentes concentraciones de aceites esenciales integrados a las películas plásticas, se observó un arribo no tan alto hacia la planta de tomate y un índice de repelencia en seis de los bioensayos (Canela al 1 y 3%, Citronella al 3% y Albahaca al 1, 3 y 5%) y un índice de atracción en tres de los bioensayos (Citronella al 5 y 1% y Canela al 5%), mostrando diferencias significativas entre los índices de repelencia ( $F = 14.02$ ;  $gl = 8,18$ ;  $P < 0.0001$ ) (Cuadro 6). Es más atractivo en Citronella al 5% porque el aceite esencial está más concentrado y por lo tanto el aroma es más fuerte y agradable para *B. cockerelli*.

**Cuadro 6.** Arribo de adultos de *B. cockerelli* en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 1 hora de exposición bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Repeticiones			Total	%	IR	Referencia
	1	2	3				
Citronella 1%	21	23	15	<b>59</b>	50.43	1.065±0.02ab	Atrayente
Testigo	15	16	27	<b>58</b>	49.57		
Citronella 3%	5	12	25	<b>42</b>	41.58	0.779±0.10c	<b>Repelente</b>
Testigo	12	16	31	<b>59</b>	58.42		
Citronella 5%	29	31	22	<b>82</b>	57.34	1.148±0.06a	Atrayente
Testigo	12	19	30	<b>61</b>	42.66		
Canela 1%	6	13	24	<b>43</b>	41.75	0.815±0.06bc	<b>Repelente</b>
Testigo	9	23	28	<b>60</b>	58.25		
Canela 3%	7	3	6	<b>16</b>	21.92	0.484±0.17d	<b>Repelente</b>
Testigo	10	18	29	<b>57</b>	78.08		
Canela 5%	23	10	30	<b>63</b>	50.40	1.007±0.01abc	Atrayente
Testigo	10	20	32	<b>62</b>	49.60		
Albahaca 1%	4	7	9	<b>20</b>	25.00	0.501±0.06d	<b>Repelente</b>
Testigo	15	16	29	<b>60</b>	75.00		
Albahaca 3%	1	1	0	<b>2</b>	3.45	0.098±0.05e	<b>Repelente</b>
Testigo	10	17	29	<b>56</b>	96.55		
Albahaca 5%	1	8	14	<b>23</b>	29.49	0.501±0.15d	<b>Repelente</b>
Testigo	9	16	30	<b>55</b>	70.51		

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

A las 24 horas después de ser expuestos a las diferentes concentraciones de los aceites esenciales integrados a las películas plásticas se observó que, en la oviposición a las 24 horas, se encontró un índice de repelencia (IR) en los 9 bioensayos realizados, así como también mayor preferencia de *B. cockerelli* por ovipositar en todos testigos, sin diferencia significativa en la mayoría de los bioensayos a excepción de Citronella al 3% (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Oviposición de adultos de *B. cockerelli* en plantas de tomate var. Rio Grande con plásticos con aceites esenciales a 24 horas de exposición bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Repeticiones			Total	(%)	promedio ± EE	Tasa de crecimiento	IR	Referencia
	1	2	3						
Citronella 1%	128	297	415	840	43.14	280.00±83.28a	0.797±0.15a	<b>0.863</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	131	426	550	1107	56.86				
Citronella 3%	122	106	120	348	21.85	116.00±5.03cd	0.461±0.02bcd	<b>0.437</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	224	444	577	1245	78.15				
Citronella 5%	174	353	260	787	39.39	262.33±51.69ab	0.799±0.09a	<b>0.788</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	146	438	627	1211	60.61				
Canela 1%	60	58	114	232	17.34	77.33±18.34d	0.264±0.10cde	<b>0.347</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	116	429	561	1106	82.66				
Canela 3%	45	32	98	175	13.10	58.33±20.19d	0.114±0.14e	<b>0.262</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	108	482	571	1161	86.90				
Canela 5%	95	131	187	413	25.43	137.67±26.77bcd	0.520±0.08abc	<b>0.509</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	133	471	607	1211	74.57				
Albahaca 1%	115	332	274	721	32.95	240.33±64.86abc	0.737±0.14ab	<b>0.659</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	203	558	706	1467	67.05				
Albahaca 3%	96	55	40	191	14.35	63.67±16.74d	0.172±0.11e	<b>0.287</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	118	450	572	1140	85.65				
Albahaca 5%	175	384	212	771	35.40	257.00±64.39ab	0.782±0.10ab	<b>0.708</b>	<b>Repelente</b>
Testigo	154	554	699	1407	64.60				

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

El número de huevos fue diferente entre los tratamientos ( $F = 3.95$ ;  $gl = 8,18$ ;  $P = 0.0074$ ). Los tratamientos Citronella 1% y Citronella 5% presentaron el mayor promedio de huevos ovipositados por *B. cockerelli*, lo cual concuerda con el resultado de índice de repelencia, ya que éste arrojó que atrae a las poblaciones del psílido (Cuadro 7).

De igual manera que en la prueba de libre elección en laboratorio, en la prueba de no-preferencia en invernadero se observó que insectos que se encontraban en el tratamiento con plantas solo con película plástica con aceite esencial, estos no se posaban directamente en la planta, dirigiéndose hacia las paredes de la jaula que las contenía, principalmente en albahaca y canela. Se observa en la prueba de invernadero que esta fue más efectiva y sus resultados son más apegados al efecto

que sucedería en campo abierto, por lo cual este análisis brinda una respuesta válida al evaluar el efecto de las películas plásticas con aceite esencial sobre *Bactericera cockerelli*.

La nanotecnología es una alternativa con mucho potencial para el control de plagas agrícolas; no obstante, se requiere mayor investigación en esta disciplina. La tecnología de liberación controlada de sustancias activas es una alternativa en el desarrollo de sistemas de liberación sostenibles utilizando nanopartículas (NP) que pueden aumentar el rendimiento y la eficiencia de los pesticidas y también puede reducir sus efectos ambientales adversos. En general, las nanopartículas pueden penetrar fácilmente en las células de la planta, lo que las convierte en un sistema de transporte "nanotransportador" esto representa una alternativa prometedora a la reducción y minimización de ciertos problemas asociados al uso de agroquímicos (Nakamatsu, 2002).

Esta tecnología es una alternativa viable, puesto que el nanotransportador puede entregar productos con precisión, ya que están diseñados para transferir una biomolécula particular a la célula, tejido u organismo cuando sea necesario minimizando problemas de daño ambiental; situación muy común con los plaguicidas convencionales. La nanoencapsulación de agroquímicos y microorganismos benéficos ha adquirido una gran relevancia al ser una manera de controlar plagas y enfermedades con bajo impacto ambiental, lo cual permite reducir la cantidad de agroquímicos que dañen los ecosistemas (Lira *et al.*, 2018).

## CONCLUSIONES

La integración de aceite esencial en película plástica por nanotecnología en general repele adultos de paratíoxa *Bactericera cockerelli*.

La integración de aceite esencial de albahaca y canela en película plástica por nanotecnología es muy prometedora para su desarrollo e integración en un manejo integrado de plagas en pruebas de campo para el control de *Bactericera cockerelli*.

La integración de aceite esencial de citronella en película plástica por nanotecnología fue muy poco efectiva, principalmente en la prueba de laboratorio.

## LITERATURA CITADA

- A.M-Leonard Company. (2016). Horticultural Tool and Supply Company. Disponible en: <http://www.amleo.com/>. (Consultado: Agosto, 2016.)
- Abad. J.A, Bandla. M, French-Monar. RD, Lieftingy. L. W. Trébol GRG. 2008. Primer informe de la detección de especies de ' *Candidatus Liberibacter*' en plantas de papa infectadas con la enfermedad del chip de cebrá en los Estados Unidos. Recuperado: (<https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-93-1-0108C>).
- Almeyda, L. I. H., J. A. Sánchez, y J. A. Garzón T. 2008. Vectores causantes de punta morada de la papa en Coahuila y Nuevo León, México. *Agric. Tec. Mex.* 34:141-150. Recuperado: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n2/v34n2a1.pdf>, Consultado: 11 de noviembre de 2019.
- Almeyda, L. I. H., Rubio, C. O. A. y Zavala, Q. T. 1999. Determinación de la implicación de fitoplasmas con la expresión sintomatológica de punta morada en papa (*Solanum tuberosum*). IV Simposio de Ciencia y Tecnología. Desarrollo Agropecuario. SEP-CONACYT. Monterrey, Nuevo León, México. 45 p.
- Anónimo, 2013. Con punto de acuerdo, por el que se exhorta a la Sagarpa a establecer medidas fitosanitarias para combatir las plagas de paratíozá, mosquita blanca y pulgón que han afectado la producción de hortalizas en diversas regiones de Michoacán, a cargo de la diputada Martha Berenice Álvarez Tovar, del grupo parlamentario del pan. Recuperado: [http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2013/09/asun\\_3002432\\_20130912\\_1378999000.pdf](http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2013/09/asun_3002432_20130912_1378999000.pdf), Consultado 12 de noviembre de 2019.
- Anónimo. 2002. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. INEGI. Tomo I. D. F. México. 1476 p. Recuperado: <https://www.oirsa.org/contenido/Manual%20Bactericera%20Cockerelli%20version%201.3.pdf>, Consultado: 20 de Octubre de 2019.
- Arslan, A.; P. M. Bessey; K. Matsuda; N. F. Oebker, 1985. "Physiological effects of psyllid (*Paratíozá cockerelli*) on potato". *Am. Potato J.*, 62: 9D22.

- Bianchi, A., Zambonelli, A., Zechini, A. and F. Bellesia. 1997. Ultrastructural studies of the effects of *Allium sativum* on phytopathogenic fungi in vitro. *Plant. Dis.* 81(11): 1241-1246. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.11.1241>.
- Biodiversidad Mexicana, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad 2019. Recuperado: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/alimentacion/jitomate.html>, Consultado: 26 de noviembre de 2019.
- 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. Dis.* 84(3): 300-305. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.3.300>.
- Bujanos M, R., Ramos M. C., (2015). Oficial agrosanitario, OIRSA México. El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemíptera: Triozidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA. Organismo internacional regional de sanidad agropecuaria. Recuperado: <https://www.oirsa.org/contenido/Manual%20Bactericera%20Cockerelli%20version%201.3.pdf>, Consultado: 11 de Noviembre de 2019.
- Burckhardt, D. y Lauterer, P. 1997. A taxonomic reassessment of the trioziid genus *Bactericera* (Hemiptera: Psylloidea). *Journal of Natural History. U.K.* 31(1): 99-153.
- CAB International. 2015. "*Candidatus Liberibacter solanacearum*". En línea: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/109434>. Recuperado: <https://www.oirsa.org/contenido/Manual%20Bactericera%20Cockerelli%20version%201.3.pdf>, Consultado: 5 de Noviembre de 2019.
- Cadena, H. M. A., Guzmán, P. I. R., Díaz, V. M., Zavala, Q. T. E., Magaña, T. O. S., Almeyda, L. I. H., López, D. H., Rivera, P. A. y Rubio, C. O. A. 2003. Distribución, incidencia y severidad del pardeamiento y la brotación anormal en los tubérculos de papa en Valles Altos y Sierras del Estados de México, Tlaxcala y Distrito Federal, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21:248-259.

- Camacho E. M, Vega B. J, Campos G. A, 2011. Nanotecnología. Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. Rev Soc Quím Perú.
- Capinera JL, 2001. Handbook of vegetable pests. Academic Press, San diego, CA.  
Recuperado:  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8j7kOlaLhSwC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Handbook+of+vegetable+pests.+Academic+Press,+San+diego,+CA&ots=NRqAExsstt&sig=y8tJfvbEmEkdOM6PjBZgxCRrC54#v=onepage&q=Handbook%20of%20vegetable%20pests.%20Academic%20Press%2C%20San%20diego%2C%20CA&f=false>, Consultado 10 noviembre de 2019.
- Cranshaw, W. S, 2001. Diseases caused by insect toxin: psyllid yellows. In: Compendium of potato diseases (2nd Ed.) [ed. by Stevenson, W. R. \Loria, L. \Franc, G. D. Weingartner, D. P.]. St Paul, Minnesota, USA: APS Press, 73-74.
- Cranshaw, W. S. 1994. The potato (tomato) psyllid, *Paratrioza cockerelli* (Sulc.) as a pest of potatoes). In: Advances in Potato Pest Biology and Management, G. W. Szender, L. M. Powelson, R. K. Jansson, and K. V. Raman (eds). The American Phytopathological Society. St. Paul, MN. p. 83-94.
- Crespo-Herrera Leonardo A., Vera-Graziano Jorge, Bravo-Mojica Hiram, López-Collado José, Reyna-Robles Roberto, Peña-Lomelí Aureliano, Manuel-Pinto Víctor, Garza-García Ramón. 2012 Distribución espacial de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemíptera: Triozidae) en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*). Agrociencia. Volumen 46, Número 3.
- Crosslin, J. M., Munyaneza J. E., Brown J. K., Liefting L. W., 2010. Potato zebra chip disease: a phytopathological tale. Plant Health Progress, No.March:PHP-2010-0317-01-RV.  
<http://www.plantmanagementnetwork.org/php/elements/sum.aspx?id=8676&photo=4859>, Consultado: 16 de noviembre de 2019.
- Daniels, L. B. 1934. The tomato psyllid and the control of psyllid yellows of the potatoes. Colorado Agricultural College. Bulletin 410.
- Department of Agriculture Australian Government. 2012. Diagnostic Protocol for the detection of the Tomato Potato Psyllid, *Bactericera cockerelli* (Šulc). En Línea:

<http://plantbiosecuritydiagnostics.net.au/wordpress/wp-content/uploads/2015/03/NDP-20-Potato-tomato-psyllid-Bactericera-cockerelli-V1.2.pdf>

DeRosa M.C., Monreal C., Schnitzer M., Walsh R. y Sultán, 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology* 5: 91.

Ditta A. y Arshad M. 2016. Applications and perspectives of using nanomaterials for sustainable plant nutrition. *Desde el Herbario CICY* 11: 69–75 (4/abril/2019) Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. *Nanotechnology Reviews* 5(2): 209- 229. Recuperado: <https://www.degruyter.com/view/j/ntrev.2016.5.issue-2/ntrev-2015-0060/ntrev-2015-0060.xml>, Consultado: 15 de noviembre de 2019.

Ditta, A.; Arshad, M.; Ibrahim, M. (2015). Nanoparticles in Sustainable Agricultural Crop Production: Applications and Perspectives. In *Nanotechnology and Plant Sciences*. Springer International Publishing. 55-75pp. Recuperado: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-14502-0\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-14502-0_4), Consultado: 18 de noviembre de 2019.

Duhan J.S., Kumar R., Kumar N., Kaur P., Nehra K. y Duhan S. 2017. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports* 15: 11-23. Recuperado: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X16301400>, Consultado: 15 de noviembre de 2019.

Echeverría. M. I. 2019. El tamaño sí importa: Los nanofertilizantes en la era de la agricultura de precisión. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Recuperado:[https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde\\_Herbario/2019/2019-04-04-Echevarria-El-tamano-si-importa-Nanofertilizantes.pdf](https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2019/2019-04-04-Echevarria-El-tamano-si-importa-Nanofertilizantes.pdf), Consultado: 14 de Noviembre de 2019.

Elumalai K., Velmurugan S., Ravi S., Kathiravan V. y Ashokkumar S. 2015. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Moringa oleífera* leaf extract and evaluation of its antimicrobial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 143: 158-164. Recuperado:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386142515001638>,  
Consultado: 14 de noviembre de 2019.
- Foladori G., y Invernizzi N., 2008. Nanotecnologías en la alimentación y agricultura. Recuperado: <http://universidadagricola.com/wp-content/uploads/2018/05/Nanotecnologias-en-la-Agricultura-y-en-la-Alimentacion.pdf#page=26>, Consultado: 12 de noviembre de 2019.
- Fraceto, L.F.; Grillo, R.; De Medeiros, G.A.; Scognamiglio, V.; Rea, G.; Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in agriculture: Which innovation potential does it have?. *Frontiers in Environmental Science*. 4:1-5. Recuperado: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2016.00020/full>, Consultado: 18 de noviembre de 2019.
- Garzón- T. J. A.; Garzón- C j. A.; Velarde- F. S.; Marín- J.A .; Cárdenas-V. O. G., 2005. "Ensayos de transmisión del fitoplasma asociado al permanente del tomate por el psílido *Bactericera cockerelli* SULC en México". *Entomología Mexicana*, 4:672-674. Recuperado: <https://www.oirsa.org/contenido/Manual%20Bactericera%20Cockerelli%20version%201.3.pdf>, consultado: 12 noviembre de 2019.
- Garzón, T. J. A., 2002. "Asociación de *Paratrioza cockerelli* Sulc. con enfermedades en papa (*Solanum 44 tuberosum*) y tomate (*Lycopersicum lycopersicum* Mil. Ex. Fawnl) en México". In: Memoria del Taller sobre 11 *Paratrioza cockerelli* (Sulc.) como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa, México, pp: 79–87.
- Garzón, T. J. A., Cárdenas, V. O. G., Bujanos, M. R., Marín, J. A., Becerra, F. A., Velarde, F. S., Reyes, M. C., González, C. M., y Martínez, C. J. L. 2009. Asociación de hemíptera: *Triozidae* con la enfermedad permanente del tomate en México. *Agricultura Técnica en México*. 35(1). 61-72
- Grillo, R.; Abhilash, P.C.; Fraceto, L.F. (2016). Nanotechnology Applied to Bio-Encapsulation of Pesticides. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 16: 1231-1234. Recuperado: <https://www.ingentaconnect.com/content/asp/jnn/2016/00000016/00000001/art00165>, Consultado: 18 de noviembre de 2019.

- Hansen, A. K.; Trumble, J. T.; Stouthamer, T.; Paine, T. D., 2008. "A new huanglongbing species, *Candidatus Liberibacter psyllae*, found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* Sulc". *Appl. Environ. Microbiol*, 74(18):5862-5865.
- Hao Y., Yuan W., Ma C., White J.C., Zhang Z., Adeel M., Zhou T., Rui Y. y Xing B. 2018. Engineered nanomaterials suppress Turnip mosaic virus infection in tobacco (*Nicotiana benthamiana*). *Environmental Science: Nano* 5: 1685-1693. Recuperado: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/en/c8en00014j/unauth#!divAbstract>, Consultado: 14 de noviembre de 2019.
- Hoshino, Y., Kodama, T., Okahata, Y., Shea, K .J.2008.Peptide imprinted polymer nanoparticles: a plastic antibody. *J. Am. Chem. Soc.*, 130: 15242-1 5243
- Huang, C., Notten, A. y Rasters, N. (2011). Publicaciones y patentes de nanociencia y tecnología: una revisión de estudios de ciencias sociales y estrategias de búsqueda. *The Journal of Technology Transfer* , 36 (2), 145-172., Recuperado: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10961-009-9149-8>, Consultado: 18 de noviembre de 2019.
- Johanny, B. J., y Juliana, S. B., 2019. Destrucción de huevos de nematodos fitoparásitos del sistema radical de las plantas, con nanopartículas.
- Kashyap, P.L.; Xiang, X.; Heiden, P. (2015). Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. *International journal of biological macromolecules*. 77: 36-51. Recuperado: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813015001257>, Consultado: 18 de noviembre de 2019.
- Khodakovskaya M.V., Kim B.S., Kim J.N., Alimohammadi M., Dervishi E., Mustafa T. y Cernigla C.E. 2013. Carbon nanotubes as plant growth regulators: effects on tomato growth, reproductive system, and soil microbial community. *Small* 9(1): 115-123. Recuperado: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.201201225>, Consultado: 15 de noviembre de 2019.

- Krishnaraj, C.; Ji, B.J.; Harper, S.L.; Yun, S.I. (2016). Plant extract-mediated biogenic synthesis of silver, manganese dioxide, silver-doped manganese dioxide nanoparticles and their antibacterial activity against food-and water-borne pathogens. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 1: 1-14. Recuperado: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00449-016-1556-2>, Consultado: 19 de noviembre de 2019.
- Le Van, N.; Ma, C.; Shang, J.; Rui, Y.; Liu, S.; Xing, B. (2016). Effects of CuO nanoparticles on insecticidal activity and phytotoxicity in conventional and transgenic cotton. *Chemosphere*. 144: 661-670. Recuperado: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653515301156>, Consultado: 18 de noviembre de 2019.
- Liefting, L. W., Pérez-Egusquiza, Z. C. and Clover, G. R. G. 2008. A New 'Candidatus Liberibacter' Species in *Solanum tuberosum* in New Zealand. *Plant Dis*. 92(10):1474.
- Lira S, R. H., Méndez A, B., Vera R, I., & de los Santos V, G. (2018). Agronotecnología: una nueva herramienta para la agricultura moderna. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 50(2), 395-411.
- Liu, D.; J. T. Trumble, 2006. "Ovipositional preferences, damage thresholds, and direction of tomato/potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) on selected tomato accessions". *Bulletin Entomological Research* 96:197-204. En línea: <http://faculty.ucr.edu/~john/2006/LiuTrumble2006.pdf>.
- Lugo- M. E., García-G, C., & Ruelas-A, R. D. (2010). Nanotecnología y nanoencapsulación de plaguicidas. *Ra Ximhai*, 6(1), 63-67. Recuperado: <https://www.redalyc.org/pdf/461/46112896009.pdf>, Consultado: 16 de noviembre de 2019.
- Marín, J. A.; Garzón, T. J. A.; Becerra, F. A.; Mejía, A. C.; Bujanos, M. R.; Byerly, M. K. F., 1995. "Ciclo biológico y morfología del salerillo *Paratrioza cockerelli* (Sulc.) (Homoptera: Psyllidae) vector de la enfermedad permanente del jitomate en el Bajío". *Catie, Manejo Integrado de Plagas, Revista Técnica* No. 38, 25-32 p.

- Martin, N., (2008). "Hosts of the tomato/potato psyllid: A cautionary tale". *The Weta* 35: 12-16. En línea: [http://www.ento.org.nz/nzentomologist/free\\_issues/Weta35\\_1\\_2008/Weta35-12-16.pdf](http://www.ento.org.nz/nzentomologist/free_issues/Weta35_1_2008/Weta35-12-16.pdf). Agosto 2015.
- Miller, G.L, Miller, D. R. y Carlson, R. W. 2000. Psylloidea Web Page. <http://www.sel.barc.usda.gov/psyllid/psyllidframe.html>
- Mishra S., Singh B.R., Singh A., Keswani C., Naqvi A.H. y Singh H.B. 2014. Biofabricated silver nanoparticles act as a strong fungicide against *Bipolaris sorokiniana* causing spot blotch disease in wheat. *PLoS One* 9(5): e97881. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0097881>. Recuperado: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0097881>, Consultado: 14 de noviembre de 2019.
- Mukhopadhyay, S. S. (2014). Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints. *Nanotechnology, science and applications*, 7, 63., Recuperado: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4130717/>, Consultado: 15 de noviembre de 2019.
- Munyanzeza J. E., 2010. "Psyllids as vectors of emerging bacterial diseases of annual crops". *Southwestern Entomologist*, 35(3):471-477. Recuperado: <https://bioone.org/journals/Southwestern-Entomologist/volume-35/issue-3/059.035.0335/Psyllids-as-Vectors-of-Emerging-Bacterial-Diseases-of-Annual-Crops/10.3958/059.035.0335.short?tab=ArticleLink>, Consultado: 11 de noviembre de 2019.
- Munyanzeza J. E.; Crosslin J. M.; Lee I. M., 2007b. "Phytoplasma diseases and insect vectors in potatoes of the pacific northwest of the United States". *Bulletin of Insectology*, 60(2):181-182. Recuperado: <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol60-2007-181-182munyanzeza.pdf>, Consultado 12 noviembre de 2019.
- Munyanzeza J. E.; Crosslin J. M.; Upton J. E., 2007a. "Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with Zebra chip, a new potato disease in southwestern United States and México". *Journal of Economic Entomology*

- 100:656-663. Recuperado: <https://academic.oup.com/jee/article-abstract/100/3/656/2198727>, consultado 12 de noviembre de 2019.
- Nakamatsu, J. (2002). Matrices Poliméricas para Liberación Controlada de Sustancias Activas. *Revista de Química*, 16(1-2), 13-23.
- Nuruzzaman, M.; Rahman, M.M.; Liu, Y.; Naidu, R. (2016). Nanoencapsulation, Nano-Guard for Pesticides: A New Window for Safe Application. *Journal of agricultural and food chemistry*. 64: 1447-1483. Recuperado: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.5b05214>, Consultado: 18 de noviembre de 2019.
- Palmitesta R. 2008. La nanotecnología está entre nosotros. (<https://www.virtualpro.co/editoriales/20090801-ed.pdf>, Consultado: 12 de noviembre de 2019.
- Patil, C., Borase, H., Patil, S., Salunkhe, R., & Salunke, B. (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.
- Pletsch, D. J. 1947. The potato psyllid *Paratrioza cockerelli* (Sulc.), its biology and control. *Montana Agric. Expt. Stn. Bull.* 446:95 pp.
- Rajiv P., Rajeshwari S. y Venckatesh R. 2013. Bio-fabrication of zinc oxide nanoparticles using leaf extract of *Parthenium hysterophorus* L., and its sizedependent antifungal activity against plant fungal pathogen. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 112: 384-387. Recuperado: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1386142513004125>, Consultado: 14 de noviembre de 2019.
- Ramírez, G. M., Santamaria, C. E., Mendez, R. J. S., Rios, F. J. L., Hernandez, S. J. R. y Pedro M. J. G. 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.

- Richards B. L., 1931, "January. Further Studies with Psyllid Yellows of the Potato". *Phytopathology*, 21(1):103 p.
- Richards B. L.; Blood H. L., 1933. "Psyllid yellows of the potato". *Journal of Agriculture Research*, 46:189-216.
- Rubio C. O., Almeyda L. I., Ireta M. J., Sánchez S. J., Fernández S. R., Borbón S. J. T., Díaz H. C., Garzón T. J. A., Rocha R. R., y Cadena H. M. A. (2006). Distribución de la punta morada y *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en México. *Agricultura técnica en México*, 32(2), 201-211.
- Rubio-C, O. A.; I. H. Almeyda-L; M. A. Cadena-H; R. Lobato-S, 2011. "Relación entre *Bactericera cockerelli* y presencia de *Candidatus Liberibacter psyllauros* en lotes comerciales de papa". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2 (1): 17-28.
- Rubio-Covarrubias, O. A., Cadena-Hinojosa, M. A. y Vázquez-Carrillo, M. G. 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. 40 pp.
- Secor G. A., Rivera V. V., 2004. "Emerging diseases of cultivated potato and their impact in Latin America". *Rev. Latinoamericana papa (suppl.)*, 1:1-8. Recuperado:  
<http://static.elmercurio.cl/Documentos/Campo/2012/05/09/2012050912814.pdf>, consulta 12 de noviembre de 2019.
- Sekhon, B.S. (2014). Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnology, science and applications*. 7: 31–53. Recuperado: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4038422/>, Consultado: 19 de noviembre de 2019.
- SENASICA. 2009. "Programa de trabajo de la campaña plagas cuarentenarias de la papa, tomate, jitomate y chile, a operar con recursos del componente de sanidad e inocuidad del programa de soporte 2009". Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Recuperado:

- <https://www.oirsa.org/contenido/Manual%20Bactericera%20Cockerelli%20version%201.3.pdf>, consultado: 12 de noviembre de 2019.
- Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas, 2019. Recuperado: <https://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/solanum-lycopersicum>, Consultado: 26 de Noviembre de 2019.
- Sulc, K. 1909. *Trioza cockerelli* n.sp., a novelty from North America, being also of economic importance. *Acta Soc. Entomol. Bohemiae* 6:102 –108.
- Tortosa, G. (22 de 11 de 2012). La nanotecnología aplicada a la agricultura. Obtenido de [www.hablandodeciencia.com](http://www.hablandodeciencia.com): <http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2012/11/22/la-nanotecnologia-aplicada-a-la-agricultura/>.
- Vimala, V.; Clarke, S.K.; Urvinder Kaur, S. (2016). Pesticides detection using acetylcholinesterase nanobiosensor. *Biosens Journal*, 5: 1-4. Recuperado: [https://pdfs.semanticscholar.org/c436/41c69ddfdbc3a4881b54e7d2287c4cfe668d.pdf?\\_ga=2.13392880.693515644.1574129694-1997655970.1573603220](https://pdfs.semanticscholar.org/c436/41c69ddfdbc3a4881b54e7d2287c4cfe668d.pdf?_ga=2.13392880.693515644.1574129694-1997655970.1573603220), Consulta: 19 de noviembre de 2019,
- Wallis, R. L. 1955. Ecological studies on the potato psyllid as a pest of potatoes. *USDA Tech. Bull.* 1107: 25.
- Wen, A., Mallik, I., Alvarado, VY, Pasche, JS, Wang, X., Li, W., ... y Rush, CM (2009). Detección, distribución y variabilidad genética de las especies de 'Candidatus Liberibacter asociadas con la enfermedad del complejo cebrá de la papa en América del Norte. *Enfermedad vegetal*, 93 (11), 1102-1115. Recuperado: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-93-11-1102>, Consultado: 11 de noviembre de 2019.
- Xue, J.; Z. Luo; L., Li; P., Ding; Cui, Y.; Wu, Q. (2014). A residue-free green synergistic antifungal nanotechnology for pesticide thiram by ZnO nanoparticles. *Scientific Reports*. 4: 1-9. Recuperar: <https://www.nature.com/articles/srep05408>, Consulta: 19 de noviembre de 2019.