

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO



Efectos de las Nanopartículas de Grafito Combinadas con Productos Biorracionales y Químicos para el Control de Ninfas de *Bactericera cockerelli* Sulc. Bajo Condiciones *in vitro*

Por:

LUIS GABRIEL VELASCO PEREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Efectos de las Nanopartículas de Grafito Combinadas con Productos Biorracionales
y Químicos para el Control de Ninfas de *Bactericera cockerelli* Sulc. Bajo
Condiciones in vitro

Por:

LUIS GABRIEL VELASCO PEREZ

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité Asesor:


DR. ERNESTO CERNA CHAVEZ
Asesor Principal


DR. ALBERTO ROQUE ENRIQUEZ
Asesor Principal Externo


DRA. ROCIO DE JESUS DIAZ AGUILAR
Coasesor


DRA. YISA MARIA OCHOA FUENTES
Coasesor


DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

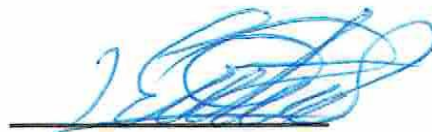
Por lo anterior, nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Autor principal



Luis Gabriel Velasco Pérez

Asesor principal



Dr. Ernesto Cerna Chávez

DEDICATORIAS

A mi padre, **Gustavo Velasco Alfaro**, por brindarme apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera, dándome consejos motivacionales para salir adelante, dándome ánimos en los momentos más difíciles y nunca dejándome solo.

A mi madre, **Graciela Pérez Espinoza**, por apoyarme en la decisión de salir a estudiar lejos, brindarme apoyo para cumplir cada una de mis metas, preocuparse siempre por mí y ser el motor para salir adelante.

A mi hermana, **Carolina Guadalupe Velasco Pérez**, por motivarme en todo momento para salir adelante, brindarme apoyo y ser mi ejemplo a seguir, impulsándome a alcanzar todas mis metas.

A mis abuelos, que están en el cielo y los que aún están conmigo, les agradezco por motivarme siempre a cumplir mis metas, por aconsejarme para tomar buenas decisiones y por apoyarme en todas las decisiones que tomo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por nunca dejarme solo, dándome la oportunidad de levantarme cada mañana, agradezco de corazón por escuchar mis oraciones y a mi familia, gracias por todas las veces que hiciste que me levantara y siguiera adelante sin rendirme.

A mis padres agradezco por todo el trabajo, esfuerzo y sacrificios que hicieron para que yo pudiera concluir mi carrera, agradecerles por inculcarme los mejores principios, valores y enseñarme a nunca rendirme.

A mis abuelos, que estuvieron para mí con sus consejos que me ayudaron en la carrera y me servirán a lo largo de la vida.

Agradezco a mi novia la **Ing. Ana Belén Alfaro Aguilar** por apoyarme siempre, aconsejarme, hacer más amena la estancia en la carrera y estar conmigo en los momentos más difíciles.

A mis amigos **Noe Flores, Francisco Rivas, Adiel Alberto y Gabriel Bernardo** que estuvieron a lo largo de la carrera, viviendo momentos inolvidables que siempre recordaremos y haciendo de la carrera una etapa de la vida más alegre y feliz.

Gracias al **Dr. Ernesto Cerna**, al **Dr. Alberto Roque**, a la **Dra. Rocío de Jesús** y a la **Dra. Yisa María** por el acompañamiento durante el proceso de la realización de la tesis, por el apoyo que me brindaron y tenerme la confianza de trabajar junto a ellos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.1.1. Objetivos específicos.....	2
1.2. Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Cultivo de chile	4
2.2. Producción de chile	4
2.3. Principales enfermedades.....	5
2.3.1. Damping-off.....	6
2.3.2. Antracnosis.....	6
2.4. Principales plagas.....	6
2.4.1. Picudo del chile (<i>Anthonomus eugenii</i>)	6
2.4.2. Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>).....	7
2.4.3. Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	7
2.5. <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc).....	8
2.5.1. Taxonomía de <i>B. cockerelli</i> Šulc	9
2.5.2. Ciclo de vida.....	9
2.5.3. Huevo	9
2.5.4. Ninfas (cinco estadios ninfales).....	10
2.5.5. Primer estadio	10
2.5.6. Segundo estadio.....	10
2.5.7. Tercer estadio.....	11
2.5.8. Cuarto estadio	11
2.5.9. Quinto estadio	11

2.5.10. Adulto	12
2.6. Distribución geográfica	12
2.7. Impacto económico	13
2.8. Manejo integrado de <i>B. cockerelli</i>	14
2.9. Acetamiprid 20 SL.....	16
2.10. Azeem	17
2.10.1. Neem (<i>Azadirachta indica</i>)	17
2.11. Pal-Pic.....	18
2.11.1. Mostaza negra (<i>Brassica nigra</i>).....	18
2.11.2. Pimienta negra (<i>Piper nigrum</i>).....	19
2.11.3. Chile (<i>Capsicum annum</i>)	19
2.12. Nanotecnología	20
2.13. Nanopartículas de grafito.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Ubicación del sitio experimental	25
3.2. Colonia de <i>B. cockerelli</i>	25
3.2. Productos evaluados.....	25
3.3. Establecimiento del bioensayo.....	26
3.4. Inmersión de hojas	26
3.5. Selección de muestra	26
3.6. Criterios Mortalidad	27
3.7. Análisis estadístico.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
V. CONCLUSIÓN	37
VI. LITERATURA CITADA	38

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Mortalidad de ninfas de <i>B. cockerelli</i> expuestas a NPs-Gr	28
Cuadro 2. Evaluación de la mortalidad a las 24 h de ninfas de <i>B. cockerelli</i> , sometidas a NPs-Gr en combinación con el producto biorracional Pal Pic.....	29
Cuadro 3. Evaluación de la mortalidad a las 24 h de ninfas de <i>B. cockerelli</i> , sometidas a NPs-Gr en combinación con el producto biorracional Azeem.....	30
Cuadro 4. Evaluación de la mortalidad a las 24 h de ninfas de <i>B. cockerelli</i> , sometidas a NPs-Gr en combinación con Acetamiprid.	31
Cuadro 5. Resultados de la concentración letal media en ninfas de <i>B. cockerelli</i> con Pal Pic, en diferentes concentraciones de NPs-Gr a las 24 h.....	32
Cuadro 6. Resultados de la concentración letal media en ninfas de <i>B. cockerelli</i> con Azeem, en diferentes concentraciones de NPs-Gr a las 24 h.....	33
Cuadro 7. Resultados de la concentración letal media en ninfas de <i>B. cockerelli</i> con Acetamiprid, en diferentes concentraciones de NPs-Gr a las 24 h.	34

RESUMEN

Bactericera cockerelli (*B. cockerelli*) es una de las plagas más importantes de México y del mundo, debido a su gran impacto económico, el insecto produce daños de dos maneras diferentes: una es de forma indirecta, ya que es un vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, una enfermedad devastadora para los cultivos de la familia Solanaceae, por otro lado de manera directa, ocurre en el estado ninfal del salerillo, provocando amarillamiento en las plantas, menor desarrollo, entre otros daños. Por ello, en la actualidad se han buscado nuevas y mejores alternativas para un control eficaz de la plaga, por lo que se ha implementado la nanotecnología con el fin de mejorar y optimizar los resultados. Se han comenzado a estudiar nuevas formas de potenciar los productos químicos y orgánicos, llegando a emplear partículas a escala molecular que puedan reforzar su efecto. Lo que conllevó realizar la siguiente investigación sobre la mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* en condiciones *in vitro*, evaluando la mortalidad de un insecticida químico y de dos productos biorracionales, tanto solos como en combinación con nanopartículas de grafito (NPs-Gr), determinando la CL₅₀ de todos los tratamientos. De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que el producto biorracional Azeem presentó los mejores resultados, demostrando una mortalidad del 100 % a las 24 h a una dosis de 2000 ppm del producto y una concentración de 5 y 10 % de NPs-Gr respectivamente, a diferencia del tratamiento del producto solo (P.S.) donde únicamente se obtuvo un 84.85 %, sin embargo, en el uso del Acetamiprid, se registró una mortalidad del 100 % únicamente con la concentración de 10 % de NPs-Gr a 2000 ppm, mientras que a 5 % reportó una mortalidad del 98 %; mientras que Pal Pic mostró 97.54 % del control de *B. Cockerelli* al 10 % de las NPs-Gr. Los productos de Azeem, Acetamiprid y Pal Pic, demostraron una CL₅₀ muy favorables mostrando un 2.24, 2.88 y 3.36 ppm respectivamente, presentando una sinergia de 35.79, 3.64 y 3.54 veces más, llegando a ser considerado como una alternativa para incrementar la efectividad y disminuir las dosis de aplicación de los productos.

Palabras clave: sinergia, psilido, manejo, nanopartícula, grafito.

ABSTRACT

The *cockerelli's* broomrape (*B. cockerelli*) is one of the most important pests in Mexico and the world due to its significant economic impact. The insect causes damage in two different ways: indirectly, as it is a vector of the bacterium *Candidatus Liberibacter solanacearum*, a devastating disease for crops of the Solanaceae family; and directly, during the nymphal stage, causing yellowing of the plants, stunted growth, and other damage. Therefore, new and improved alternatives for effective pest control are currently being sought, and nanotechnology has been implemented to enhance and optimize results. Researchers are beginning to study new ways to enhance chemical and organic products, even employing molecular-scale particles to reinforce their effect. This led to the following investigation into the mortality of *B. cockerelli* nymphs under in vitro conditions, evaluating the mortality of a chemical insecticide and two biorational products, both alone and in combination with graphite nanoparticles (GNPs), determining the LC₅₀ of all treatments. According to the results obtained, the biorational product Azeem showed the best results, demonstrating 100 % mortality at 24 h at a dose of 2000 ppm of the product and a concentration of 5 % and 10 % GNPs, respectively, unlike the treatment of the product alone (P.S.) where only 84.85 % was obtained. However, with the use of Acetamiprid, 100 % mortality was recorded only with the 10 % GNP concentration at 2000 ppm, while at 5% it reported 98 % mortality. While Pal Pic showed 97.54% control of *B. Cockerelli* at 10 % of the NPs-Gr. The Azeem products, Acetamiprid and Pal Pic, demonstrated a very favorable LC₅₀ showing 2.24, 2.88 and 3.36 ppm respectively, presenting a synergy of 35.79, 3.64 and 3.54 times more, being considered as an alternative to increase the effectiveness and decrease the application doses of the products.

Keywords: synergy, psyllid, handling, nanoparticle, graphite.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de chile (*C. annuum*) es originario de México, uno de los principales productores y centro de origen de variedades como el piquín y chile silvestre, que ha sido empleado como medicamento, alimento o, en algunos casos, repelente de insectos, por lo que se ha llegado a sobreexplotar (Pickersgill, 2016; Aguilar *et al.*, 2021). En México se ha reportado la existencia de al menos 25 tipos de chiles; sin embargo, en algunos casos se han quedado en el olvido, se sabe que el cultivo llega a ser utilizado de diversas formas, llegando a consumirse en una gran parte del mundo, debido a su composición a base de capsaicina (Hernández *et al.*, 2020; Ramírez *et al.*, 2026).

Una de las problemáticas en la producción de este cultivo es el insecto *B. cockerelli*, vector de la enfermedad *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Olaniyan *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020), generando marchitez en la planta, problemas en el desarrollo vegetativo y amarillamiento, causados por la alimentación del insecto al succionar la savia y al liberar toxinas que afectan a la planta (Lei *et al.*, 2020; Wenninger y Rashed, 2023).

En los últimos años se han empleado estrategias de control de plagas, optando por el uso de enemigos naturales para reducir el uso de productos químicos, ya que se ha registrado un incremento de la resistencia a estos, y se han buscado nuevas alternativas, como el uso de productos a base de extractos naturales (López *et al.*, 2022). Algunas plantas utilizadas son neem, chile, pimienta negra, mostaza negra, entre muchos otros, que han mostrado resultados eficaces; sin embargo, se ha empleado tecnología más avanzada a lo largo del tiempo, como la nanotecnología, que ha ayudado a mejorar la eficiencia de los insecticidas (Lampiri *et al.*, 2025). El uso de la nanotecnología ha aportado beneficios en la agricultura, mejorando la eficiencia de los productos químicos y orgánicos, mejorando el efecto de los ingredientes activos, llegando a disminuir la cantidad de producto a utilizar, por lo que hay menos probabilidad de inducir resistencia por aplicaciones muy altas (Campos *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019).

1.1. Objetivo general

Determinar la mortalidad de los productos biorracionales y químico, en combinación con NPs-Gr, para el control de las ninfas de *B. cockerelli* en condiciones *in vitro*.

1.1.1. Objetivos específicos

- Evaluar la mortalidad inducida por NPs-Gr en combinación con productos biorracionales para el control de ninfas de *B. cockerelli*.
- Evaluar la mortalidad inducida por NPs-Gr en combinación con acetamiprid para el control de ninfas de *B. cockerelli*.
- Determinar la CL₅₀ de las combinaciones de NPs-Gr con los ingredientes activos.

1.2. Hipótesis

- Se espera que al menos uno de los tratamientos evaluados incremente la mortalidad *B. cockerelli*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de chile

La cultura mesoamericana, llegó a desempeñar un papel de suma importancia en el desarrollo histórico en la agricultura regional, mediante la implementación de la domesticación del cultivo del chile silvestre (*Capsicum annuum*) considerado como uno de los recursos más representativos de la naturaleza y de la cultura mexicana (López *et al.*, 2023). El cultivo del chile comenzó a domesticarse en las áreas del sur de México, donde llegó a presentar una amplia diversidad morfológica basada en los frutos producidos, y fue utilizado desde la antigüedad de diferentes maneras, como verdura, aromatizante, colorante y en otros casos, como medicina tradicional (Hernández *et al.*, 2020; Chiou *et al.*, 2024). *C. annuum*, se considera una especia de suma importancia gastronómica, farmacéutica y reconocida en México desde la antigüedad, debido a sus características predominantes como son la calidad, el tamaño, el intenso color del fruto y la forma, por lo que era elegido como ingrediente fundamental en las civilizaciones antiguas, logrando posicionarse a nivel mundial en el aspecto comercial debido a su alta diversidad de especies (Aguilar *et al.*, 2009; Mijangos y Ibarra, 2020; Yuca, 2022; Coyotl *et al.*, 2025).

México se ha consolidado como una de las principales zonas agrícolas de este cultivo en el mundo, además de ser uno de los principales consumidores de frutos secos y frescos, convirtiéndose así en una de las especias más utilizadas a nivel mundial, generando un gran impacto económico, social y alimenticio (Pérez *et al.*, 2017; Medina *et al.*, 2017).

2.2. Producción de chile

Llevando a México a ocupar el segundo lugar en el Ranking como productor mundial de chile, con una siembra de alrededor de 173, 869.11 ha obteniendo una producción de 3, 681, 061.47 t convirtiéndolos en uno de los mayores consumidores y generadores, con el 8.4 % de la cosecha a nivel global y con el

tercer lugar de plantaciones dedicadas al cultivo y teniendo como cliente principal Estados Unidos con exportaciones de un millón 90 mil toneladas (Hernández y Fernández, 2007; SIAP, 2026). Teniendo al estado de Chihuahua como el primer lugar con una producción de 836, 619.66 t en 39, 355.90 ha, continúa Sinaloa con 813, 081.23 t en 16, 888.70 ha y, posteriormente, Zacatecas con una producción de 497, 772.23 t en 38, 614.23 ha, siendo los principales estados productores del país (SIAP, 2026).

El cultivo de chile es una de las especias más consumidas con mayor frecuencia en Yucatán, que es el mayor consumidor en México, continuando con Quintana Roo y Tabasco dado que representa una de las principales fuentes de ingreso para numerosos productores en el país, muchos de ellos adoptan estrategias orientadas a maximizar el rendimiento (Tucuch *et al.*, 2012; Mancilla *et al.*, 2020). Para ello se realizan estrategias donde se emplean el establecimiento de altas densidades de siembra, el uso de insumos químicos para la fertilización y el manejo fitosanitario, así como la incorporación de abonos orgánicos como alternativa o complemento sostenible (Favela y Sánchez, 2003; Mancilla *et al.*, 2020).

En los últimos años, se ha implementado la producción de semillas híbridas como una estrategia clave para elevar la calidad del cultivo, por lo que se tiene una rigurosa selección de los materiales para garantizar frutos de alto valor comercial y contar con una producción sostenible, al establecer una tolerancia al estrés biótico; sin embargo, la productividad del cultivo es afectado por distintos factores fitosanitarios, entre ella las plagas y enfermedades (Prasad *et al.*, 2025).

2.3. Principales enfermedades

El chile, es uno de los cultivos que presentan diversas limitantes en su productividad, siendo susceptible a diversas enfermedades como los factores bióticos (bacterias, virus y hongos) y abióticos (temperatura, luz, humedad del suelo y por deslave), los cuales pueden llegar a ser devastadores para los cultivos (Chew *et al.*, 2008; Montero *et al.*, 2013; Robles *et al.*, 2019).

2.3.1. Damping-off

El cultivo de chile es principalmente atacado por un grupo de hongos conformado por *Phytophthora capsici*, *Fusarium spp.* y *Rhizoctonia solani*, que ocasionan la enfermedad conocida como la marchitez del chile (Rodríguez *et al.*, 2024). Estos llegan a afectar el desarrollo radicular de las plantas generando pudriciones y ahorcamiento siendo de importancia económica ya que pueden generar pérdidas de plántulas hasta del 90 % (Rodríguez *et al.*, 2024).

2.3.2. Antracnosis

Además de los patógenos presentes en el suelo, el chile también es vulnerable a enfermedades fúngicas que afectan directamente al fruto, como la antracnosis, causada por el género *Colletotrichum*, que representa una amenaza significativa a nivel mundial y afecta con mayor severidad a frutos con heridas, donde el patógeno actúa con mayor agresividad y las pérdidas pueden ser severas (Tien *et al.*, 2025). Causando pérdidas en los rendimientos del cultivo de un 10 % hasta un 80 %, sin embargo, hay unas especies que atacan al fruto siendo una de las más agresivas (Suprpta, 2022; Mongkolporn *et al.*, 2018).

2.4. Principales plagas

C. annuum presenta diversas plagas que ocasionan daños en las distintas etapas fenológicas de la planta, provocando que disminuya la calidad, haciendo que la producción sea afectada por las pérdidas económicas, comprometiendo la rentabilidad del sistema de producción (Meza *et al.*, 2022).

2.4.1. Picudo del chile (*Anthonomus eugenii*)

Entre las principales plagas que afectan al cultivo de chile, destaca el picudo del chile (*Anthonomus eugenii*) que empieza a atacar en las etapas de la floración, fructificación y la maduración del fruto, ocasionando una necrosis, aborto floral, deformaciones y caída prematura (Manzanarez, 2024; Rubio *et al.*, 2024).

Este insecto llega a generar pérdidas económicas disminuyendo el rendimiento, puede causar hasta un 100 % de pérdidas, por lo que es considerada una de las plagas del Chile más dañinas (Audsley *et al.*, 2023; Rubio *et al.*, 2024; Leo *et al.*, 2024).

2.4.2. Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*), llega a tener una amplia presencia en diversos cultivos, una de las plagas que causa un grave problema en el desarrollo de las plantas, provocando daño directo al momento de alimentarse de la savia, ocasionando pérdidas en los cultivos por causa de los daños como en el amarillamiento, reducción de crecimiento, hasta llegar a un marchitamiento (Chan *et al.*, 2014; Espinoza *et al.*, 2024). *B. tabaci* es considerado transmisor de virus como begomovirus y geminivirus, que provocan que las plantas tengan un crecimiento anormal y que el desarrollo vegetativo se vea afectado, ocasionando una disminución en la producción (Chan *et al.*, 2014; Espinoza *et al.*, 2024).

2.4.3. Trips (*Frankliniella occidentalis*)

El trips (*Frankliniella occidentalis*) es una de las plagas que tiene un gran impacto en el cultivo, considerado de importancia mundial por los daños indirectos que provocan al alimentarse, ocasionando la transmisión del virus de la marchitez del Chile siendo una de las plagas más devastadoras del mundo, de igual forma se encuentra el pulgón *Myzus persicae* que llega a provocar daños en el cultivo a gran escala, ya que tiene una alta tasa de reproducción, ocasionando marchitez, decoloración, entre otros daños (Loera, 2013; Maciàn *et al.*, 2014; Castresana y Puhl, 2018; Santos *et al.*, 2024).

2.5. *Bactericera cockerelli* (Sulc)

La plaga del psilido *B. cockerelli* (Šulc, 1909), fue nombrada inicialmente por Karel Šulc en 1909 con el nombre de *Trioza cockerelli* originalmente de Norteamérica y posteriormente, D. L. Crawford, en 1911, la reubicó en el género de *Paratrioza* y la familia *Psyllidae* (Šulc, 1909; León y Barriga, 2021).

B. cockerelli, es un insecto del orden Hemíptero de la familia *Triozidae*, que se alimenta principalmente de follajes frescos, que se desarrolla en temperaturas de 21°C y teniendo una humedad relativa de alrededor de 68 %, con un ciclo de vida de 34 días, esto dependiendo de la temperatura en la que se encuentre expuesta, el insecto se llegan a posicionar en el haz y en el envés de las hojas, lo que en ocasiones llega ser difícil de identificar la presencia de la plaga (Castillo y Llumiquinga, 2021; Hernández *et al.*, 2024). El psilido, llega a presentar una transformación tipo hemimetábola o más conocida como incompleta, lo que quiere decir que la plaga solamente llega a pasar por tres etapas de su desarrollo, las cuales consisten en huevo, ninfa (dentro de esto son cinco etapas ninfales) y adulto, la duración del ciclo de vida dependerá de las condiciones en las que se encuentre (Castillo y Llumiquinga, 2021; Hernández *et al.*, 2024; Naspud *et al.*, 2025).

El salerillo, llega a provocar daños directos al momento de alimentarse de la savia de las plantas, donde logra inyectar las toxinas que ocasionaran los problemas, mostrando indicadores de los daños como es el amarillamiento de la planta, menor desarrollo vegetal, plantas raquíticas y mermas, ocasionando pérdidas en los cultivos de la familia *Solanácea* en invernadero y campo (Butler y Trumble, 2012; Delgado *et al.*, 2019; Melgoza *et al.*, 2018; León y Barriga, 2021; Correa *et al.*, 2023).

Candidatus Liberibacter solanacearum es una bacteria Gran-Negativa que está limitada al floema y es transmitida de manera indirecta por el insecto vector *B. cockerelli*, ocasionando daños como es el “permanente del tomate”, “zebra chip”, “brotes cloróticos”, “enanismo” y “clorosis” ocasionando pérdidas enormes para los agricultores, ya que se considera una enfermedad muy propagativa y dañina,

(Bujanos y Ramos, 2015; Melgoza *et al.*, 2018; Delgado *et al.*, 2019; Olaniyan *et al.*, 2020; Wenninger y Rashed, 2024).

2.5.1. Taxonomía de *B. cockerelli* Šulc

Los informes indican que la taxonomía de *B. cockerelli*, fue principalmente descrita por Karel Šulc (Šulc, 1909).

Dominio: Eukariota

Reino: Animalia

Filum: Artrópoda

Clase: Insecta

Orden: Hemíptera

Familia: Triozidae

Género: *Bactericera*

Especie: *Bactericera cockerelli* (Šulc, 1909).

2.5.2. Ciclo de vida

El ciclo de vida del pulgón saltador llega a tener una duración de entre 24 y 35 días para completar su desarrollo, el insecto cuenta con tres etapas morfológicas que son el huevo, la ninfa y el adulto, iniciando su ciclo en los brotes nuevos de las plantas donde el insecto oviposita sus huevecillos (Castillo y Llumiquinga, 2021).

2.5.3. Huevo

Los huevos de la Paratrioza, llegan a tener una longitud promedio de 0.3 a 0.5 mm y llega a alcanzar un ancho de 0.1 mm y se identifica mayormente por su color característico anaranjado-amarillo que se presentan en cada extremo del huevecillo, los cuales son ovipositados en el envés de las hojas con un hilo de pedicelo, donde pasan de entre tres a siete días para eclosión y empezar la fase ninfal (Bujanos y Ramos, 2015; Castillo y Llumiquinga, 2021; Pérez *et al.*, 2021).

2.5.4. Ninfas (cinco estadios ninfales)

Las ninfas de *B. cockerelli* pueden causar problemas en las plantas, como el “amarillamiento del psilido”, y son los principales vectores de las enfermedades, al alimentarse de la savia y comenzar a producir toxinas que provocan la formación de hongos y la marchitez de la planta (Bujanos y Ramos, 2015; Castillo y Llumiquinga, 2021; Pérez *et al.*, 2021).

2.5.5. Primer estadio

En el primer estadio, se logra observar una coloración naranja que refleja la ninfa, donde se empiezan a identificar principalmente las antenas basales que se desarrollan en el segmento superior del insecto, se comienza a detectar el tórax, los ojos llegan a ser más notorios, presenta una segmentación poco visible en las patas y no se logra apreciar las divisiones del cuerpo (Bujanos y Ramos, 2015; Pérez *et al.*, 2021).

2.5.6. Segundo estadio

Durante segundo estadio, se comienza a observar con más claridad las divisiones de la cabeza, tórax y el abdomen, volviéndose más perceptibles en el cuerpo, haciendo más notorias las antenas presentes en la cabeza que en cada instar ira incrementado el grosor, los ojos llegan a adquirir un color anaranjado oscuro que los caracterizan (Tang *et al.*, 2020; Pérez *et al.*, 2021; Castillo y Llumiquinga, 2021).

En el tórax refleja un color poco distinguible, dando una tonalidad de verde o amarillo ocasionando que el abdomen se llegue a apreciar un par de espiráculos en los primeros cuatro segmentos y se empieza a destacar un mayor desarrollo en los paquetes alares, así mismo, en las patas de la ninfa se comienzan a observar una segmentación más visible (Bujanos y Ramos, 2015; Pérez *et al.*, 2021; Castillo y Llumiquinga, 2021).

2.5.7. Tercer estadio

En el tercer estadio se llega a observar una segmentación más perceptible, llegando a captar la división de la cabeza por la tonalidad amarillenta y la presencia de los ojos con tonalidad rojiza, y el tórax llega a verse con un color verde amarillo junto con los paquetes alares que se llegan a observar con mucha más facilidad (Bujanos y Ramos, 2015; Pérez *et al.*, 2021; Castillo y Llumiquinga, 2021).

2.5.8. Cuarto estadio

Sin embargo, en estos últimos instares llega a tener rasgos más marcados, así como el color verde claro que irradian, en esta etapa se logra observar los paquetes alares y las alas vestigiales o rudimentarias que son más visibles que antes, de la misma forma los segmentos de las patas, de los tarsos y las uñas, se observan de manera más notoria, al igual que la separación del tórax y abdomen (Bujanos y Ramos, 2015; Pérez *et al.*, 2021; Castillo y Llumiquinga, 2021).

2.5.9. Quinto estadio

Las ninfas del quinto estadio llegan a presentar un cuerpo cubierto por filamentos cerosos, donde los segmentos de la cabeza, tórax y abdomen se encuentran bien definidos y presentan en la cabeza un par de antenas seccionadas con dos hendiduras que la mitad basal tiene una estructura gruesa y otra filiforme, así mismo los ojos muestran un tono guinda y muy visibles, las patas y la tibia se logran identificar más claro, así como los paquetes alares que llegan ser muy notorios gracias a su tamaño que sobresalen del cuerpo (Bujanos y Ramos, 2015; Pérez *et al.*, 2021; Castillo y Llumiquinga, 2021).

2.5.10. Adulto

Los adultos llegan a tener un cuerpo de 2.8 a 3.2 mm en longitud en promedio y 0.6 mm en lo ancho, sin embargo, las recién emergidos presentan una coloración verde claro y en el transcurso de 7 a 10 días cambia a una tonalidad de color negro con ciertas partes claras, los ojos son de color blanquecino con un punto oval y son un poco más estrechos, de la misma forma se observan antenas medianamente largas y posee líneas blancas en la cabeza y tórax, lo que hace más fácil la identificación del insecto (Bújanos y Ramos, 2015; Pérez *et al.*, 2021; Castillo y Llumiquinga, 2021).

2.6. Distribución geográfica

A lo largo del tiempo, la distribución geográfica de *B. cockerelli* ha sufrido cambios notables, principalmente por las variaciones climáticas que llegan a surgir; originalmente, la especie es nativa de América del Norte, sin embargo, se han obtenido reportes donde se ha llegado a confirmar la presencia de la plaga en nuevas regiones del mundo (Suwandharathne *et al.*, 2023). La paratrioza es un insecto herbívoro polífago con una amplia distribución geográfica, reportado en Estados Unidos, México, América Central y Nueva Zelanda, regiones donde ha sido reconocida como una amenaza significativa para la industria agrícola y considerada una plaga de importancia económica (Mustafa *et al.*, 2015; Sarkar *et al.*, 2023; Veronesi *et al.*, 2025).

De acuerdo con estudios realizados, se han identificado algunas de las áreas más adecuadas para el desarrollo de *B. cockerelli*, que son Eurasia, África, América del Sur, Nueva Zelanda y Australasia, gracias a las condiciones climáticas que se presentan en estas regiones (Wan *et al.*, 2020). En cuanto a Ecuador, se ha llegado a presentar la plaga, atacando principalmente a los cultivos de papa afectando la producción en Tungurahua, Cotopaxi y Pichincha que fueron identificados en 2019, esto por la presencia de síntomas de amarillamiento y enrollamiento que se producían, de esta forma se identificó el ataque de *B. cockerelli* (Caicedo *et al.*, 2020; Manobanda y Vásquez, 2022).

En Nueva Zelanda, se identificaron los primeros daños en los cultivos ocasionados por la plaga y fueron detectados entre los años de 2005 y 2006; sin embargo, por las faltas de medidas de control, en los primeros años se empezó a incrementar la población de *B. cockerelli*, ya que no intentaron erradicar la plaga y se extendió a toda Nueva Zelanda en 2009 (Teulon *et al.*, 2009; Vereijssen, 2020).

En México, la plaga de *B. cockerelli* se ha presentado en distintos estados como San Luis Potosí, Aguascalientes, Estado de México, Coahuila, Nuevo León, Guanajuato, entre otros estados, donde el insecto ocasiona pérdidas significativas en distintos cultivos de la familia solanácea, principalmente en el estado de Jalisco, donde se reporta una incidencia de la población del insecto de hasta un 75 % (Rubio *et al.*, 2006; Cerna *et al.*, 2018; Rivera *et al.*, 2018).

2.7. Impacto económico

La plaga *B. cockerelli* ha causado un impacto económico a gran escala en México y en el mundo, provocando pérdidas millonarias a diversos agricultores a lo largo de los años y afectando principalmente el rendimiento de los cultivos de la familia Solanaceae, con pérdidas del 70 % al 80 % (Rubio *et al.*, 2011; Castillo y Llumiquinga, 2021; Roque *et al.*, 2024).

A partir del 2007, se empezaron a detectar pérdidas económicas en diversos países, llegando a ocasionar una disminución de un 50 % en el rendimiento de los cultivos, provocado por la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, desencadenando enfermedades a la planta como “zebra chip”, “Variegado del Chile” y el “permanente del tomate”, provocando mermas en la producción (Liu y Trumble, 2006; Rivera *et al.*, 2018; Wan *et al.*, 2020; Delgado y Sánchez, 2023).

Así mismo, en México se considera como una plaga de gran impacto económico para los agricultores, llegando a afectar drásticamente a los cultivos, posicionando a San Luis Potosí como uno de los estados del noroeste con mayor problema por la alta reproductividad del insecto (Cerna *et al.*, 2018; Chávez *et al.*, 2021).

La plaga afecta principalmente a las regiones productoras de papa y chile, ocasionando daños directos e indirectos a los cultivos, lo que ha conllevado al uso de estrategias para el control, recurriendo al uso de productos químicos como último recurso, esto en base a la importancia económica que representa *B. cockerelli* (Tamayo *et al.*, 2014; Chávez *et al.*, 2015).

2.8. Manejo integrado de *B. cockerelli*

A lo largo del tiempo, para combatir *B. cockerelli* se han implementado diversas estrategias de control, como el uso de enemigos naturales, la realización de prácticas culturales y el uso de agroquímicos, sin embargo, el uso inapropiado de los productos ha ocasionado que el insecto llegue a obtener una resistencia y ha provocado que sea más difícil contener los daños que causa (Barrios *et al.*, 2016; Veronesi *et al.*, 2025). Llegando a implementar el uso de semillas resistentes, realizando labores culturales como la eliminación de cultivos antiguos, evitando la expansión de semillas contaminadas, para tener una reducción de la plaga y llegando al uso exclusivo de semillas certificadas, al igual que llegar a colocar trampas amarillas para la captura de los insectos adultos (Viera *et al.*, 2021; Gamarra *et al.*, 2023).

Para combatir la plaga, se ha llegado a implementar el uso de los enemigos naturales como es el parasitoide *Tamarixia triozae* (Burks), la chinche depredadora *Dicyphus hesperus* (Knight) y *Chrysoperla carnea* que se concentran en atacar los diferentes estadios ninfales y *Engyptatus varians* (Distant) un depredador polífago, que fue observado recientemente en México, alimentándose de instares de *B. cockerelli* llegando a controlar la población en los cultivos (Pugh *et al.*, 2015; Ramírez *et al.*, 2017; Pérez *et al.*, 2019; Cabrera *et al.*, 2022; Sarkar *et al.*, 2023).

Así mismo, se aplica el control biológico, donde se colocan a los depredadores como es la mariquita del sur (*Cleobora mellyi*) y *Cleobora mellyi* que se dirige a atacar al estado adulto de la plaga de las Solanácea que es la Paratrioza, también se han usado agentes que logren combatir huevos, ninfas y adultos, por

lo que se aplica el uso de *Beauveria bassiana*, *Paecilomyces lilacinus* y *Metarhizium anisopliae* para controlar el pulgón saltador, sin embargo, los resultados han disminuido considerablemente (Pugh *et al.*, 2015; Cabrera *et al.*, 2022; Cárdenas *et al.*, 2025).

Con el paso del tiempo se empezaron a descubrir el uso de extractos vegetales, así como Canela (*Cinnamomum verum*), Mostaza (*Sinapis arvensis*) entre muchas otras que ayudan a controlar la plaga, al igual se han buscado formas de incrementar la efectividad de estos extractos como es combinar Higuerrilla (*Ricinus cumminis*) y Chicalote (*Argemone mexicana*) con productos químicos para obtener una mortalidad más elevada, obtener un control mayor y no causar resistencia (Vargas *et al.*, 2018; Figueroa y Cerna, 2018).

Dentro del cultivo, se llegan a utilizar con más frecuencia los ingredientes activos como son, imidacloprid, abamectina, spinosad, cipermetrina, entre otras más, siendo productos usados para el control de los cultivos como el chile, sin embargo, cada uno se diferencia en el modo de acción que realiza, lo que hace que el insecto no pueda generar una resistencia (Cerna *et al.*, 2013; Luna *et al.*, 2011).

Lo que ha conllevado a implementar el uso del programa de Manejo Integrado de Plagas, el cual se rige por el uso rotatorio de diversos ingredientes activos, considerando que tenga un modo de acción distinto a los demás, teniendo como finalidad evitar una resistencia por parte del insecto, de igual forma, se implementa el control biológico para las plagas (Chávez *et al.*, 2015).

Sin embargo, se ha observado incremento en la capacidad invasora y en la alta variabilidad de la resistencia a insecticidas, lo que ha provocado un aumento de la capacidad de transmisión de patógenos y un menor control, sobre todo en lugares con climas favorables, como las regiones cálidas y de baja precipitación, que favorecen el desarrollo de la plaga (Covarrubias *et al.*, 2006; Manobanda y Vásquez, 2022).

2.9. Acetamiprid 20 SL

La empresa Nippon Soda Co., Ltd., fue el principal desarrollador del insecticida acetamiprid en 1984, un producto perteneciente al grupo 4 A de los Neonicotinoides, llegando a poseer características que lo hacen diferente de los de su mismo grupo químico, llegando a tener un efecto sistémico (Yamada *et al.*, 1999; Elbert *et al.*, 2008; Craddock *et al.*, 2019; Zuščíková *et al.*, 2023; IRAC). En 2002 se presentó por primera vez el registro de un producto con acetamiprid, con un modo de acción basado en la modulación competitiva del receptor nicotínico de acetilcolina, y se encuentra entre las sustancias que están bajo la tercera renovación de la ejecución de la Comisión No. 844-2012, por evidenciar un riesgo para la salud humana (Craddock *et al.*, 2019; PPR, 2022; IRAC, 2026).

El acetamiprid, es un producto que no llega a provocar daños citotóxicos y genotóxicos a las células del ser humano, sin embargo, pueden presentar un cierto daño neurotóxico principalmente en adultos mayores ya que es un producto de uso extenso tanto en el sector agrícola como en el urbano, considerando de amplio espectro por el uso en verduras y frutas frente a las diversas plagas (Annabi *et al.*, 2019; Gómez *et al.*, 2020; Ramírez *et al.*, 2023).

El insecticida se usa principalmente para el control efectivo de insectos chupadores, uno de los mayores problemas en los cultivos, y presenta una gran efectividad gracias a que se encuentra disponible en solución líquida, polvos mojables y granulados dispersables (Wallace, 2014).

El control del pulgón (*Aphis gossypii*) y la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), se ha basado en el uso de agroquímicos como acetamiprid, un producto que ha presentado una alta efectividad para el control del insecto que se encuentra en el estado adulto o ninfas (Abbas *et al.*, 2021; Abubakar *et al.*, 2022; SRINIVASAN y RAJAN, 2022). Sin embargo, el uso indebido de diversos pesticidas ha generado contaminación en el suelo y daños en algunos recursos hídricos, por lo que en algunos países el acetamiprid se convirtió en uno de los neonicotinoides que no se pueden usar al aire libre y se empezaron a emplear nuevas alternativas (Lalín *et al.*, 2025).

2.10. Azeem

Azeem, es un producto a base de extractos del árbol de Neem (*Azadirachta indica*), proveniente del subcontinente indico teniendo como una preferencia por las áreas tropicales y subtropicales, que ha llegado a ser usado como un repelente para los insectos y proporcionar beneficios para el ser humano, siendo implementado como un insecticida natural por sus propiedades para controlar y en algunos casos como medicamento, llegando a sustituir el uso de productos sintéticos y químicos, que se ha estado usando por muchos años para el control de plagas (Mordue y Blackwell, 1993; Chaudhary *et al.*,2017; Mordue y Nisbet, 2000; Perveen, 2024; Tufail *et al.*, 2025).

2.10.1. Neem (*Azadirachta indica*)

El extracto de Neem, que es extraído de las semillas obteniendo el complejo toxico llamado tetranortriterpenoide limonoide, se empezó a implementar para el control de plagas, siendo el biopesticida más sobresaliente en el mercado, teniendo el registro de ser uno de los pesticidas botánico con más resultados exitoso a nivel mundial, debido a su baja residualidad y una muy baja toxicidad (Mordue y Nisbet, 2000; Chaudhary *et al.*,2017; Islas *et al.*, 2020; Kilani *et al.*, 2021; Aderolu, 2025)

La *A. indica*, llega a tener una alta efectividad en el control de insectos, afectando el sistema alimenticio, produce una obstrucción en la liberación de la hormona juvenil y ocasiona deformación estructural y pérdida del movimiento, además de inducir esterilidad al insecto, de la misma forma se usa como un repelente natural (Mordue y Blackwell, 1993; Chaudhary *et al.*,2017; Mordue y Nisbet, 2000; Perveen, 2024).

Con base en los registros de *A. indica*, se comenzaron a realizar aplicaciones para el control del gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*), centrándose en las etapas larval y adulta, donde se usó el extracto del Neem en diversas concentraciones, con lo que se logró obtener una alta mortalidad en las etapas

designadas, donde se detectó una inhibición en la oviposición del *S. zeamais* (Aderolu, 2025).

El extracto se ha empleado para el control de diversas plagas, como es la mosca blanca, el gusano cogollero, el pulgón, teniendo como resultado una disminución significativa de los insectos en los cultivos, así como un cuidado a la estructura foliar de las plantas, ya que el Neem no causa una alteración en la estructura o estrés a la planta (Kilani *et al.*, 2021; Tulashie *et al.*, 2021; Seye *et al.*, 2022; Ruiz *et al.*, 2025). Sin embargo, se ha investigado que *A. indica* en combinación con un producto químico, llega a producir una potenciación de ambos productos obteniendo un control efectivo, por lo que el extracto se ha implementado en el Manejo Integrado de Plagas para evitar que los insectos lleguen a generar resistencia (Akhter *et al.*, 2023).

2.11. Pal-Pic

Pal Pic, es un producto biorracional que está hecho a base de tres extractos naturales que se potencializan entre ellos, llegando a ser efectivos para el control de diversas plagas gracias a los diferentes extractos que lo compone como es la *Brassica nigra*, *Piper nigrum* y *C. annuum*.

2.11.1. Mostaza negra (*Brassica nigra*)

La semilla de la mostaza negra (*Brassica nigra*) de la familia Brassicaceae, es considerada una hierba medicinal, que presenta una fuente de nutrientes y que llega a tener efectos insecticidas (Singh y Singh, 2025; Alqaraawi y Almujoydil, 2025). La mostaza negra presenta un efecto antibacteriano, por la presencia de antioxidantes que llega a inhibir la peroxidación lipídica de las bacterias, además de proteger a las plantas de enfermedades fúngicas como *Aspergillus fumigatus* (Singh y Singh, 2025; Nitthikan *et al.*, 2026).

Así mismo, *B. nigra* llega a ser implementada a la agricultura por aportar el componente de glucosinolatos, que se deriva del extracto de la planta de

mostaza, llegando a ser aplicado para prevenir enfermedades y plagas del suelo considerándose un producto con una alta efectividad principalmente contra nematodos, sin embargo, el producto llega a tener un efecto contra los insectos, siendo favorable para la agricultura y el cuidado del medio ambiente (Vuelta, 2014; Castaño, 2017; Singh y Singh, 2025; Pavana *et al.*, 2025).

Mediante el uso de los extractos, se ha observado que *B. nigra* contiene glucosinolatos, un compuesto que llega ocasionar una liberación de compuestos tóxicos, que afecta el desarrollo o realiza la función de repeler, al igual que puede ocasionar efectos en el sistema nervioso de los insectos (Vuelta, 2014; Castaño, 2017; Abdel *et al.*, 2023).

2.11.2. Pimienta negra (*Piper nigrum*)

Otro extracto es el de la pimienta negra (*Piper nigrum*), una planta que comenzó a usarse para el control de plagas, con la finalidad de usar productos más seguros ya que presenta sustancias como son los taninos, esteroides, glucósidos, entre otras sustancias que ayudan a la protección (Ahmedi *et al.*, 2024). *P. nigrum* es una especie de planta que es considerada la reina de las especies, por las propiedades curativas e insecticidas que ha llegado a presentar y ha logrado sobresalir como uno de los extractos más efectivos, por su alto control de los insectos por su modo de acción multisitio (Samuel *et al.*, 2016).

El extracto actúa por contacto, se ha evaluado contra *Rhizopertha dominica*, obteniendo una alta efectividad para el control en el cultivo del arroz, de la misma forma, con *Anopheles gambiae*, se ha obtenido un control en la etapa larval (Kemabonta *et al.*, 2018; Vanichpakorn *et al.*, 2019).

2.11.3. Chile (*Capsicum annum*)

C. annum es el último extracto de Pal Pic, que llega a presentar un control de insectos como de enfermedades, ya que se han detectado la presencia de algunos péptidos antimicrobianos, llegando a tener efectos inhibidores contra

cierto hongos y bacterias perjudiciales para planta, teniendo como efecto la inhibición del crecimiento de los patógenos, siendo utilizado para el control de *Botrytis cinérea* y *Xanthomonas euvesicatoria* (Silva *et al.*, 2018; Hajji *et al.*, 2024).

El chile es considerado un biopesticida, que no llega a causar daños al medio ambiente y es un producto muy accesible, rentable y eficiente, presenta propiedades fotoquímicas como capsaicinoides, fenoles, flavonoides, etc; Llega tener un efecto en el proceso metabólico, afectado las enzimas proteasa, lipasa, α -amilasa e invertasa, llegando a destacar por la gran efectividad de control que presenta (Parajuli *et al.*, 2022; Sepúlveda *et al.*, 2024; Baz *et al.*, 2025).

La capcina, que llega a provocar daños metabólicos, daños en el sistema nervioso y una deformidad en la pared celular que es compuesta, derivada del extracto de *C. annuum*, que presenta una alta concentración, lo que ayuda a tener un mejor control de plagas (Maksimova, 2013).

Se han registrado informes, del control de *B. tabaci* con los extractos de *C. annuum*, llegando a obtener una alta mortalidad en las aplicaciones, además de repeler al insecto y dañar su metabolismo, al igual se ha detectado que tiene un efectivo control hacia *Spodoptera exigua*, una plaga muy devastadora la cual presenta una mortalidad alta con el extracto (Castillo *et al.*, 2012; Allen *et al.*, 2021; Vélez *et al.*, 2022).

2.12. Nanotecnología

La nanotecnología fue usada por primera vez en el IX para el uso de fabricaciones de herramientas, sin embargo, en 1990, esta tecnología tuvo un auge en el mundo, a causa de nuevos descubrimientos que hacían énfasis en la nanotecnología, una ciencia que destaca por funcionar a escalas moleculares, que es aplicada en diversas áreas científicas y que cada vez va apareciendo innovaciones que benefician a la sociedad (Gómez, 2018; Amen *et al.*, 2021; Barhoum *et al.*, 2022).

Durante muchos años, en la agricultura se buscan diversas alternativas para el manejo y control de problemas en los cultivos, para la obtención de una mejor producción, lo que ha conllevado al uso de diversas tecnológicas como es el caso de la implementación de la nanotecnología, con la finalidad de tener una disminución en la contaminación y el uso de químicos en la producción, logrando obtener un alimento más limpio y seguros (Adisa *et al.*,2018; Lira *et al* 2018).

La nanotecnología es una de las áreas que aún se empiezan a investigar, sin embargo, avanza a pasos agigantados ayudando a mejorar la producción por medio de las nanopartículas, las cuales se han empleado en varias formas, así como los nanofertilizantes y los nanopesticidas que mejoran el rendimiento y protección de los cultivos (Mgadi *et al.*,2024).

El uso de la agricultura de las nanopartículas se debe a que tiene un tamaño de 1 a 100 nm, por lo que se ha comenzado a usarse y a tomar más relevancia por su enorme potencial para llegar a tener una agricultura sostenible, ya que esta se clasifica de varias formas como nanopartículas orgánicas, inorgánicas, cerámicas y carbono (Usman *et al.*, 2020; Ijaz *et al.*, 2020).

2.13. Nanopartículas de grafito

Las nanopartículas de carbono, se llega a clasificar en Fullerenos, Nanotubos de carbono, Nanofibras de carbono, Negro de carbono y Grafeno, a lo largo del tiempo las Nanopartículas de Grafeno (NPs-Gr), ha estado en constante investigación debido a las propiedades fisicoquímicas, estas se distinguen por un tamaño reducido en las partículas, su tipo de estructura, la alta solubilidad y el tipo de composición (Ijaz *et al.*, 2020; An *et al.*, 2022; Sharma *et al.*, 2025).

El NPs-G, se considera una de las mayores contribuciones a la agricultura, ya que ayudan a la mejor superficial, llegan a tener una alta estabilidad química, presentan biocompatibilidad y mejoran la adherencia, lo que mejora la eficiencia de los agroquímicos y conservantes alimentarios (Sharma *et al.*, 2025).

Se ha llegado a usar las NPs-G para el control de hongos fitopatógenos, donde fueron combinadas con *Bacillus amyloliquefaciens*, obteniendo hasta un 80 % de efectividad en el control de hongos como *Alternaria alternata* y *Fusarium solani*, lo que provoca una alteración en la producción de micelio y altera su estructura de crecimiento (Cerna *et al.*, 2024).

Las investigaciones de NPs-G ha ido progresando, de la misma manera que la resistencia de los insectos a productos convencionales va en aumento, por lo que se ha usado un nanopolvo de grafeno y óxido de grafeno, para llegar a proteger los granos, mostrando una alta eficiencia en el control de plagas de granos almacenados, el cual tiene un modo de acción donde las partículas de grafeno se adhieren al insecto, donde empiezan a realizar una obstrucción de la respiración y alterando la cutícula (Lampiri *et al.*, 2025; Sharma *et al.*, 2025).

Debido al incremento elevado de la resistencia, se comenzaron a realizar investigaciones donde se realizaron aplicaciones combinadas donde se usaron las NPs-G y algo de material vegetal, con el fin de potencializar el efecto de los productos y obtener un control mucho más efectivo (Uribe *et al.*, 2025).

De la misma forma que se han combinado las nanos con materia vegetal, se ha combinado con biopesticidas como el spinosad, que es un producto que llega a liberar neurotoxinas con pocas probabilidades de provocar una resistencia, y en las investigaciones se ha observado un mejor control y principalmente evita una residualidad alta (Lampiri *et al.*, 2025).

Siendo las NPs-G una de las alternativas más viables para el mejor manejo de plagas y la disminución de la resistencia de los insectos, evitando el uso repetitivo de productos sintéticos y químicos, para mantener el cuidado del medio ambiente y lograr una mejor producción en los cultivos (Sharma *et al.*, 2025; Amen *et al.*, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila.

3.2. Colonia de *B. cockerelli*

El establecimiento de la colonia de *B. cockerelli* fue instalado en una jaula entomológica con las características requeridas, que se colocó en el invernadero del laboratorio siguiendo los protocolos para el desarrollo del insecto que se mantuvo bajo condiciones controladas.

Dentro de la jaula, se colocaron plántulas de *C. annuum* como aportación alimenticia y lugar de oviposición de *B. cockerelli*; se realizaron monitoreos constantes acerca del desarrollo del insecto, observando el porcentaje de la población en las jaulas para determinar el momento justo para continuar con el proceso de la investigación. Cuando el porcentaje de la colonia alcanzó el punto óptimo de insectos adultos, se realizó un cambio de plántulas de chile, con el fin de evitar una defoliación completa del material vegetativo y promover al insecto continuar con su ciclo de vida y mantener estable la población de insectos.

3.2. Productos evaluados

Se usaron tres insecticidas para evaluar la susceptibilidad hacia el pulgón saltador, dos productos a base de extractos naturales que son Azeem y Pal Pic, y un químico con una formulación de Acetamiprid al 20 %, en combinación con NPs-Gr. Usando una dosis de 3, 10, 100, 500, 1000 y 2000 ppm de cada uno de los productos empleados, combinándolos con 1, 3, 5 y 10 % de NPs-Gr, se utilizaron 3 repeticiones por tratamiento, para realizar el bioensayo.

3.3. Establecimiento del bioensayo

El lineamiento establecido para realizar el bioensayo fue utilizando el Método de Prueba de Susceptibilidad 032 de la versión 1.0 de noviembre de 2014, en base (IRAC.2026), el cual determina el protocolo que se debe emplear para la evaluación de respuestas de *B. cockerelli* con los diferentes productos.

3.4. Inmersión de hojas

Se realizó la preparación de los tratamientos en vasos de precipitado, colocando las dosis del insecticida a la ppm correspondiente en cada uno y el porcentaje de nanopartículas a las que se tendrán que someter. En cada vaso de precipitado se colocaron 30 ml de agua destilada, utilizando una micro pipeta para poder medir la cantidad correcta de producto y nanopartículas correspondientes a los cálculos realizados en base a las concentraciones de cada producto a emplear.

Los tratamientos constaron de tres repeticiones cada uno, se empleó un testigo a base del producto solo con agua destilada, un testigo donde se aplicaron las NPs-Gr solas y un testigo con agua pura.

Las hojas seleccionadas fueron llevadas a un proceso de inmersión en las soluciones con los ingredientes activos que se encontraban solo o en combinación con las nanopartículas anteriormente preparadas, las cuales eran sumergidas durante 5 segundos dentro de la solución, posteriormente las hojas eran retiradas, evitando que las hojas tuvieran un exceso de solución, se colocaron en las cajas Petri preparadas con papel húmedo y correspondientes al tratamiento al cual fue sometida la hoja.

3.5. Selección de muestra

Las selecciones de muestras para el bioensayo, fueron elegidas bajo los siguientes criterios conforme al IRAC (2026): las ninfas deberán de encontrarse en una etapa fenológica que es el instar tres al cinco de la segunda generación y las hojas recolectadas deberán de contar con 30 ninfas como requerimiento mínimo, con el fin de tener una muestra representativa y que garantice un buen resultado.

Con ayuda de un estereoscopio óptico, se realizó un conteo de hojas con base en la cantidad de ninfas, y con ayuda de un pincel y un bisturí, se realizaron cortes y conteos en las hojas, con el propósito de obtener una muestra representativa para el bioensayo, colocando tres muestras en cada caja de Petri.

3.6. Criterios Mortalidad

Con ayuda de un estereoscopio y un pincel, pasadas las 24 horas después de haber sido tratadas con las soluciones, se consideran los criterios de mortalidad propuestos por Wallis (1955): todas aquellas ninfas muertas que lleguen a presentar una deshidratación ocasionada por el tratamiento, presentar una coloración marrón café y tener una consistencia sube o lechosa, y que la ninfa no llegue a responder a los estímulos hechos por un pincel.

3.7. Análisis estadístico

En base a los datos obtenidos se le realizó una corrección de mortalidad por la fórmula propuesta por Henderson y Tilton (1955), posteriormente se aplicó un análisis de varianza utilizando los datos de media Tukey (<0.005), a los datos obtenidos de las medias, se empleó el modelo dosis-respuesta para determinar la concentración letal media CL_{50} mediante un análisis Probit, mediante el programa estadístico SAS versión 9.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron las NPs-Gr solas, observando la eficiencia con las concentraciones que se muestran en el (Cuadro 1), observando que la concentración al 10 % presentó una respuesta del 34.6 % de mortalidad, considerándose la más letal, y la concentración al 1 % demostró tan solo una mortalidad del 6.39 %, resultando en una efectividad baja en comparación con los demás tratamientos. Senbill y colaboradores (2025), realizaron una evaluación de las nanopartículas de óxido de grafeno para el control de garrapatas, que presentaron actividad acaricida, afectando la actividad enzimática con un 60 % de efectividad a las 24 h; sin embargo, Lampiri y colaboradores (2024), realizaron una evaluación para el control de plagas de granos almacenados, utilizando una base de polvo de grafeno en concentraciones de 0, 100, 500 y 1000 ppm, las cuales se evaluaron a los 14 días, mostrando una efectividad de un 47 % en la concentración de 1000 ppm.

Cuadro 1. Mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* expuestas a NPs-Gr.

Grafito solo	Mortalidad %
1 %	6.39
3 %	8.55
5 %	22.78
10 %	34.6

En el (Cuadro 2) se observan la concentración de 2000 ppm de Pal Pic en combinación con 10 % de NPs-Gr al presentar una mortalidad de 97.54 % de efectividad siendo el mejor resultado obtenido, seguido de la concentración de 2000 ppm al 5 % de las nanopartículas, revelando un 94.70 % de mortalidad, en comparación con el P.S. que mostró una mortalidad de tan solo 88 %, siendo uno de los tratamientos con menor efectividad en comparación de Ahmed y colaboradores en (2021), realizó un bioensayo donde evaluaron la combinación de aceites esenciales para el control de pulgón, usando pimienta negra, árbol de té y romero, llegando reportar una mortalidad del 98.33 % a las 24 h en las etapas

adultas del insecto, mientras que la aplicación de 2000 ppm de Pal Pic y 10 % de NPs-Gr se obtuvo una mortalidad del 97.54 % en las etapas ninfales de *B. cockerelli*, y Nawaz y colaboradores (2022), investigaron el efecto combinado de *Metarhizium anisopliae* con flonicamida, para evaluar la mortalidad en *Aphis gossypii* a las 72 h de ser expuesta, obteniendo una mortalidad de un 91.68 %, en una concentración de 2.4×10^6 ufc/ml.

Cuadro 2. Evaluación de la mortalidad a las 24 h de ninfas de *B. cockerelli*, sometidas a NPs-Gr en combinación con el producto biorracional Pal Pic.

Nanopartículas de grafito (%) Pal Pic					
Ppm	1%	3%	5%	10%	P.S
3	37.74 f	24.91 f	45.61 f	49.05 f	38.85 f
10	40.31 e	53.2 e	58.99 e	63.99 e	48.9 e
100	48.22 d	62.32 d	68.03 d	77.16 d	65.3d
500	62.32 c	72.76 c	80.95 c	87.44 c	78.05 c
1000	69.45 b	81.16 b	85.02 b	94.20 b	86.47 b
2000	88.81 a	90.38 a	94.70 a	97.54 a	88 a

P. S= Producto solo (columna)

Las letras ^{a, b, c, d} indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en concentraciones del insecticida (columnas) para un mismo nivel de nanopartículas de grafito.

En el (Cuadro 3) se pueden apreciar los datos obtenidos de la mortalidad de Azeem, mostrando que la aplicación del P.S. en una concentración de 2000 ppm alcanzó únicamente una eficiencia de mortalidad del 84.85 %, siendo uno de los tratamientos con menor efectividad registrados, sin embargo, en las concentraciones combinadas de las nanopartículas al 5 y 10 % con el producto a 2000 ppm, demostraron una mortalidad del 100 % a las 24 h en comparación de Chen y colaboradores (2022), llegaron a usar nanoportadores de grafeno en combinación con lambda-cialotrina para el control del gusano del algodón, evaluando la potencialización de las nanopartículas de grafeno y obteniendo una mortalidad del 68 %, la cual presentó la mayor efectividad; de la misma forma, Lampiri y colaboradores (2025), llegaron a investigar la efectividad de la combinación de nanopartículas y biopesticidas, donde usaron 250 ppm de nanopartículas de grafeno y 200 ppm de spinosad para evaluar la mortalidad en

la etapa adulta de *Tribolium castaneum*, mostrando una mortalidad del 97 % a los 21 días después de someterlos al tratamiento. Kumar y colaboradores (2025), realizó una investigación evaluando la efectividad de extracto de neem en combinación con imidacloprid, usando una dosis de 25 g i.a./ha + 5 % N presentó una disminución de la población de mosca blanca en un 46 % a los 15 DAP, demostrando que los resultados del bioensayo de la combinación con nanopartículas llegan potencializar los efectos insecticidas con 5 y 10 % de nanos.

Cuadro 3. Evaluación de la mortalidad a las 24 h de ninfas de *B. cockerelli*, sometidas a NPs-Gr en combinación con el producto biorracional Azeem.

Nanopartículas de grafito (%) Azeem					
Ppm	1%	3%	5%	10%	P.S
3	29.78 f	34.6 f	39.5 f	47.6 f	14.52 f
10	32.18 e	65.7 e	72.9 e	78.5 e	36.93 e
100	34.19 d	70.1 d	81.3 d	86.6 d	56.13 d
500	43.09 c	85.3 c	92.3 c	94.3 c	59.47 c
1000	79.69 b	87.48 b	94.5 b	97.6 b	71.97 b
2000	88.25 a	92.06 a	100 a	100 a	84.85 a

P. S= Producto solo (columna)

Las letras ^{a, b, c, d} indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en concentraciones del insecticida (columnas) para un mismo nivel de nanopartículas de grafito.

Los datos de mortalidad de que se ilustran en el (Cuadro 4), se observa que el control de ninfas fue más efectivo con una dosis de 2000 ppm en combinación con el 10 % de nanopartículas demostrando una mortalidad del 100 %, seguido de la concentración al 5 % con 2000 ppm presentando una mortalidad del 98 %, en comparación con el producto solo el cual presentó una mortalidad del 90 %. Según Saini y colaboradores (2025), reportaron la efectividad de acetamiprid a una dosis de 100 g/ha y etión con 1500 ml/ha, presentaron una efectividad significativamente alta para el control de pulgón y mosca blanca a los 15 días de aplicarse. Mushtaq y colaboradores (2024), evaluaron los productos de imidacloprid a la mitad de la dosis recomendada con piriproxifen, registrando una mortalidad de un 71.03 % en contra de la mosca blanca en un lapso de 7 días.

Cuadro 4. Evaluación de la mortalidad a las 24 h de ninfas de *B. cockerelli*, sometidas a NPs-Gr en combinación con Acetamiprid.

Nanopartículas de grafito (%) Acetamiprid					
Ppm	1%	3%	5%	10%	P.S
3	36.75 f	42.78 f	44.78 f	47.1 f	35.19 f
10	49.37 e	62.17 e	61.64 e	73.6 e	54.77 e
100	61.06 d	67.87 d	75.72 d	80.2 d	67.98 d
500	65.74 c	78.00 c	81.58 c	95 c	84.13 c
1000	75.69 b	88.10 b	94.67 b	96.1 b	82.77 b
2000	87.76 a	93.67 a	98.00 a	100 a	90 a

P. S= Producto solo (columna)

Las letras ^{a, b, c, d} indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en concentraciones del insecticida (columnas) para un mismo nivel de nanopartículas de grafito.

Dosis letal CL₅₀

En el (Cuadro 5) se observa que la CL₅₀ registrada en el tratamiento del P.S. arrojó una efectividad de 12.01 ppm, sin embargo, en la incorporación de NPs-Gr con el producto se registró una reducción de la CL₅₀ observada de 5.29 y 3.36 ppm en las concentraciones de 5 y 10 % de nanopartículas respectivamente, demostrando que las combinaciones muestran un alto sinergismo de un 2.27 y 3.57 veces más respectivamente, mostrando una mayor efectividad que el P.S. En comparación con Rivera y colaboradores (2025), que evaluaron la eficiencia del extracto de *piper nigrum* en combinación de nanopartículas de grafeno de 40-80 nanómetros, llegando a obtener un CL₅₀ de 68.3 ppm a las 72 h, mientras que Pal Pic presentó una reducción de 3.36 ppm con una concentración de 10 % de nanopartículas; sin embargo, Gutiérrez y colaboradores (2021) evaluaron la combinación de óxido de zinc y dióxido de titanio, llegando a presentar una CL₅₀ de 14.14 ppm en concentración que van de las 500 ppm hasta 3000 ppm presentando tan solo un 25 % en la mortalidad a los 5 días.

Cuadro 5. Resultados de la concentración letal media en ninfas de *B. cockerelli* con Pal Pic, en diferentes concentraciones de NPs-Gr a las 24 h.

Pal Pic						
Concentración de grafito (%)	CL ₅₀ (Ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
P.S	12.01	5.77	21.11	$Y=-0.5586+0.5173$	<0.0001	
1	37.58	1.54	186.9	$Y=-0.6692+0.4249$	<0.0001	0.31 x
3	9.26	3.58	18.29	$Y=-0.4229+0.4373$	<0.0001	1.29 x
5	5.29	2.03	10.47	$Y=-0.3535+0.4887$	<0.0001	2.27 x
10	3.36	1.43	6.29	$Y=-0.3155+0.5984$	<0.0001	3.57 x

CL₅₀: Concentración letal media. LFI: Límite fiducial inferior. LFS: Límite fiducial superior. RS: Relación de sinergia en valores de CL₅₀.

Los resultados de Azeem que se muestran en el (Cuadro 6), muestran que la CL₅₀ de la concentración al 1 % tuvo un aumento de 103.23 ppm en comparación del P.S, presentando una sinergia de 0.77 veces más, aumentado la efectividad, sin embargo, la concentración al 10 % demostró una enorme reducción de la CL₅₀ alcanzando 2.24 ppm, demostrando un alto sinergismo de 35.79 veces más que en comparación al P.S. siendo considerado el menos efectivo. En comparación de Rivera y colaboradores (2024), que evaluaron el extracto de neem en *Tribolium castaneum*, reportando una CL₅₀ de 340.30 ppm, la cual fue uno de los resultados más bajos para el control a las 72 h y Rivera y colaboradores (2018), evaluó el extracto de higuerrilla en combinación de grafito para el control de llegando a presentar una CL₅₀ 171.17 ppm a las 72 h con un 3 % de NPs-Gr que en comparación con la CL₅₀ que se obtuvo con el extracto de neem es mejor, ya que con un 3 % de nano presentó una CL₅₀ de 6.74 ppm presentando una mayor efectividad.

Cuadro 6. Resultados de la concentración letal media en ninfas de *B. cockerelli* con Azeem, en diferentes concentraciones de NPs-Gr a las 24 h.

Azeem						
Concentración de grafito (%)	CL ₅₀ (Ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
P.S	80.17	25.28	213.49	Y=-1.1304+0.5936	<0.0001	
1	103.23	-	-	Y=-1.0067+0.4998	0.0078	0.77 x
3	6.74	0.74	21.10	Y=-0.4579+0.5525	<0.0001	11.89 x
5	3.99	0.45	12	Y=-0.4422+0.7350	<0.0001	20.09 x
10	2.24	0.26	6.56	Y=-0.2647+0.7530	<0.0001	35.79 x

CL₅₀: Concentración letal media. LFI: Límite fiducial inferior. LFS: Límite fiducial superior. RS: Relación de sinergia en valores de CL₅₀.

En el (Cuadro 7), se observa que la CL₅₀ mostró una reducción de 17.72 ppm al 1 % de NPs-Gr, presentando un sinergismo de 0.59 veces más al del P.S el cual presentó una CL₅₀ de 10.51 ppm, sin embargo, la concentración al 10 % en combinación con el producto, se registró una eficiencia de 2.88 ppm dando como resultado un sinergismo de 3.64 veces más efectivo que la aplicación del P.S. En comparación a Putra y colaboradores (2024), evaluaron el incremento de la combinación de buprofen con clorhidrato de cartap, en la que se usaron 2 g/L, presentando una CL₅₀ de 47.11 ppm y una mortalidad del 100 % en insectos hemípteros; Ruiz y colaboradores (2015), evaluaron la efectividad de imidacloprid en combinación con betacyflutrín para el control de *Diaphorina citri*, presentando una mortalidad de un 90 % en las etapas ninfales evaluadas a los 7 días después de haber sido expuestas al tratamiento; Cerna y colaboradores (2021), evaluaron la efectividad de extractos naturales para el control de *Conotrachelus dimidiatus*, utilizando *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, donde evaluaron la susceptibilidad obteniendo una CL₅₀ de 2.0×10^8 dando como resultado una mortalidad de un 53 %.

Cuadro 7. Resultados de la concentración letal media en ninfas de *B. cockerelli* con Acetamiprid, en diferentes concentraciones de NPs-Gr a las 24 h.

Acetamiprid						
Concentración de grafito (%)	CL₅₀ (Ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
P.S	10.51	5.11	18.32	Y=-0.5526+0.5408	<0.0001	
1	17.72	7.63	33.28	Y=-0.5303+0.4247	<0.0001	0.59 x
3	5.49	2.14	10.78	Y=-0.3638+0.4919	<0.0001	1.91 x
5	4.81	0.47	15.38	Y=-0.4131+0.6052	<0.0001	2.18 x
10	2.88	0.35	8.46	Y=-0.3328+0.7234	<0.0001	3.64 x

CL₅₀: Concentración letal media. LFI: Límite fiducial inferior. LFS: Límite fiducial superior. RS: Relación de sinergia en valores de CL₅₀.

V. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que las nanopartículas de grafito potencializaron el efecto de los productos biorracionales e insecticida químico en el control de ninfas de *B. cockerelli* alcanzando mortalidades del 100 %, reduciendo con ello las dosis de aplicación.

VI. LITERATURA CITADA

- Abbas, A., Hussain, S., Xinzi, Z., Ying, W., Iqbal, A., Ahmad, S., Ullah, F., Usman, M., & Zhao, C. R. (2021). 8. Toxicidad de insecticidas selectivos contra plagas de insectos succionadores de savia del algodón (*Gossypium hirsutum*). *Biología Pura y Aplicada (PAB)*, 11(1), 72-78.
- Abdel-Massih, R. M., Debs, E., Othman, L., Attieh, J., & Cabrerizo, F. M. (2023). Glucosinolates, a natural chemical arsenal: More to tell than the myrosinase story. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1130208.
- Abubakar, M., Koul, B., Chandrashekar, K., Raut, A., & Yadav, D. (2022). Estrategias de manejo de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) para la agricultura sostenible: una revisión. *Agricultura*, 12(9), 1317.
- Aderolu, I. A. (2025). Actividades insecticidas de polvo de hojas y semillas de *Azadirachta indica* (A. Juss) contra las fases larvaria y adulta de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). *Journal of Agriculture and Environment*, 21(1), 33-41.
- Adisa, I. O., Reddy, Pullagurala, V. L., Rawat, S., Hernandez-Viezcas, J. A., Dimkpa, C. O., Elmer, W. H., J. C. White, J. R. P. Vidéa & Gardea-Torresdey, J. L. (2018). Role of cerium compounds in Fusarium wilt suppression and growth enhancement in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(24), 5959-5970.
- Aguilar-Meléndez, A., Marco Antonio Vásquez-Dávila, G. I. Manzanero-Medina, and E. Katz. "Chile (*Capsicum* spp.) as Food-Medicine Continuum in Multiethnic Mexico." *Foods* 10 (2021). <https://doi.org/10.3390/foods10102502>.
- Aguilar-Meléndez, A., Morrell, P. L., Roose, M. L., & Kim, S. C. (2009). Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chiles (*Capsicum*

annuum; Solanaceae) from Mexico. *American Journal of Botany*, 96(6), 1190-1202.

Ahmed, Q., Agarwal, M., Al-Obaidi, R., Wang, P., & Ren, Y. (2021). Evaluation of aphicidal effect of essential oils and their synergistic effect against *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Molecules*, 26(10), 3055.

Ahmedi, F. H., Mohammed, H. M., Hussein, A. M., Abdalrazaq, N. A., Nouri, M. J., Jassim, A. R. D., Kasim, A. M. H., Mahdi, B. M., & Rahi, F. A. (2024). Evaluación de extractos alcohólicos de *Eruca Sativa* y *Capsicum annum* como pesticidas contra plagas de pulgones y moscas blancas. *Revista Port Science Research*, 7 (número), 301-306.

Allen-Siezars, O. C., Vanega, E. R. T., Mongalo, B. F. E., Estrada, E. A. S., & Flores-Pacheco, J. A. (2021). Capacidad biocida de extractos de *Capsicum annum* sobre larvas de *Spodoptera exigua* (Lepidóptera: Noctuidae) Biocidal capacity of *Capsicum annum* extracts on *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae.

Alqaraawi, S., Almujoydil, MS. Propiedades nutricionales y posibles usos terapéuticos de *Brassica nigra*. *Discov Food* 5, 319 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00635-9>

Amen, R., Mukhtar, A., Saqib, S., Ullah, S., Al-Sehemi, A. G., Mehdi, S. E. H., Babar, M. & Bustam, M. A. (2021). History and development of nanomaterials. In *Nanomaterials: synthesis, characterization, hazards and safety* (pp. 1-14). Elsevier.

An, C., Sun, C., Li, N., Huang, B., Jiang, J., Shen, Cui, H., Wang, C., Zhao, X., Cui, B., Wang, C., Li, X., Zhan, S., Gao, F., Zeng, Z., & Wang, Y. (2022). Nanomateriales y nanotecnología para la entrega de agroquímicos: estrategias hacia una agricultura sostenible. *Revista de Nanobiotecnología*, 20(1), 11.

- Annabi, E., Ben Salem, I., & Abid-Essefi, S. (2019). La acetamiprida, un insecticida neonicotinoide, indujo citotoxicidad y genotoxicidad en células PC12. *Mecanismos y métodos toxicológicos*, 29(8), 580-586.
- Barhoum, A., García-Betancourt, M. L., Jeevanandam, J., Hussien, E. A., Mekkawy, S. A., Mostafa, M., Omran, M. M., S. Abdalla, M., y Bechelany, M. (2022). Reseña sobre nanomateriales naturales, incidentales, bioinspirados e ingenierizados: historia, definiciones, clasificaciones, síntesis, propiedades, mercado, toxicidades, riesgos y regulaciones. *Nanomateriales*, 12(2), 177. <https://doi.org/10.3390/nano12020177>.
- Barrios-Díaz, B., Arellano-Fuentes, M. E., Vázquez-Huerta, G., Barrios-Díaz, J. M., Berdeja-Arbeu, R., & Hernández-Tapia, M. D. R. (2016). Control alternativo de paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc.) en chile serrano (*Capsicum annuum* L.). *Entomología mexicana*, 3(1).
- Baz, M. M., Elhawary, E. A., Abdelhafiz, A. H., Mostafa, R. M., Alruhaili, M. H., Gattan, H. S., Selim, A., Gad, M. E., & Abd-Elkhalek, H. F. (2025). Eficacia de extractos de *Capsicum annuum* calientes frente a la actividad biológica de *Culex pipiens* y larvas de *Musca domestica* con sus perfiles fitoquímicos. *Acta Parasitologica*, 70(3), 129.
- Bujanos, R., & Ramos, C. (2015). El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (= Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA. *Corporativo Editorial Tauro SA de CV*.
- Butler, C. D., & Trumble, J. T. (2012). The potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): life history, relationship to plant diseases, and management strategies. *Terrestrial arthropod reviews*, 5(2), 87-111.

- Cabrera, I. M., Ortiz, D. M., & Díaz, H. L. B. (2022). Influencia de la temperatura y agentes de control biológico sobre *Bactericera cockerelli* (Sulcer)(Hemiptera: Psyllidae). *Revista de Protección Vegetal*, 37(2), cu-id.
- Caicedo, J. D., Simbaña, L. L., Calderón, D. A., Lalangui, K. P., & Rivera-Vargas, L. I. (2020). First report of ' *Candidatus Liberibacter solanacearum*' in Ecuador and in South America. *Australasian Plant Disease Notes*, 15(1), 1.
- Campos, E. V. R., Proença, P. L. F., Oliveira, J. L., Pereira, A. E. S., De Moraes Ribeiro, L. N., Fernandes, F. O., Gonçalves, K. C., Polanczyk, R., Pasquoto-Stigliani, T., Lima, R., Melville, C. C., Della Vecchia, J. F., Andrade, D. J., & Fraceto, L. (2018). Carvacrol and linalool co-loaded in β -cyclodextrin-grafted chitosan nanoparticles as sustainable biopesticide aiming pest control. *Scientific Reports*, 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26043-x>
- Cárdenas-Huamán, G., Morocho-Romero, H., Casas-Niño, S., Vilchez-Navarro, S., Velarde-Apaza, L. D., Ramírez-Rojas, M., Cruz, J., y Lozano-Isla, F. (2025). Eficacia de agentes biológicos y químicos de control contra la psílida de la patata (*Bactericera cockerelli* šulc) en condiciones de campo. *Revista Internacional de Biología Vegetal*, 16(4), 136. <https://doi.org/10.3390/ijpb16040136>.
- Castaño, P. R. (2017). *Control de la podredumbre radical causada por phytophthora cinnamoni en dehesas mediante biofumigación con brassica spp* (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba (ESP)).
- Castillo, C. C., & Llumiquinga, H. P. (2021). *Manual para reconocer e identificar al psílido de la papa (Bactericera cockerelli Šulc) en campo y laboratorio. Manual Técnico No. 121. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 9-40 pp.*

- Castresana, J. E., & Puhl, L. (2018). Eficacia de insecticidas botánicos sobre *Myzus persicae* (Sulzer) y *Aphis gossypii* (Clover)(Hemiptera: Aphidiae) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo cubierta. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 136-146.
- Cerna, E., Ochoa, Y., Aguirre, L. A., Flores, M., & Landeros, J. (2013). Determinación de la resistencia a insecticidas en cuatro poblaciones del psílido de la papa *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae). *Phyton (Buenos Aires)*, 82(1), 63-68.
- Cerna-Chávez, E., Hernández-Bautista, O., Ochoa-Fuentes, Y. M., Landeros-Flores, J., Aguirre-Urbe, L. A., & Hernández-Juárez, A. (2018). Morfometría de inmaduros y tablas de vida de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) de poblaciones del noreste de México. *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 53-60.
- Cerna-Chávez, E., Lira-Ramos, K. V. D., Ochoa-Fuentes, Y. M., Delgado-Ortiz, J. C., Cepeda-Siller, M., & González-Gaona, E. (2021). Actividad de extractos de plantas y hongos entomopatógenos para el control del picudo de la guayaba (*Conotrachelus dimidiatus* Champion) Coleóptera: Curculionidae. *Biotecnia*, 23(1), 70-76.
- Cerna-Chávez, E., Orozco-Plancarte, A., Ochoa-Fuentes, Y. M., Landeros-Flores, J., Jasso de Rodríguez, D., & Hernández-Pérez, A. (2024). Efectividad in vitro de nanopartículas de dióxido de silicio y grafeno combinadas con extractos de *Bacillus amyloliquefaciens* contra hongos fitopatógenos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 15(8).
- Chan Cupul, W., Ruiz Sánchez, E., Chan Díaz, J. R., Latournerie Moreno, L., Rosado Calderón, A. T., & González Mendoza, D. (2014). Atracción de adultos y preferencia de oviposición de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) en genotipos de *Capsicum annuum*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(1), 77-86.

- Chaudhary, S., Kanwar, R. K., Sehgal, A., Cahill, D. M., Barrow, C. J., Sehgal, R., & Kanwar, J. R. (2017). Avances en los biopesticidas basados en *Azadirachta indica* en la sustitución de pesticidas tóxicos sintéticos. *Fronteras en ciencia vegetal*, 8, 610.
- Chávez, E. C., Bautista, O. H., Flores, J. L., Uribe, L. A., & Fuentes, Y. M. O. (2015). Insecticide-resistance ratios of three populations of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psylloidea: Triozidae) in regions of northern Mexico. *Florida Entomologist*, 98(3), 950-953.
- Chávez, E. C., Beache, M. B., Fuentes, Y. M. O., Bautista, O. H., & Ortiz, J. C. D. (2021). *Bactericera cockerelli* vector de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, morfometría y haplotipos en poblaciones de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (26), 81-94.
- Chen, Z., Zhao, J., Liu, Z., Bai, X., Li, W., Guan, Z., Zhou, M., & Zhu, H. (2022). Insecticidas administrados con grafeno contra el gusano del algodón. *Nanomateriales*, 12(16), 2731. <https://doi.org/10.3390/nano12162731>
- Chew M. Y. I. Vega P. A., Palomo R. M & Jiménez D. F. (2008). PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL CHILE (*Capsicum annuum* L.). (INIFA).
- Chiou, K. L., Lira-Noriega, A., Gallaga, E., Hastorf, C. A., & Aguilar-Meléndez, A. (2024). Interdisciplinary insights into the cultural and chronological context of chili pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum* L.) domestication in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(47), e2413764121.
- Correa, Y., Gamarra, H., & Kreuze, J. F. (2023). Identificación morfológica y molecular del Psílido de la papa *Bactericera cockerelli*. Procedimientos operativos estándar (SOP).

- Coyotl-Pérez, W. A., Flores-Hernández, M., Ramírez-Díaz, C. A., & Villa-Ruano, N. (2025). Alternativas agroecológicas para contrarrestar enfermedades en cultivos de *Capsicum*. *Revista mexicana de fitopatología*, 43(SPE).
- Craddock, H. A., Huang, D., Turner, P. C., Quirós-Alcalá, L., & Payne-Sturges, D. C. (2019). Trends in neonicotinoid pesticide residues in food and water in the United States, 1999–2015. *Environmental Health*, 18(1), 7.
- da Silva Pereira, L., do Nascimento, V. V., de Fátima F. R. S., Rodrigues, R., Fernandes, K. V. S., de Oliveira Carvalho, A., Vasconcelo, I. M., dos Santos Bento, C., Sudré, C. P., Zottich, U. y Gomes, V. M. (2018). Caracterización de péptidos antimicrobianos de hojas y raíces de *Capsicum annuum* L.: actividad antimicrobiana contra microorganismos fitopatógenos. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(6), 107.
- De Oliveira, J. L., Campos, E., Germano-Costa, T., Lima, R., Vechia, J. F. D., Soares, S. T., De Andrade, D. J., Gonçalves, K. C., Nascimento, J. D., Polanczyk, R., & Fraceto, L. (2019). Association of zein nanoparticles with botanical compounds for effective pest control systems. *Pest management science*, 75 7, 1855-1865. <https://doi.org/10.1002/ps.5338>
- Delgado Luna, C., & Sánchez Peña, S. R. (2023). Distribución y prevalencia de *Bactericera cockerelli* (šulc.) en hospederos silvestres en la zona agrícola de Galeana, Nuevo León.
- Delgado-Ortiz, J. C., Beltrán-Beache, M., Cerna-Chávez, E., Aguirre-Urbe, L. A., Landero-Flores, J., Rodríguez-Pagaza, Y., & Ochoa-Fuentes, Y. M. (2019). *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22.
- Elbert, A., Haas, M., Springer, B., Thielert, W., & Nauen, R. (2008). Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64(11), 1099-1105.

- Favela, M. L., & Sánchez, N. C. (2003). El arreglo topológico y su efecto en el crecimiento, desarrollo y producción del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(2), 81-81.
- Figuroa Argueta, V. A., & Cerna Chávez, E. (2018). Uso de insecticidas botánicos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli* Sulc) (Hemiptera: Psilidae).
- Gamarra, H., Andrade-Piedra, J. L., Perez, W., Panchi, N., Castillo, C., Espitia, E., Arango, E., & Kreuze, J. F. (2023). Informe del Taller internacional sobre Complejo Punta Morada, problemática e implicaciones para Latinoamérica.
- Gómez, S. D., Bustos, P. S., Sánchez, V. G., Ortega, M. G., & Guiñazú, N. (2020). Toxicidad por trofoblastos del insecticida neonicotinoide acetamiprida y una formulación basada en acetamiprida. *Toxicología*, 431, 152363.
- Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2).
- Gutiérrez-Ramírez, J. A., Betancourt-Galindo, R., Aguirre-Uribe, L. A., Cerna-Chávez, E., Sandoval-Rangel, A., Ángel, E. C.-d., Chacón-Hernández, J. C., García-López, J. I., y Hernández-Juárez, A. (2021). Efecto insecticida de las nanopartículas de óxido de zinc y dióxido de titanio contra *Bacteriacera cockerelli* sulc. (Hemiptera: Triozidae) sobre tomate *Solanum lycopersicum*. *Agronomía*, 11(8), 1460. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081460>.
- Hajji-Hedfi, L., Rhouma, A., Al-Judaibi, A. A., Hajlaoui, H., Hajlaoui, F., & Azeem, A. M. A. (2024). Valoración del extracto de semilla de *Capsicum annuum* como antifúngico frente a *Botrytis cinerea*. *Valoración de residuos y biomasa*, 15(4), 2559-2573.

- Hernández Rosas, I. D., Hernández Juárez, A., Zavala Zapata, V., Ramírez Barrón, S. N., & Aguirre Uribe, L. A. (2024). Efecto insecticida de nanopartículas metálicas para el control de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) bajo condiciones de laboratorio.
- Hernández, S. A. M., & Fernández, G. D. (2007). *Chile*. Duncker & Humblot.
- Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. D. R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2020). *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2972-2993.
- Hernández-Pérez, T., M. Gómez-García, M. E. Valverde, and O. Paredes-López. "Capsicum annuum (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review." *Comprehensive reviews in food science and food safety* 19 6 (2020): 2972-2993. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>.
- Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A., & Bukhari, A. (2020). Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. *Green chemistry letters and reviews*, 13(3), 223-245.
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) 2026.
- Islas, J. F., Acosta, E., Zuca, G., Delgado-Gallegos, J. L., Moreno-Treviño, M. G., Escalante, B., & Moreno-Cuevas, J. E. (2020). Una visión general del Neem (*Azadirachta indica*) y su posible impacto en la salud. *Journal of functional foods*, 74, 104171.
- Kemabonta, K. A., Adediran, O. I., & Ajelara, K. O. (2018). The Insecticidal Efficacy of the Extracts of *Piper nigrum* (Black Pepper) and *Curcuma longa*

(Turmeric) in the Control of *Anopheles gambiae* Giles (Dip., Culicidae). *Jordan Journal of Biological Sciences*, 11(2).

Kumar, M., Rawat, D. K., Yadav, V., Kumar, C., Kumar, A., & Yadav, A. K. Assessment of the efficacy of selected botanicals and insecticides against sucking pests, viz. *Bemisia tabaci* (Gennadius), *Empoasca kerri* (Pruthi) and *Caliothrips indicus* (Bagnall) in mungbean.

Lalín-Pousa, V., Conde-Cid, M., Díaz-Raviña, M., Arias-Estévez, M., & Fernández-Calviño, D. (2025). Retención de acetamiprida en suelos ácidos agrícolas: datos experimentales y predicción. *Investigación medioambiental*, 268, 120835.

Lampiri, E., Losic, D., & Athanassiou, C. G. (2025). Synergetic enhancement of insecticidal efficacy of graphene with spinosad against major stored grain insects. *Journal of Stored Products Research*, 112, 102623.

Lampiri, E., Yap, P. L., Berillis, P., Athanassiou, C. G., & Losic, D. (2024). Graphene powders as new contact nanopesticides: revealing key parameters on their insecticidal activity for stored product insects. *Chemosphere*, 364, 143200.

Lei, J., Meng, J., Chen, I.W., Cheng, W., Beam, A.L., Islam, M.-S., Bailey, W.D., Pillai, S. and Zhu-Salzman, K. (2020), Deleterious effects of electron beam irradiation on development and reproduction of tomato/potato psyllids, *Bactericera cockerelli*. *Insect Science*, 27: 1311-1321. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12733>.

León-Reyes, A., & Barriga-Medina, N. (2021). Memorias del II Congreso de Control Biológico Aplicado. *Archivos Académicos USFQ*, (36), 107-107.

Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L., & Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24.

- Liu, D., & Trumble, J. T. (2006). Ovipositional preferences, damage thresholds, and detection of the tomato–potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) on selected tomato accessions. *Bulletin of Entomological Research*, 96(2), 197-204.
- Loera Alvarado, E. (2013). Diversidad de trips en crisantemo *Dendranthema grandiflorum* (RAMAT) KITAM, en Texcoco, Estado de México.
- López, EG, Garza-Ocañas, F., Martínez, HQ, Rodríguez, GC, & Saucedo, JIU (2023). Interacciones entre macrohongos e insectos en el bosque de encino y pino en los municipios de Iturbide y Galeana, Nuevo León. En *Gestión sostenible de los recursos naturales: diversidad, ecología, taxonomía y sociología* (pp. 247-273). Cham: Springer International Publishing.
- Lourdes Ramírez-Ahuja, M., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., Torres-Ruiz, A., & Guzmán-Franco, A. W. (2017). Evaluating combined use of a parasitoid and a zoophytophagous bug for biological control of the potato psyllid, *Bactericera cockerelli*. *Biological control*, 106, 9-15.
- Luna-Cruz, A., Lomeli-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Arenas, L. D., & Huerta-de La Peña, A. (2011). Toxicidad de cuatro insecticidas sobre *Tamarixia triozae* (Burks)(Hymenoptera: Eulophidae) y su hospedero *Bactericera cockerelli* (Sulc)(Hemiptera: Triozidae). *Acta zoológica mexicana*, 27(3), 509-526.
- Maksimova, V. (2013). Content of capsaicin extracted from hot pepper (*Capsicum annuum* ssp. *microcarpum* L.) and its use as an ecopesticide. *Chemical Industry*.
- Mancilla Villa, O. R., Hernández Vargas, O., Manuel Corteéz, J. C., Chávez Chávez, J. A., Castillo Álvarez, E. A., Guevara Gutiérrez, R. D., Huerta Olague, J. de J., Can Chulim, Á., Ortega Escobar, H. M., & Sánchez

- Bernal, E. I. (2020). Rentabilidad en maíz (*Zea mays* L.) y Chile (*Capsicum annuum* L.) con manejo convencional y alternativo en Autlán, Jalisco. *Idesia* (Arica), 38(3), 33-42. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300033>.
- Manobanda, M., López, P., & Vásquez, C. (2022). Bioecología de *Bactericera cockerelli* (Sulc.) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en las provincias de Tungurahua y Cotopaxi, Ecuador. *Investigación Agraria*, 24 (2), 70-80.
- Manzanarez-Jiménez, L. A. (2024). Desarrollo y daños de *Anthonomus eugenii* Cano, 1894 (Coleóptera: Curculionidae) en *Capsicum annuum* L. var. *annuum* (Solanales: Solanaceae) en Sinaloa, México. *Revista chilena de entomología*, 50(3), 525-534.
- Medina-García, G., Mena-Covarrubias, J., Ruiz-Corral, J. A., Rodríguez-Moreno, V. M., & Soria-Ruiz, J. (2017). El cambio climático afecta el número de horas de los rangos térmicos del chile en el norte-centro de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(8), 1797-1812.
- Melgoza Villagómez, C. M., León Sicairos, C. D. R., López Valenzuela, J. Á., Hernández Espinal, L. A., Velarde Félix, S., & Garzón Tiznado, J. A. (2018). Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Bactericera cockerelli* Sulc asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(3), 499-509.
- Meza, K., Chirinos, D. T., & Velasquez, J. (2022). Insectos y ácaros asociados a pimiento ¿Cuánta diversidad puede ser observada en un cultivo? *Manglar*, 19(4), 357-363.
- Mgadi, K., Ndaba, B., Roopnarain, A., Rama, H., & Adeleke, R. (2024). Aplicaciones de nanopartículas en agricultura: visión general y respuesta de microorganismos asociados a plantas. *Fronteras en Microbiología*, 15, 1354440.

- Mijangos, M. S. C., & Ibarra, E. O. (2020). Los chiles que le dan sabor al mundo. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 9(17), 60-61.
- Mongkolporn, O., and Paul W. J. Taylor. "Chili anthracnose: *Colletotrichum* taxonomy and pathogenicity." *Plant Pathology* 67 (2018): 1255–1263. <https://doi.org/10.1111/ppa.12850>.
- Montero-Tavera, V., Guerrero-Aguilar, B. Z., Anaya-López, J. L., Martínez-Martínez, T. O., Guevara-Olvera, L., & González-Chavira, M. M. (2013). Diversidad genética de aislados de *Rhizoctonia solani* (Kuhn) de Chile en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(7), 1043-1054.
- Mordue, A. J., & Nisbet, A. J. (2000). *Azadirachtina* del árbol de neem *Azadirachta indica*: su acción contra los insectos. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 29(4), 615-632.
- Mordue, A., & Blackwell, A. (1993). Azadirachtin: an update. *Journal of Insect Physiology*, 39, 903-924. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(93\)90001-8](https://doi.org/10.1016/0022-1910(93)90001-8).
- Mushtaq, M. T., Manzoor, F., Ishtiaq, M., Qayyum, M. A., Ali, M., Akram, M., Shahid, M. R., & Riaz, S. (2024). Compatibility of Selected Insecticides Against Sucking Insect Pests of Cotton Under Field Conditions. *Sarhad Journal of Agriculture*, 40(1), 22-28.
- Naspud, J., Gamarra, H., Castillo, C., Panchi, N., & Kreuze, J. F. (2025). El psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*): Cría y bioensayos sobre tablas de vida, antixenosis y antibiosis con fines de investigación.
- Nawaz, A., Razzaq, F., Razzaq, A., Gogi, M. D., Fernández-Grandon, G. M., Tayib, M., Ayub, M., Sufyan, M., Shahid, M., Qayyum, M., Naveed, M., Ijaz, A., & Arif, M. J. (2022). Compatibility and synergistic interactions of fungi, *Metarhizium anisopliae*, and insecticide combinations against the

cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Scientific Reports*, 12(1), 4843.

Nitthikan, N., Chaichit, S., Supadej, K., Junlatat, J., & Kiattisin, K. (2026). Extractos de semillas de *Brassica nigra* L. como fuente prometedora de agentes antioxidantes y antiinflamatorios. *International Journal of Molecular Sciences*, 27 (10), 4603. <https://doi.org/10.3390/ijms27104603>

Olaniyan, O., Neus Rodríguez-Gasol, N. Cayla, Eleonor Michaud, and S. Wratten. "*Bactericera cockerelli* (Sulc), a potential threat to China's potato industry." *Journal of Integrative Agriculture* 19 (2020): 338-349. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62754-1](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62754-1).

Olaniyan, O., Rodríguez-Gasol, N., Cayla, N., Michaud, E., & Wratten, S. D. (2020). *Bactericera cockerelli* (Sulc), a potential threat to China's potato industry. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(2), 338-349.

Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR) (EFSA), Hernandez Jerez A, Adriaanse P, Berny P, Coja T, Duquesne S, Focks A, Marinovich M, Millet M, Pelkonen O, Pieper S, Tiktak A, Topping C, Widenfalk A, Wilks M, Wolterink G, Rundlöf M, Ippolito A, Linguadoca A, Martino L, Panzarea M, Terron A and Aldrich A, 2022. Statement on the active substance acetamiprid. *EFSA Journal* 2022;20(1):7031, 71 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7031>.

Parajuli, S., Shrestha, J., Subedi, S., & Pandey, M. (2022). Biopesticidas: Un enfoque sostenible para el control de plagas: Biopesticidas en la gestión sostenible de plagas. *SAARC Journal of Agriculture*, 20(1), 1-13.

Pavana Praneetha, T., Masih, S. A., Adesso, R., Maxton, A., & Sofo, A. (2025). Alivio mediado por isotiocianato de Brassicaceae de enfermedades transmitidas en el suelo. *Plants*, 14(8), 1200.

- Pérez, W., Castillo Carrillo, C., Navarrete, I., Gamarra, H., Arango, E., Naccha, J., & Andrade-Piedra, J. L. (2021). Cartilla descriptiva del psílido de la papa.
- Pérez-Acevedo, C. E., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Servia, J. L., Perales-Segovia, C., Enríquez del Valle, R., & Villegas-Aparicio, Y. (2017). Diagnóstico de síntomas y patógenos asociados con marchitez del chile en Valles Centrales de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 281-293.
- Pérez-Aguilar, D. A., Martínez, A. M., Viñuela, E., Figueroa, J. I., Gómez, B., Morales, S. I., Tapia, A., & Pineda, S. (2019). Impact of the zoophytophagous predator *Engytatus varians* (Hemiptera: Miridae) on *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) control. *Biological Control*, 132, 29-35.
- Perveen, K. (2024). Neem's promise: the way to a sustainable future and eco-friendly biopesticides. *Int J Sci Res Arch*, 11(02), 1073-82.
- Pickersgill, B. "Chile Peppers (*Capsicum* spp.)." (2016): 417-437. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_17.
- Prasad, I., Kumar, R., Tiwari, I., Tiwari, C.P., Chaturvedi, V.D., Singh, P. (2025). Producción de semillas híbridas de chile (*Capsicum annuum* L.) para mantener el rendimiento y la rentabilidad. En: Lamichaney, A., Parihar, A.K., Bohra, A., Karmakar, P., Naik, S.J.S. (eds) Producción de semillas híbridas para aumentar el rendimiento de los cultivos. Springer, Singapur. https://doi.org/10.1007/978-981-96-0506-4_15
- Pugh, A. R., O'Connell, D. M., & Wratten, S. D. (2015). Further evaluation of the southern ladybird (*Cleobora mellyi*) as a biological control agent of the invasive tomato–potato psyllid (*Bactericera cockerelli*). *Biological control*, 90, 157-163.

- Ramírez-Cando, L. J., Guzmán-Vallejos, M. S., Aguayo, L. G., Vera-Eraza, F. D., & Ballaz, S. J. (2023). Neurocitotoxicidad de insecticidas comerciales basados en imidacloprida y acetamiprida sobre la diferenciación de células de neuroblastoma SH-SY5Y. *Heliyon*, 9(5).
- Ramírez-Rodas, Yeimy C, Luis Yobani Gayosso-Rosales, and Ulises Santiago-López. "Current status of the diversity and conservation of genetic resources of *Capsicum* spp. (chilli pepper) in Oaxaca, Mexico." *Genetic Resources* (2026). <https://doi.org/10.46265/genresj.hles2857>.
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., & Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*, 28(5), 24-33.
- Robles-Hernández, L., Salas-Salazar, N. A., Hernández-Huerta, J., & González-Franco, A. C. (2019). Principales enfermedades que afectan el potencial productivo del chile (*Capsicum annuum* L.) en Chihuahua, México. *Chiles Regionales. variedades, producción e inocuidad. Primera edición. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México. pp, 21-29.*
- Rodríguez Morales, L. A., Guerrero Aguilar, B. Z., González Chavira, M. M., Pons Hernández, J. L., & Mejía Teniente, L. (2024). Diagnóstico rápido para la identificación de fitopatógenos que ocasiona la enfermedad de marchitez en chile (*Capsicum annuum*).
- Roque, A., Beltrán, M., Ochoa, Y., & Delgado, J. (2024). Parámetros poblacionales de *Bactericera cockerelli* en plantas de tomate tratadas con menadiona». *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, 15(4), 3349.
- Rubio-Covarrubias, O. A., Almeyda León, I. H., Ireta Moreno, J., Sánchez Salas, J. A., Fernández Sosa, R., Borbón Soto, J. T., Díaz Hernández, C., Garzón Tiznado, J. A., Rocha Rodríguez, R., & Cadena Hinojosa, 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. Recuperado en 11 de junio de 2026, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000200008&lng=es&tlng=es.

Rubio-Aragón, W.A., Edeza-Urías, J.A., Angulo-Castro, A., Payán-Arzapalo, M. A., Retes-Mnajarrez, J. E., Gómez-González, G., Cortez-Mondaca, E., y López-Orona, C. Comparación de los rasgos de la trampa pegajosa amarilla y la ubicación para el monitoreo de *adultos de Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) en pimientos al aire libre (*Capsicum* spp.). *J Plant Dis Prot* **131**, 773–780 (2024). <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00917-x>

Rubio-Covarrubias, O. Á., Almeyda-León, I. H., Cadena-Hinojosa, M. A., & Lobato-Sánchez, R. (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.

Ruiz-Flores, Z., Romero-López, A. A., Aragón-García, A., & López-Olguín, J. F. (2025). Effect of plant extracts in adults of *Macrodactylus nigripes* (Coleoptera: Melolonthidae) in an apple tree agroecosystem of Puebla, Mexico. *Acta zoológica mexicana*, 41.

Ruiz-Galván, Isabel, Bautista-Martínez, Néstor, Sánchez-Arroyo, Hussein, & Valenzuela Escoboza, Fernando Alberto. (2015). Control químico de *Diaphorina citri* (Kuwayama) (Hemiptera: Liviidae) en lima persa. *Acta zoológica mexicana*, 31(1), 41-47. Recuperado en 10 de junio de 2026, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372015000100006&lng=es&tlng=es.

Saini, L. S., Meghwal, H. P., Patidar, B. K., & Meena, M. S. (2025). Efficacy of Insecticidal Spray Schedules against Sucking Insect Pests on Chilli. *Indian Journal of Entomology*, 87(2), 454-457.

- Samuel, M., Oliver, S. V., Coetzee, M., & Brooke, B. D. (2016). Los efectos larvicidas de la pimienta negra (*Piper nigrum* L.) y la piperina contra cepas resistentes a insecticidas y susceptibles de mosquitos vectores de la malaria *Anopheles*. *Parásitos y vectores*, 9(1), 238.
- Santos, A. A. G., Orozco, J., & Valdespino, R. A. (2024). Trips (Insecta: Thysanoptera) asociados a cebolla, lechuga, chile dulce y malezas asociadas en El Zamorano, Honduras. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(1), 10.
- Sarkar, S. C., Hatt, S., Philips, A., Akter, M., Milroy, S. P., & Xu, W. (2023). Tomato potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in Australia: incursion, potential impact and opportunities for biological control. *Insects*, 14(3), 263.
- Senbill, H., Gangan, A., Saeed, A. M., Gad, M. E., Zeb, J., & Fahmy, A. (2025). Effects of copper/graphene oxide core-shell nanoparticles on *Rhipicephalus* ticks and their detoxification enzymes. *Scientific reports*, 15(1), 3334.
- Sepúlveda, M., Costa, J., Cayún, Y., Gallardo, V., Barría, E., Rigotto Caruso, G., Von Zeska Krees, C. P. & Santos, C. (2024). Composición química y actividad antifúngica de extractos acuosos de pimienta *Capsicum* contra patógenos vegetales y hongos que dañan los alimentos. *Fronteras en Microbiología Celular e Infeccionaria*, 14, 1451287.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2026). <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap>
- Seye, F., Fall, A., Dia, C. A. K., Toure, M., Ndione, R. D., & Ndiaye, M. (2022). Efecto de los derivados de neem (*Azadirachta indica*) sobre la cochinilla del mango (*Rastrococcus invadens*) para el control biológico.

- Sharma, S., Kundu, P., Tyagi, D., & Shanmugam, V. (2025). Aplicaciones de nanomateriales basados en grafeno para el sector agrícola y alimentario. *Avances en la Ciencia de los Coloides y las Interfaces*, 336, 103377.
- SRINIVASAN, R., & RAJAN, M. (2022). Evaluación comparativa de neonicotinoides seleccionados e insecticidas convencionales contra pulgones (*Aphis gossypii*) y moscas blancas (*Bemisia tabaci*). Sociedad India de Investigación de Oleaginosas, 61.
- Sulc K. 1909. *Triozia cockerelli* n.sp., a novelty from North America, being also of economic importance. *Acta Societatis Entomologicae Bohemiae* 6: 102-108.
- Suprpta, Dewa Ngurah. "Biocontrol of Anthracnose Disease on Chili Pepper Using a Formulation Containing *Paenibacillus polymyxa* C1." 5 (2022). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.782425>.
- Suwandharathne, N. I., Holwell, G. I., & Avila, G. A. (2023). Current and future potential geographical distribution of *Bactericera cockerelli*: an invasive pest of increasing global importance. *Austral Entomology*, 62(4), 488-502. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/aen.12664>
- T. Mustafa, D. R. Horton, K. D. Swisher, R. S. Zack, J. E. Munyaneza, Effects of Host Plant on Development and Body Size of Three Haplotypes of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) , *Environmental Entomology*, Volume 44, Issue 3, June 2015, Pages 593–600, <https://doi.org/10.1093/ee/nvv018>
- Tamayo-Mejía, F., Tamez-Guerra, P., Guzmán-Franco, A. W., Gomez-Flores, R., & Cruz-Cota, L. R. (2014). Efficacy of entomopathogenic fungi (Hypocreales) for *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) control in the laboratory and field. *Southwestern Entomologist*, 39(2), 271-283.

- Tang, X. T., Longnecker, M., & Tamborindoguy, C. (2020). Acquisition and transmission of two 'Candidatus Liberibacter solanacearum' haplotypes by the tomato psyllid *Bactericera cockerelli*. *Scientific Reports*, 10(1), 14000.
- Teulon, D. A. J., Workman, P. J., Thomas, K. L., & Nielsen, M. C. (2009). *Bactericera cockerelli* incursion dispersal and current distribution on vegetable crops in New Zealand. *New Zealand Plant Protection*, 62, 136-144.
- Tien, N.T.T., Thanh, L.T.H., Thi, N.T.K., Hoa, P. T. B., Tien, Q. D., Y Loc, N. H. Primer reporte de especies de Colletotrichum causantes de antracnosis de Chile (*Capsicum annuum* L.) en Hue, Vietnam. *Planta de Australasia Pathol.* (2025). <https://doi.org/10.1007/s13313-025-01060-3>
- Tucuch-Haas, C. J., Alcántar-González, G., Ordaz-Chaparro, V. M., Santizo-Rincón, J. A., & Larqué-Saavedra, A. (2012). Producción y calidad de Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones NH₄⁺/NO₃⁻ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 9-15.
- Tufail, T., Ain, H., Ijaz, A., Nasir, M., Ikram, A., Noreen, S., Arshad, M., & Abdullahi, M. (2025). Neem (*Azadirachta indica*): A Miracle Herb; Panacea for All Ailments. *Food Science & Nutrition*, 13. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70820>.
- Tulashie, S. K., Adjei, F., Abraham, J., & Addo, E. (2021). Potencial de extractos de neem como insecticida natural contra el gusano de otoño (*Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)). *Estudios de caso en ingeniería química y ambiental*, 4, 100130.
- Uribe Rivera, S. E., Cerna Chávez, E., Ochoa Fuentes, Y. M., Romero Pavon, L., Landeros Flores, J., & Rueda Puente, E. O. (2025). Evaluación de

extractos en combinación con nano y micromateriales para el control de *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae). *Biotecnia*, 27.

Vanichpakorn, P., Vanichpakorn, Y., & Klakong, M. (2019). Composición química y actividad insecticida del aceite esencial de la semilla de *Piper nigrum* frente a *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae).

Vargas Vargas, R., Cerna Chávez, E., Ochoa Fuentes, M. Y., & Rodríguez Rodríguez, J. F. (2018). Efectividad biológica de extractos vegetales para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli* sulc) (hemiptera: psilidae).

Vélez-Ruiz, Mayra Carolina, Meza-Vera, Richard Jordan, Abasolo-Pacheco, Fernando, & Álvarez-Romero, Pablo Israel. (2022). Uso de extractos botánicos para el control de pulgón (*Myzus persicae*: Aphididae) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*: Aleyrodidae) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum*: Solanaceae), en Ecuador. *Terra Latinoamericana*, 40, e1454. Epub 05 de mayo de 2023. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1454>

Vereijssen, J. (2020). Ecology and management of *Bactericera cockerelli* and *Candidatus Liberibacter solanacearum* in New Zealand. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(2), 333-337.

Veronesi, ER, Thompson, CJ y Goldson, SL (2025). Control biológico por insectos del psílido del tomate y la papa *Bactericera cockerelli*: una revisión. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 53 (4), 795-811.

Vuelta Lorenzo, D. R., (2014). LA BIOFUMIGACIÓN Y LA SOLARIZACIÓN COMO ALTERNATIVAS AL MANEJO DE PLAGAS DEL SUELO. *Ciencia en su PC*, (1), 15-26.

Wallace, D. R. (2014). Acetamiprida. En *Enciclopedia de Toxicología: Tercera Edición* (pp. 30-32). Elsevier.

- Wallis, R. (1955). *Ecological Studies on the Potato Psyllid as a Pest of Potatoes*.
- Wan, J., Wang, R., Ren, Y., & McKirdy, S. (2020). Potential distribution and the risks of *Bactericera cockerelli* and its associated plant pathogen *Candidatus Liberibacter Solanacearum* for global potato production. *Insects*, 11(5), 298.
- Wenninger, E. J., & Rashed, A. (2024). Biología, ecología y manejo del psílido de la patata, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), y de la enfermedad de las astillas de cebrá en la patata. *Revisión Anual de Entomología*, 69(1), 139-157.
- Wenninger, E., and A. Rashed. "Biology, Ecology, and Management of the Potato Psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), and Zebra Chip Disease in Potato.." *Annual review of entomology* (2023). <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020123-014734>.
- Yamada, T., Takahashi, H., & Hatano, R. (1999). A novel insecticide, acetamiprid. In *Nicotinoid insecticides and the nicotinic acetylcholine receptor* (pp. 149-176). Tokyo: Springer Japan.
- Yuca, H. (2022). *Capsicum annum* L. In *Novel drug targets with traditional herbal medicines: Scientific and clinical evidence* (pp. 95-108). Cham: Springer International Publishing.
- Zuščíková, L., Bažány, D., Greifová, H., Knížatová, N., Kováčik, A., Lukáč, N., & Jambor, T. (2023). Screening of toxic effects of neonicotinoid insecticides with a focus on acetamiprid: A review. *Toxics*, 11(7), 598.