

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



Aplicación de Nanopartículas de Grafito en Combinación con Ingredientes Activos Químicos y Orgánicos para el Control de *Bactericera cockerelli* Sulc, en Cultivo de Tomate *Solanum lycopersicum* L.

Por:

JUAN PEDRO SAAVEDRA ANASTACIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Abril 2026

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

Aplicación de Nanopartículas de Grafito en Combinación con Ingredientes Activos Químicos y Orgánicos para el Control de *Bactericera cockerelli* Sulc, en Cultivo de Tomate *Solanum lycopersicum* L.

Por:

JUAN PEDRO SAAVEDRA ANASTACIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité Asesor:



DR. ERNESTO CERNA CHAVEZ
Asesor Principal



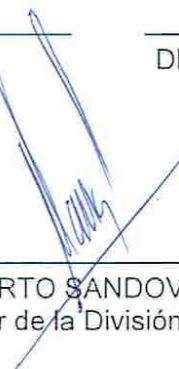
DR. ALBERTO ROQUE ENRIQUEZ
Asesor Principal Externo



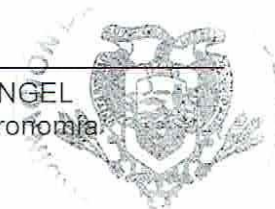
DRA. YISA MARIA OCHOA FUENTES
Coasesor



DRA. JAZMIN JANET VELAZQUEZ GUERRERO
Coasesor



DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Abril 2026

Derechos de Autor y 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



Juan Pedro Saavedra Anastacio

Asesor principal



Dr. Ernesto Cerna Chávez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que fue mi segunda casa en la cual viví muchas experiencias, así como recuerdos que llevo presente en mi corazón, el aprendizaje en mi camino para cumplir mi meta como ingeniero agrónomo parasitólogo, pero en especial le agradezco al departamento de parasitología y los docentes que me brindaron sus conocimientos, amistad y que me apoyaron en mi formación académica.

Al Dr. **Ernesto Cerna Chaves** por darme la confianza de poder realizar mi trabajo de tesis, al **Dr. Alberto Roque Enríquez** que estuvo en todo momento brindándome apoyo y conocimiento para la realización de mi trabajo de tesis, así como **a la Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar, Dra. Jazmín Janet Velázquez Guerrero y a la Dra. Mirian Sánchez Vega, quien fue mi tutora y me brindó** consejos.

A mi familia le agradezco por el apoyo brindado en mi formación como persona, a su comprensión y confianza, en especial sabiendo que mis logros también son de ustedes.

A mis compañeros y amigos del departamento de parasitología **Cristian Osorio, Cristian Alexander, Armando Dorantes, Ángel Pérez** y amigo del departamento de producción **Eder Alexander** que me acompañaron durante el trayecto de la carrera universitaria que son y serán mis amigos buitres.

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de tesis a mis padres **Pedro Saavedra Vega** y **Petra Anastacio Carteras**, quienes me criaron y educaron apoyándome en cada momento de mi vida.

Mis hermanos: **Carlos Daniel** y **Ricardo** a mis abuelos (**Bárbara Eva Carteras Anastacio**, **Moisés Pedro Anastacio Jardón** y **Adelina Reina Vega Quiroz**).

A mi familia, por su amor, apoyo incondicional y por ser la fuerza que me motivó a seguir adelante y hacer posible este logro

Esto para ustedes que son la parte más importante de mi vida gracias por ser mi familia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Cultivo de tomate	4
2.1.1. Cultivares y variedades	4
2.1.2. Producción mundial	5
2.1.3. Producción nacional	5
2.2. Principales enfermedades del tomate	7
2.3. Principales plagas del tomate	8
2.4. <i>Bactericera cockerelli</i>	9
2.4.1. Daño directo	10
2.4.2. Daño indirecto	10
2.4.3. Clasificación taxonómica	12
2.4.4. Ciclo de vida	12
2.4.5. Huevo	13
2.4.6. Ninfas	13
2.4.7. Adulto macho	15
2.4.8. Adulto hembra	15
2.5. Control	16
2.5.1. Detección y monitoreo	16
2.5.2. Control cultural	16
2.5.3. Control biológico.....	17

2.5.1. Control biorracional	17
2.5.1. Control químico	18
2.6. Producto químico.....	19
2.6.1. Spirotetramat	19
2.7. Productos biorracionales.....	20
2.7.1. Haarp.....	20
2.7.2. Etos	22
2.8. Nanotermología en la Agricultura.....	23
2.9. Nanopartículas	24
2.10. Modo de Acción de las Nanopartículas sobre Insectos	25
2.11. Nanopartículas de grafito.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Ubicación del experimento	27
3.2. Colonia <i>B. cockerelli</i>	27
3.3. Material vegetal	27
3.4. Producto (químico y biorracional) con nanopartícula de grafito.....	28
3.5. Experimento	28
3.6. Evaluación de mortalidad.....	29
3.7. Análisis estadístico.....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
V. CONCLUSIONES	39
VI. LITERATURA CITADA.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro.- 1 Principales 10 entidades productoras de tomate en México. Elaborado con datos de (SIAP, 2025) y (SIACON, 2025)	6
Cuadro. - 2 Mortalidad de las etapas inmaduras de <i>B. cockerelli</i> expuestas a nanopartículas de grafito a las 24 horas.	31
Cuadro. - 3 Mortalidad después de 24 h de ninfas <i>B. cockerelli</i> expuestas a nanopartículas de grafito e insecticida Spirotetramat.....	33
Cuadro. - 4 Mortalidad después de 24 h de ninfas <i>B. cockerelli</i> expuestas a nanopartículas de grafito e insecticida Etos.	34
Cuadro. - 5 Mortalidad después de 24 h de ninfas <i>B. cockerelli</i> expuestas a nanopartículas de grafito e insecticida Haarp.	35
Cuadro. - 6 Dosis letal (CL ₅₀ ; 24 horas) en ninfas de <i>B. cockerelli</i> de Spirotetramat a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito.	36
Cuadro. - 7 Dosis letal (CL ₅₀ ; 24 horas) en ninfas de <i>B. cockerelli</i> de Etos a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito.	37
Cuadro. - 8 Dosis letal (CL ₅₀ ; 24 h) en ninfas de <i>B. cockerelli</i> de Haarp a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito.....	38

RESUMEN

B. cockerelli es una plaga de importancia económica en México, debido a los daños directos e indirectos que ocasiona en los cultivos de la familia *Solanaceae*. Se encuentra ampliamente distribuido en las regiones productoras del país, zona norte, centro y sur. Su control y manejo se realizan regularmente mediante insecticidas convencionales. En la actualidad, existe un creciente interés por desarrollar alternativas de manejo más sostenibles utilizando productos biorracionales combinados con nanomateriales de tamaño microscópico, ya que estudios previamente realizados indican que pueden potenciar la eficacia de los productos químicos. Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar la mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* en condiciones de invernadero con un ingrediente activo químico y dos biorracionales, solos y en combinación con nanopartículas de grafito, para el control, así como determinar la CL₅₀ de cada tratamiento. De acuerdo a los resultados obtenidos el producto químico Spirotetramat mostro una mortalidad del 100 % en el tratamiento de 4000 ppm con las combinaciones del 3, 5 y 10 % respectivamente, a diferencia del producto solo donde se reporta una mortalidad del 69.23 %, en los productos biorracionales el producto Etos alcanzó una mortalidad del 90.15 % en el tratamiento de 25000 ppm combinado con 10 % de nanopartículas de grafito, mientras que Etos solo reporta una mortalidad del 76.33 %, para el producto Haarp en el tratamiento de 11000 ppm adicionado con el 10 % de grafito presento una mortalidad del 99.32 % seguido de los tratamiento 7000 y 9000 ppm los cuales también supera el 90 % de la mortalidad en ninfas de *B. cockerelli*, mientras que Haarp solo reporta una mortalidad del 80.58 %. Para la concentración letal media los productos Spirotetramat, Etos y Haarp presentaron una CL₅₀ de 11.10, 3505 y 1901 ppm respectivamente, presentando una relación de sinergia de 16.96, 3.85 y 2.62 ppm veces más respectivamente, representando una alternativa de control prometedora, ya que permiten reducir las dosis de aplicación sin comprometer la eficacia letal.

Palabras clave: *B. cockerelli*, grafito, químico, biorracional, potencializador.

ABSTRACT

B. cockerelli is a pest of economic importance in Mexico due to the direct and indirect damage it causes to crops of the Solanaceae family. It is widely distributed in the producing regions of the country, including the northern, central, and southern zones. Its control and management are regularly carried out using conventional insecticides. Currently, there is growing interest in developing more sustainable management alternatives using biorational products combined with microscopic-sized nanomaterials, since previous studies indicate that they can enhance the efficacy of chemical products. This research was conducted with the objective of evaluating the mortality of *B. cockerelli* nymphs under greenhouse conditions using one chemical active ingredient and two biorational products, alone and in combination with graphite nanoparticles, for control, as well as determining the LC₅₀ of each treatment. According to the results obtained, the chemical product Spirotetramat showed a mortality of 100 % in the 4000 ppm treatment with combinations of 3, 5, and 10 %, respectively, in contrast to the product alone where a mortality of 69.23 % was reported. For the biorational products, Etos reached a mortality of 90.15 % in the 25000 ppm treatment combined with 10 % graphite nanoparticles, while Etos alone reported a mortality of 76.33 %. For the product Haarp, the 11000 ppm treatment supplemented with 10 % graphite showed a mortality of 99.32 %, followed by the 7000 and 9000 ppm treatments, which also exceeded 90 % mortality in *B. cockerelli* nymphs, while Haarp alone reported a mortality of 80.58 %. For the median lethal concentration, the products Spirotetramat, Etos, and Haarp presented an LC₅₀ of 11.10, 3505, and 1901 ppm, respectively, showing a synergy ratio of 16.96, 3.85, and 2.62 times higher, respectively, representing a promising control alternative, as they allow reducing application doses without compromising lethal efficacy.

Keywords: *B. cockerelli*, graphite, chemical, biorational, potentiator

I. INTRODUCCIÓN

México es un país con una gran diversidad de microclimas, ocasionados por diferentes condiciones, como el relieve y la precipitación, que son ideales para la producción de varios cultivos, entre ellos las hortalizas, como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Purba *et al.*, 2024).

No obstante, este cultivo se encuentra expuesto al ataque de una gran variedad de organismos, tales como hongos, bacterias, virus e insectos, tanto en condiciones de campo abierto como en invernadero; estas afectaciones pueden ocasionar pérdidas económicas del 90 % del rendimiento (Munyaneza *et al.*, 2016). Entre las principales plagas, las que tienen un efecto devastador, está la paratíroza (*Bactericera cockerelli*), un insecto del orden Hemiptera perteneciente a la familia Triozidae (Burckhardt y Lauterer, 1997).

Debido a su amplia distribución en los distintos estados productores de tomate, esta especie se encuentra presente en prácticamente todas las regiones, los daños ocasionados por el insecto se manifiestan tanto de forma directa como indirecta, se caracteriza por tener un crecimiento retardado, aborto floral, achaparramiento, malformación en hojas, amarillamiento en la planta y finalmente ocasiona la muerte (Semaan, 2015). Como consecuencia, también se observan daños indirectos asociados a la transmisión de patógenos, como *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Delgado-Ortiz *et al.*, 2019); Agente causal de enfermedades como la punta morada de la papa y “zebra chip” (Munyaneza *et al.*, 2012; Garzón-Tiznado *et al.*, 2019).

El manejo efectivo para poder disminuir la incidencia de población de psílidos es fundamental para el control de las enfermedades ocasionadas del daño indirecto, tales como el cultural, biológico, biorracional y el comúnmente utilizado el químico (SENASA. 2024).

Un nuevo enfoque para el control de plagas en la agricultura es la utilización de nanopartículas, se obtienen mediante la nanotecnología, está basada en la manipulación atómica a escala manométrica, cualquier materia con un tamaño de 1 a 100 nm puede considerarse una nanopartícula (NP). La nanotecnología se ha convertido en una solución prometedora para muchos problemas que enfrenta la sociedad humana (Abdel-Aziz *et al.*, 2019). Ya sea en el sector agrícola el uso excesivo y la dependencia de productos agrícolas representan una problemática importante debido a que los productos no son absorbidos de manera eficiente por las plantas, lo que provoca su pérdida a través de procesos como la lixiviación, como consecuencia, no se logra un aprovechamiento óptimo de los insumos aplicados, lo que disminuye su eficacia y puede generar impactos negativos en el ambiente (Saritha *et al.*, 2022).

Esta nanotecnología para el control de insectos ha mostrado buenos beneficios, debido a sus diversos mecanismos de acción que actúan alterando enzimas clave, provocando estrés oxidativo; Ejemplo de esto son las nanopartículas de grafito o óxido de grafeno que afecta procesos fisiológicos esenciales como estrés oxidativo, la acumulación de grafeno alrededor de espiráculos y mecanorreceptores, sugiriendo obstrucción de los orificios respiratorios y de los tubos traqueales (Xin *et al.*, 2024; Lampiri *et al.*, 2025).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar productos químicos y biorracionales potenciados con nanopartículas de grafito en el control de ninfas de *B. cockerelli* bajo condiciones de invernadero.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar los efectos de un ingrediente activo químico y dos biorracionales solos y combinados con nanopartículas de grafito, en el control de ninfas de *B. cockerelli*.
- Determinar la CL₅₀ de los ingredientes activos en el control de las ninfas de *B. cockerelli*.

1.2. Hipótesis

Por lo menos uno de los productos químicos o biorracionales combinados con nanopartículas será efectivo para el control del insecto *B. cockerelli*

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de tomate

El cultivo de tomate tiene origen en los Andes sudamericanos; su domesticación y desarrollo ocurrieron en México; según estudios genéticos, el pariente más cercano del tomate es *Solanum pimpinellifolium*, perteneciente a la familia de las solanáceas (Gerszberg *et al.*, 2014).

Es una baya colorada de tonos amarillento al rojo debido a la presencia de los pigmentos licopeno y caroteno, se consume de múltiples maneras (ensaladas, salsa, puré, polvo o condimentos), el consumo per cápita a nivel nacional en el año 2025 es de 14.1 kg (SIAP, 2025). Siendo una fuente de vitaminas C, potasio y carotenoides, el licopeno es responsable del color rojo, es un potente antioxidante (folatos) asociado a la reducción de enfermedades cardiovasculares (Perveen *et al.*, 2013).

2.1.1. Cultivares y variedades

El tomate se clasifica como *Solanum lycopersicum* L. existen diferentes variedades, dependiendo su tamaño, forma, color y uso, puede cultivarse tanto en regiones de gran altitud, así como en zonas bajas, sin embargo, el rendimiento en regiones bajas suele ser menor en comparaciones de áreas altas, alcanzando 26.60 t/ha, en zonas bajas la disminución puede deberse a factores de aumento de presencia de plagas, enfermedades y estrés por altas temperaturas (Purba *et al.*, 2024).

El cultivar Rio Grande, resulta ser resistente a la sequía, mantiene un alto contenido relativo de agua y aumento significativo en actividades de enzima antioxidantes (CAT y SOD), la enzima catalasa puede reducir la toxicidad del peróxido, superóxido dimutasa actúa como defensa antioxidante (Yıldız *et al.*, 2025).

2.1.2. Producción mundial

En la actualidad el tomate, es uno de los cultivos con mayor valor comercial según las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en 2024 la producción de esta hortaliza supera los 262 millones de toneladas en todo el mundo (FAOSTAT, 2024).

Dentro de los 10 principales países de producción de tomate se encuentra China continental que es el líder mundial en producción debido a su gran superficie cultivada y condiciones climáticas favorables, es el mayor productor con un volumen de 61,614, 749 t que representan el 26.7 % del total global, seguido de India 21,323,223 t, Turquía 14,617,000 t, Estados Unidos 10,683,555 t, Egipto 7,521, 071 t, Italia 6,022,790 t, España 4,574, 280 t, México 4,418,130 t, Brasil 4,407,502 t y por último Nigeria con 3,726,166 t (FAOSTAT, 2024).

2.1.3. Producción nacional

México tiene características particulares que han generado condiciones favorables para la producción de esta hortaliza tales como el clima, recursos naturales, disponibilidad de mano de obra, cercanía geográfica con el mercado estadounidense, el uso de innovaciones tecnológicas (Bracamontes *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2017). Bajo costo de producción, accesibilidad, facilidad para ser conservado y procesado en diferentes productos alimentarios, el tomate se ha convertido en un ingrediente altamente valorado en la gastronomía (Miranda *et al.*, 2024).

México se posiciona en uno de los principales productores de tomate a nivel mundial ocupando así el 7º lugar con un rendimiento de 1.7 % de la producción global (SIAP, 2025). Durante 2023 se registró una producción cercana a 3 millones 637 mil t, lo que representó un incremento del 5.1 % respecto al año anterior, siendo una de las cifras más altas de la última década (Stupková *et al.*, 2018). Para 2024, la

producción alcanzó aproximadamente 3 millones 723 mil 803 toneladas, reflejando una tendencia de crecimiento sostenido, la cual ha estado asociada con el incremento de la superficie cultivada en los últimos años (SIAP, 2025). En el cuadro 1 se visualizan las cosechas de grandes volúmenes, con condiciones de sequía de los principales estados productores de tomate, en donde Sinaloa se mantiene como el principal productor siendo 12 % más que en el 2023 (SIAP, 2025).

Cuadro. - 1 Principales 10 entidades productoras de tomate en México. Elaborado con datos de (SIAP, 2025) y (SIACON, 2025)

Rank	Entidad federativa	Región	Volumen (toneladas)	Variación (%) 2024-2023
1	Sinaloa	Noroeste	800,116	12.4
2	San Luis Potosí	Centro-Occidente	458,291	5.1
3	Michoacán	Centro-Occidente	339,425	-4.9
4	Morelos	Centro	210,436	4.3
5	Jalisco	Centro-Occidente	194,683	-8.0
6	Baja California Sur	Noroeste	183,662	6.9
7	Puebla	Centro	181,594	20.9
8	Zacatecas	Noreste	154,891	4.4
9	Sonora	Noroeste	151,548	-1.0
10	México	Centro	145,683	1.1
	Resto		903,475	-5.0
	Total, nacional		3,723,803	2.4

2.2. Principales enfermedades del tomate

El tomate es uno de los cultivos hortícolas más importantes de México y está expuesto a una gran diversidad de bacterias, hongos y virus, tanto en campo abierto como en invernadero; estas enfermedades pueden causar desde pérdidas moderadas hasta daños cercanos al 100 % si no se manejan de forma integrada (Márquez *et al.*, 2011).

Se sabe que el cultivo de tomate es vulnerable a diversos ataques los cuales generan grandes pérdidas atacados por bacterias y hongos como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) este hongo se presenta en los meses de mayo y junio en épocas de lluvia bajo condiciones de húmeda relativa de (90 a 100 %); Los principales síntomas se manifiestan en el foliolo, tallo y el fruto; en el caso del foliolo se representa un halo amarillento, en frutos inmaduros se observan manchas pardas irregulares y en el tallo manchas necróticas (Rodríguez *et al.*, 2011).

La presencia de *Fusarium oxysporum* los síntomas en las plantas afectadas se ven visualmente de una tonalidad amarillenta de las hojas inferiores, así como la pudrición de raíz, si la planta lograra sobrevivir, los frutos serían de mala calidad y pequeños (Ramírez *et al.*, 2010).

Rodríguez *et al.* (2011) señala que otra enfermedad muy común que hasta incluso pueden presentarse dos tipos de patógenos de manera simultánea es la cenicilla espolvorosa (*Oidiopsis taurica* y *Oidium neolycopersici*). La primera provoca síntomas que ocasiona clorosis en el follaje y la aparición de manchas o puntos necróticos en la segunda tipo de cenicilla los síntomas presentan puntos pequeños de micelio blanco en la parte del haz de las hojas jóvenes y maduras.

Bacterias como *Pseudomonas syringae* es Gram negativas que incluyen diversos patovares con la capacidad de infectar un grupo característico de plantas hospedantes (Cardoso *et al.*, 2020). Se incluye alrededor de 60 patovares con una

gran variedad de hospedantes; es conocida por causar la enfermedad de las pecas o tizón bacteriano (Xin *et al.*, 2013).

2.3. Principales plagas del tomate

Las plagas en sistemas de invernadero representan uno de los principales factores que limitan la productividad, las condiciones controladas de temperatura y humedad favorecen no solo el desarrollo de las plantas, sino también la proliferación de insectos plaga como mosca blanca, trips y ácaros (Lange *et al.*, 1981). Causando daños directos al alimentarse de los tejidos vegetales, así como daños indirectos al transmitir enfermedades (Cuzco *et al.*, 2025). Su rápida reproducción hace que se dificulte su control (Lange *et al.*, 1981).

Mosca blanca (*Bemisia tabaci*): el daño por este insecto inicia al alimentarse de la planta chupando la savia del floema de las hojas, lo que provoca un retraso en el crecimiento, el desarrollo de las plantas se reduce, así como el vigor y la calidad del fruto disminuyen (Bustillo *et al.*, 1983; Cardona *et al.*, 2005).

Trips (*Frankliniella occidentalis*): los adultos y larvas de trips se alimentan principalmente de la base de hojas jóvenes y flores del tomate, dejando un aspecto plateado que luego se torna en color marrón en las partes afectadas el daño ocasionado provoca la deformación y el enrollamiento ascendente de las hojas, lo que afecta el desarrollo normal de la planta, las infestaciones severas generan un retraso en la maduración, impactando negativamente el crecimiento y la productividad del cultivo (Marín *et al.*, 2016; Utrera *et al.*, 2024).

Afidos o Pulgones (*Aphis gossypii*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Myzus persicae*): los pulgones son insectos chupadores que viven en colonias muy numerosas plagas clave del tomate en campo y bajo invernadero, causando daños directos por la succión de savia y transmisión de virus, se encuentra principalmente sobre los brotes tiernos y el cogollo (Perring *et al.*, 2017; Samia *et al.*, 2023).

Araña roja (*Tetranychus urticae*): en campo abierto y en invernadero los ataques de la arañita roja se ven reflejados en la reducción de la fotosíntesis, afectando la apertura de las estomas, la transpiración y el contenido de clorofila, además, una peculiaridad que posee este insecto es que puede reproducirse por medio de partenogénesis (Alejandro *et al.*, 2015).

Gusano minador (*Liriomyza trifolii*): comprende desde huevo, larva, pupa y adulto, es polífago ocasionando daño en cultivos de hortaliza como (calabacín, melón, frijol, pepino, papa, chile, sandía y tomate). Siendo que las larvas se desarrollan en el interior de las hojas, causando galerías (Marín *et al.*, 2016).

2.4. *Bactericera cockerelli*

B. cockerelli es un insecto nativo de América del Norte que se ha convertido en una plaga importante en la agricultura, especialmente en Estados Unidos, México y las regiones de Centroamérica, fue reconocido desde principios del siglo XX como un insecto invasor y dañino, particularmente en el suroeste de Estados Unidos y México, donde causó daños significativos a cultivos de papa (Science *et al.*, 2023).

La presencia de *B. cockerelli* fue documentada por primera vez en 1941 (Caldwell, 1941). Posteriormente, en México en el año de 1947 se le relacionó como trasmisor de una bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, la cual es asociada a la enfermedad conocida como punta morada de la papa (PMP) en Silao, Guanajuato (Villegas *et al.*, 2017). Pero no fue hasta la década de 1960 cuando este insecto comenzó a ser reconocido como una plaga de importancia económica en cultivos de tomate y chile (Garzón *et al.*, 1992). Esta especie se encuentra ampliamente distribuida en diversas regiones productoras claves del noroeste, norte-centro y centro del país de México (Vega *et al.*, 2008).

Es un insecto del orden: hemíptera, familia: tiroidea, tiene hábitos migratorios, alcanzando vuelos de hasta 1.5 kilómetro de altura (Álvarez *et al.*, 2013). Es una plaga de importancia económica debido a los daños directos e indirectos que ocasiona, afecta a cultivos como (papa, tomate, berenjena, pimiento y chile) (Beltrán *et al.*, 2017; Wenninger *et al.*, 2023).

2.4.1. Daño directo

El insecto posee un aparato bucal picador-chupador que está armado con un estilete formado por dos ductos, uno de entrada y salida inyectando toxinas, que son dirigidas a las células encargadas de la producción de la clorofila como consecuencia ocasiona que la planta se vea amarillenta y raquítica; los síntomas son visibles de 4-6 días con un amarillamiento en la planta, crecimiento retardado, aborto floral, achaparramiento, la distancia entre nudos se acorta, malformaciones en las hojas y la producción de frutos es pequeña de mala calidad (Semaan, 2015).

El daño comienza desde las primeras etapas ninfales debido a la activación por estímulos de alimentación, en donde la ninfa se alimenta del floema y como consecuencia de su alimentación excretan compuestos cerosos blanquecinos con apariencia de sal de ahí el nombre común de salerillo que se depositan sobre la superficie de la hoja (Gómez *et al.*, 2024). Lo que favorece la infestación fúngica y causa un daño en la planta (Vereijssen *et al.*, 2018). En California y Baja California se reportaron pérdidas del 50 % en plantas maduras debido al amarillamiento causado por psílidos (Liu y Trumble, 2006).

2.4.2. Daño indirecto

Como consecuencia de los daños indirectos, se ha relacionado el insecto *B. cockerelli* con las siguientes enfermedades:

Se ha mencionado que el psílido ataca a una amplia gama de especies pertenecientes a la familia *Solanaceae*; debido principalmente a su capacidad como vector de diversos fitopatógenos que ha ocasionado pérdidas significativas en la producción de tomate (Roque-Enriquez *et al.*, 2021). Como lo es en el caso del Bajío en el estado de Guanajuato, en donde la enfermedad conocida como “permanente del tomate” (PT) causó daños en la producción de hasta un 45 % (Munyanza *et al.*, 2016). Estas afectaciones se asocian comúnmente con la presencia de fitoplasmas o bacterias como *Candidatus Liberibacter solanacearum*, una bacteria Gran negativa (Delgado-Ortiz *et al.*, 2019). Siendo la asociación entre el insecto y el patógeno en plantas de tomate (Garzón-Tiznado *et al.*, 2019). Este psílido es responsable de que los rendimientos disminuyan hasta un 60 a 100 % (Rivera-Martínez *et al.*, 2018; Roque-Enriquez *et al.*, 2021).

Los síntomas asociados a la enfermedad PT inician con un enrollamiento y amarillamiento de las hojas inferiores, achaparramiento de la planta y deformaciones del fruto, márgenes con una coloración púrpura, aborto floral, hojas frágiles y enrolladas hacia adentro (Liefing *et al.*, 2009; Mendoza-Herrera *et al.*, 2018).

La “punta morada de la papa” es otra enfermedad causada por la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* transmitida por el psílido de la papa *B. cockerelli* (Covarrubias *et al.*, 2013; Garzón-Tiznado *et al.*, 2019). En la región de Michoacán, en cultivos de papa las plantas infestadas producen poco tubérculo y las pérdidas son de alrededor del 20 a 50 % (Álvarez *et al.*, 2013). Los síntomas característicos es el achaparramiento, deformación de tubérculos, coloración morada de hojas superiores (Bujanos *et al.*, 2015).

La enfermedad conocida como “zebra chip” (ZC) fue reportada por primera vez en campos de papa cercanos a Saltillo, México, en 1994 (Wenninger *et al.*, 2023). En el norte los estados como Coahuila y Nuevo León (ZC) causando pérdidas económicas del 90 % (Munyanza *et al.*, 2016). Ya que se ven afectados los

tubérculos reflejando una reducción del crecimiento y rendimiento, al ser procesados los tubérculos infectados con “ZC” se exhiben líneas oscuras que se vuelven marcadamente más visibles con el freído, y por lo tanto son inaceptables comercialmente (Munyanza *et al.*, 2012).

2.4.3. Clasificación taxonómica

Desacuerdo con Borrór *et al.* (1989) la taxonomía es la siguiente.

Dominio: Eukaryota

Reino: Metazoa

Filum: Arthropoda

Subfilum: Uniramia

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Suborden: Sternorrhyncha

Superfamilia: Psylloidea

Familia: Triozidae

Género: *Bactericera*

Especie: *Bactericera cockerelli*

2.4.4. Ciclo de vida

B. cockerelli se ha convertido en una plaga agrícola muy importante en México, pasa todo su ciclo de vida en la parte aérea de la planta que dura de 24 a 35 días bajo condiciones favorables (Carmen *et al.*, 2021). El ciclo de vida generalmente comprende una etapa de huevo, cinco etapas ninfales y una etapa adulta de reproducción sexual (Vereijssen *et al.*, 2018). La duración del ciclo de vida está influenciada por diversos factores, principalmente la temperatura, la humedad y la variedad del cultivo, los cuales determinan la velocidad de desarrollo del insecto. Estudios realizados en condiciones controladas han demostrado que a

temperaturas de entre 25 y 28 °C el ciclo se acorta considerablemente, mientras que al superar los 30 °C se observa un ligero incremento en su duración (Cabrera *et al.*, 2022).

Claro ejemplo es en las variedades 'Charanda F1' y 'Rafaello' donde se ha reportado un periodo de incubación de huevos de 7 a 13 días y una fase ninfal de 31 a 37 días en conjunto el ciclo completo puede extenderse de 63 a 70 días en condiciones de invernadero con temperaturas más bajas, lo que evidencia que ambientes frescos tienden a prolongar el desarrollo del insecto (Vargas-Madríz *et al.*, 2011; Madriz *et al.*, 2020).

2.4.5. Huevo

Informes mencionan que una vez que la hembra alcanza la madurez esta oviposita desde aproximadamente 200 hasta más de 1000 huevos (Wenninger *et al.*, 2023). Otros estudios en donde se utilizó una variedad de híbrido de tomate (Charanda F1) y manteniendo las condiciones del invernadero favorables y utilizando una línea de *B. cockerelli* libre de aplicaciones agroquímicas la fecundidad acumulada fue de 3426 a 3200 huevecillos (Vargas-Madríz *et al.*, 2011).

Los huevos son oblongos puestos individualmente con un filamento que se le conoce como pedicelo basal, que se inserta en el tejido vegetal, con el cual le ayuda a adherirse a la superficie de la hoja, los huevos son de una forma ovoide con una tonalidad entre anaranjado y amarillento estos huevos eclosionan después de 4 a 6 días aproximadamente con una temperatura óptima de 27°C (Bujanos *et al.*, 2015; Vereijssen *et al.*, 2018).

2.4.6. Ninfa

Los psílidos son insectos aplanados dorsalmente y móviles en todos los estadios, pasan por cinco estadios y se pueden distinguir por medio del tamaño y la diferencia

de las estructuras morfológicas (Vereijssen *et al.*, 2018). Cada uno de los cinco estadios ninfales se desarrolla en un periodo aproximado de entre 2 y 6 días, dependiendo de las condiciones ambientales (Wenninger *et al.*, 2023).

Primer instar

En el primer estadio son de una tonalidad blanquecino anaranjado, con antenas basales cortas, durante este instar no presenta paquetes alares mientras que las patas presentan una segmentación poco visible (Carrillo *et al.*, 2021).

Segundo instar

En el segundo instar la división entre la cabeza, tórax y abdomen es visible, la cabeza tiene una tonalidad amarillenta, los ojos son naranja oscuro y el tórax vender amarillento en esta etapa los paquetes alares son visibles (Mogro *et al.*, 2022).

Tercer instar

Tercer instar hay características que la diferencian del estadio anterior son iguales, los ojos presentan una coloración rojiza, se observan con mayor facilidad los paquetes alares en mesotórax y metatórax (Carrillo *et al.*, 2021).

Cuarto instar

En el cuarto estadio la característica más distintiva se ve visible en las patas ya que estas están completamente definidas en la parte terminal de las tibias posteriores, así como los segmentos torsales y un par de unas (Bujanos *et al.*, 2015).

Quinto instar

El quinto instar la cabeza, tórax, y el abdomen ya están bien definidos, la pigmentación de los ojos son dientes a los instares anteriores siendo de un color guinda, los paquetes alares en el tórax son muy notables, la ninfa es de color verde oscuro amarillento, presenta poros anales, así como el orificio anal bien definido (Néstor, 2010)

2.4.7. Adulto macho

Los adultos son pequeño y varia de entre 1.3 - 1.9 milímetros (mm), poseen dos pares de alas claras, las alas delanteras son delanteras tienen venas conspicuas y son más grandes que las alas posteriores; Las antenas son moderadamente largas, el color del cuerpo varia siendo que en la emergencia tengan una tonalidad verde oscuro o marrón de 2-3 días y posterior mente cambia el color a un tono gris o negro siendo que los adultos son más activos (Beltrán *et al.*,2017).

Poseen una franja blanca paralela sobre el primer segmento abdominal y otra marca en forma de “Y” invertida cerca del final de la orilla del abdomen con 7 franjas abdominales negras con la cauda levantada al final (Néstor, 2010).

2.4.8. Adulto hembra

La hembra es de color café claro, tiene una franja blanca paralela sobre el primer segmento abdominal y otra marca en forma de “Y” invertida cerca del final de la orilla del abdomen con 5 segmentos visibles más el segmento genital, este con una forma cónica en la vista lateral (Antonio *et al.*, 1995). Tiene un ovopositor corto y redondeado más grande que el del macho, con un largo promedio de 2.8 mm y un ancho de 3.2 mm (Pletsch *et al.*, 1947; Velázquez-Rodríguez *et al.*, 2015).

2.5. Control

Comprender el mecanismo de transmisión entre el insecto vector y el patógeno es fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo orientadas a limitar la propagación horizontal de la enfermedad (Vereijssen *et al.*, 2018). En este sentido, la detección temprana y el monitoreo constante permiten identificar oportunamente la presencia del insecto en campo o en invernadero, implementaciones de medidas de manejo desde las primeras etapas del cultivo son esenciales para reducir los daños y evitar la proliferación del psílido, es necesario establecer un programa de manejo integrado que incluya prácticas como culturales, control biológico, biorracional y químico (SENASA, 2024).

2.5.1. Detección y monitoreo

El monitoreo de *B. cockerelli* es esencial para el manejo efectivo de esta plaga (SENASA, 2024). Para esto se pueden emplear trampas amarillas y verde fosforescentes para adultos, en el caso de las ninfas, el muestreo se hace en el follaje dos veces a la semana en la parte baja de la planta (OIRSA, 2015).

2.5.2. Control cultural

Fomentando las nuevas prácticas agrícolas comunes, crucial para prevenir los ataques de insectos, esto mediante la creación de ambientes menos favorables para su desarrollo y alimentación, es decir, necesitando una planificación previa al ataque del cultivo (Pruett *et al.*, 2001; Jiménez *et al.*, 2009).

La preparación del terreno, seleccionar variedades de semilla limpias y certificadas (Vereijssen *et al.*, 2020). El manejo adecuado del agua, la siembra tardía puede reducir las densidades de psílicos (Palacio, 2021).

También se es recomendable podar, sacar las hojas infestadas inmediatamente de tal forma eliminando así los focos de infestación de ninfas, la utilización de acolchados de plástico o aluminio tiene un efecto positivo en la disminución de las densidades de poblaciones siendo que el color blanco sobresalga de manera significativa del aluminio y el plástico negro para disminuir la densidad de población de *B. cockerelli* (Demirel *et al.*, 2006; Bujanos *et al.*, 2015). Las utilidades de cubiertas de malla con tamaño de poros pequeños demostraron reducir el número de ninfas y adultos (Merfield *et al.*, 2014).

2.5.3. Control biológico

Este método consiste en el uso de organismos vivos para disminuir la densidad de población o el impacto que genere una plaga (Palacio, 2021). La utilización de insecticidas a base de hongos entomopatógenos principalmente *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Isaria fumosorosea* tiene efectos de mortalidad de 95 a 96 % favorables para el control de ninfas y adultos (Lacey *et al.*, 2009).

Entre los enemigos naturales podemos encontrar *Dicyphus hesperus*, *Tamarixia triozae*, ejerciendo un control efectivo sobre los instares ninfales de *B. cockerelli* (Cabrera *et al.*, 2022).

Estudios realizados por Sarkar *et al.*, (2022), en donde trabajo con una mariquita *Coccinella transversalis Fabricius* demostró que pudo vivir, desarrollarse y reproducir cuando se alimenta de larvas del tercer y cuarto estadio de *B. cockerelli* reduciendo las poblaciones hasta un 66 %.

2.5.1. Control biorracional

Se trata de un concepto reciente en donde se promueve el uso de productos compatibles con el medio ambiente siendo una alternativa para disminuir el uso de insecticidas químicos, los insecticidas biorracionales son definidos como sustancias

producidas por microorganismos, plantas o minerales, que se descomponen en pocas horas después de aplicarlos y son específicos para la plaga que se desea controlar (O´Farrill, 2008).

De manera similar, los aceites minerales, vegetales y botánicos mostraron cierta repelencia hacia *B. cockerelli* en ensayos de laboratorio (Vereijssen *et al.*, 2020). Se han hecho evaluaciones del uso de plaguicidas biorracionales y los resultados han demostrado cierto tipo de componentes favorables para el diseño e implementación táctica del control para el insecto saltador, ya sea en condiciones de campo abierto e invernadero (Gómez *et al.*, 2008).

Teniendo una forma así de repeler o matar a insectos específicos, estos estratos son amigables hacia el medio ambiente ejemplo es el caso del extracto de neem *Azadirachta indica* y *Argemone spp* que tiene efecto de insecticida para el control de *Aphis gossypii* (Esparza-Díaz *et al.*, 2010).

El aceite de neem, uno de los bioplaguicidas más estudiados, ha sido evaluado en combinación con hongos entomopatógenos, los tratamientos de aceite de neem + *Metarhizium anisopliae* y aceite de neem + *Isaria javanica* mostraron una mayor eficacia, alcanzando valores de control de 68.4 y 64.9 %, respectivamente, con diferencias significativas entre tratamientos (Murillo-Cuevas *et al.*, 2019).

2.5.1. Control químico

Dentro de la agricultura en México personas que se dedican al campo agrícola realizan aplicaciones de insecticidas químicos de contacto e ingestión de amplio espectro sin conocer los niveles de tolerancia o resistencia a estos pesticidas (Bisset *et al.*, 2002). Sustancias químicas, como abamectina, pymetrozina, ciantraniliprol, sulfoxaflor y tolfenpirad, han demostrado bajar las densidades de población alterando la actividad de alimentación, pero tienen un efecto negativo de actividad residual y resistencia a una o más sustancias químicas (Wenninger *et al.*, 2023).

Mediante la selección de secuencias de insecticidas con grupos de diferentes modos de acción, puede desarrollarse un programa efectivo, siendo los insecticidas que actúan sobre el sistema nervioso, intervención en la metamorfosis, inhibidores de la síntesis de cutícula y inhibidores de los procesos metabólicos siendo estos los que más destacan (SENASA. 2024).

Insecticidas de acuerdo a su modo de acción ejercieron efectos diferenciales a lo largo del ciclo fenológico de *Solanum tuberosum* la mayoría eficas tiametoxam (un neonicotinoide sistémico), la lambda-cihalotrina (un piretroide de contacto) y la abamectina (una avermectina translaminar) estos compuestos interfieren con el comportamiento de alimentación y la transmisión de señales neuronales en los hemípteros, reduciendo así las tasas de ovoposición (Cárdenas-Huamán *et al.*, 2025). Este tipo de control se debe de implementar como última alternativa previo al control cultural biorracional y biológico (Palacio, 2021).

2.6. Producto químico

2.6.1. Spirotetramat

Spirotetramat es un insecticida que actúa por ingestión, con 2 vías sistémicas, utilizado para programas de control de insectos chupadores como (mosca blanca, paratrioza y pulgones en hortalizas); el ingrediente activo Spirotetramat gracias a su sistemicidad de 2 vías puede moverse hacia los brotes nuevos y hacia la raíz de las plantas, controlando así aquellas plagas que por sus hábitos biológicos son difíciles de alcanzar por aquellos insecticidas convencionales (Roblero, 2016).

Es del grupo químico de los ácidos tetrónicos o ketoenoles, el modo de acción de Spirotetramat es la inhibe la biosíntesis de los lípidos; La síntesis de los lípidos es un proceso metabólico indispensable durante el desarrollo de los insectos afectando estados inmaduros de las hembras mostrando una reducción en la fecundidad y fertilidad de huevecillos (Liñan *et al.*, 1997). La aplicación correcta de este producto

se debe de realizar durante el crecimiento activo de la planta, es por ello que su eficacia dependerá mucho de la penetración del ingrediente activo en las hojas y su translocación dentro de la planta (DEAQ, 2004).

En Chile habanero, Spirotetramat redujo fuertemente la oviposición de *B. cockerelli* en toda la planta, mostrando acción sistémica hacia estratos no tratados (Tucuch-Haas *et al.*, 2020).

Listados recientes de insecticidas usados contra *B. cockerelli* en México incluyen Spirotetramat como sistémico junto a otros compuestos donde ya hay reportes de resistencia (abamectina, neonicotinoides) (López *et al.*, 2022).

2.7. Productos biorracionales

2.7.1. Haarp

Compuesto por extractos botánicos como *Argemone mexicana*, *Allium sativum*, *Azadirachta indica*, *Citrus aurantium*, *Origanum vulgare* y *Matricaria chamomilla*. La interacción de estos extractos obstruye la acción de las feromonas naturales, causando desorientación en la etapa reproductiva; además, inhibe la alimentación y altera el desarrollo normal en ninfas de trips (Culta, 2024).

Chicalote (*Argemone mexicana*)

Estudios realizados revelan que estos extractos pueden utilizarse como insecticidas de origen vegetal, causando una mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* de 83.6 % en un periodo de 48 h (Delgado-Ortiz *et al.*, 2023). De la semilla de chicalote se obtiene un aceite con alto contenido de alcaloides que sirve para controlar la hormiga blanca y el barrenillo (Ragonese *et al.*, 1984). En *A. mexicana* se han identificado berberina y quelerytrina como compuestos mayoritarios con actividad antibacteriana, anticáncer y antiinflamatoria (Orozco-Nunnelly *et al.*, 2021; Jaiswal *et al.*, 2023).

Ajo (*Allium sativum*)

Contiene extractos acuosos o alcohólicos y aceites que liberan allicina y otros compuestos azufrados con potente actividad antibacteriana y antifúngica. Estos compuestos actúan de manera preventiva, repelente y por contacto, lo que contribuye al manejo de *B. cockerelli* (Shang *et al.*, 2019).

Árbol de neem (*Azadirachta indica*)

Contiene metabolitos con actividad insecticida, entre los cuales los más importantes son la azadiractina y otros tetranortriterpenoides naturales, que actúan como bioinsecticidas eficaces para el control de plagas chupadoras como la paratrioza (Esparza-Díaz *et al.*, 2010). El aceite de neem es uno de los más estudiados debido a sus atributos antiecdisteroidales (González-Maldonado *et al.*, 2012).

Cítricos (*Citrus aurantium*)

Villafañe (2011) reporta actividad insecticida y antialimentaria de aceites esenciales de *C. aurantium* y otros cítricos contra plagas agrícolas y vectores de enfermedades. Aunque no específicamente para *B. cockerelli*, los mecanismos bioactivos son comparables y se estudian como alternativas a pesticidas sintéticos.

Estudios realizados por Alotaibi *et al.* (2022), en los que trabajó con insectos (áfidos, moscas y mosquitos), demostraron que *C. aurantium* y sus componentes tienen toxicidad, repelencia o efectos comportamentales contra insectos en ensayos de laboratorio, lo cual sustenta su uso como biorracional.

Oregano (*Origanum vulgare*)

Los aceites han demostrado poseer características insecticidas, antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas y antivirales. Estas características han sido documentadas en diferentes géneros vegetales, como *Origanum* (orégano)

(Rodríguez *et al.*, 2021), e incluyen compuestos fenólicos volátiles y no volátiles como timol, carvacrol, metileugenol, miristicina y apiol (Jbilou *et al.*, 2023).

Manzanilla (*Matricaria chamomilla*)

Presenta una composición química compleja que incluye compuestos como levomenol, óxidos A y B, apigenol, quercetol, camilina, matricina, matricarina, luteolol, fitosteroles, maltosa y diversos alcaloides; estas sustancias le confieren propiedades antimicrobianas, antioxidantes y repelentes de insectos (Castro, 2010).

Además, contiene metabolitos secundarios como aceites volátiles; entre los compuestos más destacados se encuentran el α -bisabolol y el chamazuleno. También presenta fenoles, ácidos fenólicos, flavonoides y cumarinas que contribuyen a sus propiedades antioxidantes, antibacterianas y antifúngicas (Hanbin Wu *et al.*, 2022).

2.7.2. Etos

Es un compuesto de extractos botánicos de *Brassica nigra*, *Piper nigrum* y *Capsicum annuum*, que actúan como nematocida de contacto; además, muestra un efecto repelente e inhibe la eclosión de huevos de nematodos fitopatógenos (Culta, 2024).

Mostaza negra (*Brassica nigra*)

Debido a su rico contenido de compuestos bioactivos, como glucosinolatos (compuestos sulfurados que, al degradarse, forman isotiocianatos y nitrilos), compuestos fenólicos y flavonoides, se le atribuyen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y de control de plagas (Ugolini *et al.*, 2021). Estos metabolitos actúan como mecanismos de defensa constitutivos y pueden afectar el

comportamiento, la alimentación y el desarrollo de plagas; además, atraen enemigos naturales de los herbívoros (Ponzio *et al.*, 2017; Ahuja *et al.*, 2009).

Pimienta negra (Piper nigrum)

Los principales metabolitos bioactivos son la piperina, el ácido pipérico (piperic acid), la piperlonguminina, la pellitorina y la piperoleína (Takooree *et al.*, 2019). Estudios realizados por Celis *et al.* (2008), en los que trabajó con tres especies pertenecientes a la familia Piperaceae (*Piper nigrum*, *P. guineense* y *P. tuberculatum*), mencionan que estos extractos tienen un efecto repelente, protegen las hojas de las plantas contra insectos defoliadores (en estado adulto y larval) y reducen la oviposición.

Pimiento (Capsicum annum)

Dewitt *et al.* (2000) mencionan que algunos componentes, como la capsicina, la capsicidina, el capsidol, los capsianósidos y la capsicodendrina, han demostrado actividad antibacteriana e incluso fungicida. Estos compuestos representan mecanismos de antixenosis (repelencia) y antibiosis (efectos negativos sobre el desarrollo del insecto), reduciendo significativamente la oviposición y la supervivencia de *B. cockerelli* (Silva-Valenzuela *et al.*, 2022). Estudios realizados por Koleva-Gudeva *et al.* (2012) demuestran que la oleorresina de *Capsicum annum* ssp. *microcarpum* L, en una dilución de 1:20, es la más eficaz como biopesticida debido a su alta concentración.

2.8. Nanotermología en la Agricultura

El desarrollo de la nanotecnología aplicada a la agricultura y a la prevención de problemas ambientales constituye un campo muy amplio por explorar (Carrillo *et al.*, 2009). En la agricultura, diversas áreas se han visto beneficiadas por la incorporación de nuevas tecnologías orientadas a mejorar el rendimiento de los

cultivos; en este contexto, la nanotecnología (NT) implica el uso de nanopartículas (NPs) en sistemas agrícolas (Lira-Saldivar *et al.*, 2018).

Ofrece múltiples beneficios, como el desarrollo de nanofertilizantes y nanopesticidas, que mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes y el control de plagas con dosis menores que las de los agroquímicos convencionales, reduciendo así la contaminación ambiental (Prasad *et al.*, 2017; Usman *et al.*, 2020). La aplicación de nanomateriales también puede mejorar la absorción de nutrientes por las plantas, aumentar su resistencia al estrés ambiental y prolongar la vida útil de productos agrícolas poscosecha (Haris *et al.*, 2022; Saritha *et al.*, 2022).

2.9. Nanopartículas

Cualquier material que tenga un tamaño de 1 a 100 nanómetros (nm) puede considerarse una nanopartícula. Este campo tiene aplicaciones en la medicina, los textiles, la agricultura, la electrónica, los fármacos y el sector alimentario. En términos sencillos, es la ciencia de manipular, organizar, fabricar e ingeniar productos y materiales a escala nanométrica; hoy en día, las NPs se sintetizan en laboratorio bajo condiciones controladas (Saritha *et al.*, 2022).

Cuando la planta es tratada con NPs, la absorción ocurre a través de aberturas naturales, ingresando principalmente por los estomas y desplazándose posteriormente por el floema (Fricker *et al.*, 2012). Este proceso puede ser eficiente, ya que los estomas presentan tamaños micrométricos que fluctúan entre 10 y 60 micras (μm), lo que permite la absorción de NPs aplicadas de forma foliar. Se ha reportado que, al aplicar el nanomaterial, solo se pierde 14.7 % en comparación con pérdidas de 32.5 % con productos agrícolas convencionales, lo cual evidencia una mayor eficiencia en las aplicaciones agrícolas (Lira-Saldivar *et al.*, 2018).

2.10. Modo de Acción de las Nanopartículas sobre Insectos

El efecto que se tiene al usar nanopartículas sobre insectos a través de diversos mecanismos destaca la alteración de enzimas antioxidantes y detoxificantes, así como la inducción de estrés oxidativo causado por un desequilibrio en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en un organismo y su capacidad antioxidante que conduce a la muerte celular (Saw *et al.*, 2023; Martínez-Cisterna *et al.*, 2024).

De esta forma, ya se han producido nanopartículas de distintos materiales (oro, plata, dióxido de titanio, óxido de zinc, hierro y carbono). Estas nanopartículas han sido evaluadas con éxito contra una amplia gama de artrópodos perjudiciales, incluyendo plagas agrícolas (Benelli *et al.*, 2018).

2.11. Nanopartículas de grafito

El carbono (C) es uno de los elementos que presenta diferentes estructuras, por ejemplo: diamante, fullerenos, nanotubos, grafito y grafeno (Uribe *et al.*, 2019). El grafito está formado por capas de átomos de carbono enlazados entre sí y se encuentra de forma natural con distintas características estructurales. Estas variaciones, junto con la presencia de impurezas, limitan su uso directo, por lo que requiere procesos de purificación; entre los más utilizados se encuentra la oxidación química, la cual permite obtener óxido de grafito mediante la incorporación de grupos funcionales oxigenados como epóxidos, hidroxilos y carboxilos (Uribe *et al.*, 2019).

Las nanopartículas de carbono, incluyendo el grafeno y el óxido de grafeno (GO), actúan principalmente mediante un modo físico sobre los insectos adhiriéndose al cuerpo del insecto, dañando la capa protectora del cutículo y obstruyendo funciones respiratorias, lo que provoca deshidratación y muerte rápida (Lampiri *et al.*, 2024; Lampiri *et al.*, 2025).

La utilización del óxido de grafeno reducido permite una entrega más controlada y dirigida del pesticida, aumentando la eficiencia y reduciendo la deriva del producto hacia áreas no dirigidas (Sharma *et al.*, 2017). La nanotecnología mejora la adhesión foliar y la estabilidad del principio activo, optimizando su acción contra plagas específicas como *B. cockerelli* (Wang *et al.*, 2022; An *et al.*, 2022).

Por otro lado, Dziewięcka *et al.* (2016) evaluaron la toxicidad de nanopartículas de óxido de grafeno inyectadas en la hemolinfa de grillos (*Acheta domesticus*), observando que inducen estrés oxidativo, evidenciado por el aumento en la actividad de enzimas como la catalasa y glutatión peroxidasa, así como de la proteína de choque térmico (HSP70) y la capacidad antioxidante total.

Las nanopartículas y polvos de grafeno, cuyo modo de acción se atribuye principalmente a un mecanismo físico, permiten que las partículas se adhieran al cuerpo del insecto y se fijen al exoesqueleto; esto provoca la interrupción de la capa cerosa protectora y daño en la cutícula y, en consecuencia, favorece la desecación del organismo (Lampiri *et al.*, 2024; Lampiri *et al.*, 2025).

A nivel general, en nanopartículas (incluido el óxido de grafeno) se observa estrés oxidativo, alteración de enzimas antioxidantes y de detoxificación y, finalmente, muerte celular. En el gusano de seda expuesto a GO, este entra al intestino medio y a la glándula de seda, inhibe el crecimiento, reduce la formación de capullos y la postura, aumenta las especies reactivas de oxígeno (ROS) y altera genes de metabolismo y biogénesis ribosomal (Xin *et al.*, 2024).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el invernadero de toxicología del Departamento de Parasitología ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), con dirección a la calzada Antonio Narro 1923, al lado de la carretera Saltillo-Zacatecas, Coahuila de Zaragoza, en las siguientes coordenadas (25° 22' LN y 101° LO; 1742msnn) con una temperatura anual de 16.8°C y con un clima seco semiárido.

3.2. Colonia *B. cockerelli*

Las colonias de *B. cockerelli*, proporcionadas por el laboratorio de toxicología, se mantuvieron sobre plantas de tomate dentro de jaulas de 60 x 60 x 60 cm, asegurando condiciones libres de patógenos y parasitoides que pudieran afectar a los individuos. Dichas colonias se conservaron a una temperatura de 25 °C y una humedad relativa de 60–70 %. Con objetivo de favorecer su reproducción e incrementar la densidad poblacional.

3.3. Material vegetal

Se sembró semilla de tomate en charolas de 200 cavidades posteriormente, a los 30 días después de emerger, cuando las plántulas alcanzaron una altura de entre 20 y 30 cm, fueron trasplantadas a bolsas negras y mantenidas bajo condiciones controladas del invernadero, estas plantas se usaron para mantener la colonia de *B. cockerelli* y para los ensayos de invernadero.

3.4. Producto (químico y biorracional) con nanopartícula de grafito.

Se evaluó un producto químico Spirotetramat con cinco concentraciones, 100, 1000, 2000 y 4000 ppm. Así mismo se analizaron dos productos biorracionales, el primero (Etos) se aplicó en concentraciones de 5000, 10000, 15000, 20000, 25000 ppm, mientras que el segundo (Haarp) se evaluó en concentraciones de 3000, 5000, 7000, 9000 y 11000 ppm y se utilizaron 3 repeticiones por tratamiento. Todos los productos se utilizaron de manera individual y adicionados con porcentajes de nanopartículas de grafito (1, 3, 5 y 10 %).

3.5. Experimento

El experimento se basó en el método de prueba de susceptibilidad IRAC 016. Este método se emplea para evaluar formulaciones comerciales de insecticidas y puede aplicarse en ninfas y huevos, siempre que el principio activo tenga actividad ovicida (IRAC, 2020).

Se seleccionaron 20 plantas de tomate como hospedero, a las que se les eliminaron las hojas, conservándose únicamente tres hojas verdaderas por planta. Incluyendo una planta como testigo, todas las macetas fueron debidamente etiquetadas.

La recolección de adultos de *B. cockerelli* se realizó con ayuda de un aspirador entomológico, lo que permitió su captura y transferencia sin causarles daño. Los insectos recolectados, tanto machos como hembras, se introdujeron en jaulas de aislamiento fijadas a las hojas verdaderas, con el fin de limitar su movilidad y favorecer una ovoposición controlada.

Los adultos permanecieron en las plantas durante un periodo de 24 a 48 horas, tiempo durante el cual se verificó la presencia de huevos. Se procuró alcanzar una densidad de 50 a 100 huevos por hoja; una vez lograda esta cantidad, los adultos

fueron retirados y se permitió el desarrollo hasta los estadios ninfales del tercer y quinto instar.

En el laboratorio se prepararon los productos a evaluar, utilizando 100 mL de agua por tratamiento. La aplicación se llevó a cabo de forma foliar mediante un atomizador, asegurando la cobertura total de la planta. El primer tratamiento correspondió al insecticida químico spirotetramat, seguido de la aplicación de los productos biorracionales Etos y Haarp solos y en combinación con nanopartículas de grafito.

3.6. Evaluación de mortalidad

La evaluación de la mortalidad se realizó a las 24 horas después de haber aplicado los tratamientos con la ayuda de una lupa de montaje. Se registró el número de ninfas sobrevivientes y muertas expresadas en porcentajes.

Mediante criterios morfológicos y de respuesta a estímulos. Se consideraron muertas aquellas ninfas que presentaron ausencia total de movimiento y falta de respuesta al estímulo mecánico aplicado con un pincel, así como signos evidentes de deshidratación y, en algunos casos, desprendimiento o adhesión de los apéndices al cuerpo (Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2021).

Se observó la pérdida del tono verde translúcido característico de ninfas vivas y la aparición de coloraciones opacas que variaron de amarillentas a pardas que se consideraron muertas. Estos criterios han sido previamente establecidos y validados en bioensayos con ninfas de *B. cockerelli* (Rojas *et al.*, 2014; Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2021).

3.7. Análisis estadístico

A todos los datos se les realizó una correlación de mortalidad mediante la fórmula de Henderson y Tilton (1955). Los datos obtenidos se les realizó una comparación de medias con una prueba de rangos múltiples de Tukey ($p < 0,05$). Los porcentajes de mortalidad se analizaron mediante análisis probit para estimar los valores de CL_{50} , mediante el paquete estadístico SAS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de las nanopartículas de grafito evaluadas de manera individual sobre *B. cockerelli* se observó que la concentración del 10 % alcanza una mayor mortalidad del 54.85 %, en comparación con las concentraciones más bajas 1, 3 y 5 % donde presentaron efectos reducidos registrando mortalidades de 22.8, 27.64 y 39.71 % respectivamente, así como se observa en el cuadro 2. Se han buscado nuevas alternativas mediante el empleo de nanomaterial derivado del carbono, los cuales se han investigado y demostrado tener un potencial como control de plagas, debido a sus propiedades y a su mecanismo de acción sobre la cutícula de los insectos, caso de ello son los estudios realizados por Lampiri y colaboradores (2024), en donde se utilizaron nanopulvos de grafeno producidos industrialmente, como un método de control físico para el manejo de gorgojos del arroz *Sitophilus oryzae* registrando una mortalidad del 47 % a una concentración de 1000 ppm con un periodo de exposición de 21 días.

Cuadro. - 2 Mortalidad de las etapas inmaduras de *B. cockerelli* expuestas a nanopartículas de grafito a las 24 horas.

Grafito solo	Mortalidad %
1 %	22.08
3 %	27.64
5 %	39.71
10 %	54.84

En los tratamientos evaluados, el Spirotetramat tanto en aplicación individual como en combinación con nanopartículas de grafito mostró un incremento en la mortalidad en donde el mayor efecto se observó en la combinación de 3, 5 y 10 % de nanopartículas en el tratamiento de 4000 ppm alcanzando una mortalidad del 100 %. En los tratamientos de 1000 y 2000 ppm con las combinaciones de

nanopartículas del 1, 3, 5 y 10 %, se observó una mortalidad por encima del 50 % mostrando ser muy efectivas en comparación con el producto solo, el cual alcanzó un porcentaje de mortalidad del 69.23 % (cuadro 3). Aunque son limitados los estudios que combinan directamente nanopartículas de grafito, diversas investigaciones han demostrado que materiales basados en carbono, como el óxido de grafeno, pueden actuar como vehículos o sinergistas de compuestos activos químicos. Estos resultados concuerdan con Li y colaboradores (2022), quienes evaluaron la mortalidad de larvas del tercer estadio de *Spodoptera frugiperda*, tratadas con óxido de grafeno combinado con el insecticida betacipermetrina, reportando una mortalidad del 58.33 % a una concentración de 200 µg/mL. Por otra parte, los estudios realizados por Chen y Zhao (2022), en donde de igual forma se evaluó el material de grafeno en combinación con los insecticidas lambda-cihalotrina y ciflutrina en una proporción 3:1, registraron mortalidades del 62.91 % y 38.89 % en ninfas de la oruga del algodón (*Helicoverpa armigera*). El uso de las nanopartículas de óxido de grafeno debido a sus propiedades fisicoquímicas magnéticas ha demostrado que puede combinarse de manera eficaz con distintos insecticidas y para diferentes tipos de plagas caso representativo son los estudios realizados por Gautam y colaboradores (2023), en donde se utilizó óxido de grafeno en combinación con el insecticida deltametrina, probaron que incrementó la mortalidad en comparación con la aplicación del producto de manera individual observando este efecto en proporciones de 1:1, 1:2 y 1:3 registrándose mortalidades del 30, 50 y 85 %, respectivamente.

Cuadro. - 3 Mortalidad después de 24 h de ninfas *B. cockerelli* expuestas a nanopartículas de grafito e insecticida Spirotetramat.

Nanopartículas de grafito (%) Spirotetramat					
ppm	P.S.	1 %	3 %	5 %	10 %
100	47.62 d	46.67 d	54.3 d	67.9 d	82.2 d
1000	55.10 c	76.76 c	87.6 c	82.7 c	97.2 c
2000	66.20 b	96.08 b	97.7 b	98.4 b	97.4 b
4000	69.23 a	97.18 a	100.0 a	100.0 a	100.0 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.

Se observó que en el producto Etos, en el tratamiento de 25000 ppm presentó la mayor mortalidad al combinarse con 10 % de nanopartículas de grafito, alcanzando un 90.15 %, a diferencia del 3 y 5 % donde mostraron mortalidades de 80.82 y 85.44 % respectivamente, en el tratamiento de 20000 ppm combinado con 3 y 5 % de grafito alcanzó una mortalidad por encima del 80 % mostrando una buena efectividad. En comparación, el tratamiento aplicado de manera individual solo alcanzó el 76.33 % de mortalidad en el tratamiento de 25000 ppm (cuadro 4). Hay evidencia sólida de que extractos biorracionales y aceites esenciales de diferentes plantas pueden causar una alta mortalidad como en el estudio realizado por Granados y colaboradores en el 2015 donde usaron extractos etanólicos de hojas de *A. mexicana* a 0.2 g/mL causo una mortalidad del 100 % en ninfas del 4^o y 5^o instar de *B. cockerelli* a las 24 h y con un 93 % a las 72 h. Además, Flores-Dávila *et al.* (2011), demostraron que al evaluar dos extractos vegetales contra ninfas de *B. cockerelli* del extracto *Annona muricata* (anona) provocó una mortalidad del 98 y 100 % en concentraciones de 2500 y 5000 ppm respectivamente a las 72 h de exposición, el segundo extracto vegetal *Azadirachta indica* (neem) mostro una mortalidad del 91 y 100 % a concentraciones de 2000 y 2500 ppm respectivamente. Asimismo, Daraban y colaboradores (2022), evaluaron la actividad bioinsecticida

del extracto vegetal *Origanum vulgare* mostro mortalidades del 60 al 100 % en un periodo de 24 a 48 h en larvas/adultos de *Leptinotarsa decemlineata*, causando un efecto insecticida y antialimentario.

Cuadro. - 4 Mortalidad después de 24 h de ninfas *B. cockerelli* expuestas a nanopartículas de grafito e insecticidad Etos.

Nanopartículas de grafito (%) Etos					
ppm	P.S.	1 %	3 %	5 %	10 %
5000	19.44 e	29.41 e	41.98 e	45.010 e	56.75 e
10000	37.43 d	40.56 d	65.82 d	72.94 d	77.71 d
15000	46.75 c	49.02 c	73.53 c	76.27 c	80.75 c
20000	66.31 b	52.75 b	77.67 d	80.82 b	81.18 b
25000	76.33 a	78.82 a	80.82 a	85.44 a	90.15 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.

Se registró que las combinaciones de 3, 5 y 10 % de nanopartículas de grafito con en el tratamiento de 11000 ppm alcanzaron mortalidades de 91.92, 96.14 y 99.32 % respectivamente, en el tratamiento de 9000 ppm combinado al 5 y 10 % también se registraron mortalidades del 91.67 y 97.32 % respectivamente, en comparación del producto biorracional aplicado de manera individual el cual presentó una mortalidad de 80.58 % (cuadro 5). Estos hallazgos coinciden con diversos estudios, donde han evaluado compuestos biorracionales mostrando una alta eficiencia insecticida, aunque depende de la concentración, tiempo de exposición y especie evaluada, caso de ello son los estudios realizados por Ahmedi y colaboradores (2024) en donde trabajaron con el extracto de *Capsicum annum* al 1.5 % alcanzando mortalidades del 100 % en un periodo de 48 h en pulgones y ninfas de mosca blanca. Así como lo reportado por Singh y Paul (2024), en donde demostraron que al utilizar el aceite *B. nigra* presenta mortalidades de 23 y 27 % a las 72 h. Además, estudios realizados por Govindan y Niranjana (2022) reportaron que el uso del polvo de semilla de pimienta negra (*P. nigrum*) al 2 % (p/p) logró una

mortalidad del 100 % en *Callosobruchus maculatus* (gorgojo) en un periodo de 24 a 48 h además de inhibir la oviposición y emergencia del adulto.

Cuadro. - 5 Mortalidad después de 24 h de ninfas *B. cockerelli* expuestas a nanopartículas de grafito e insecticidad Haarp.

Nanopartículas de grafito (%) Haarp					
ppm	P.S.	1 %	3 %	5 %	10 %
3000	14.81 e	48.51 e	58.75 e	68.97 e	71.82 e
5000	62.54 d	63.79 d	77.95 d	70.49 d	85.58 d
7000	74.80 c	78.15 c	82.35 c	84.41 c	88.57 c
9000	77.37 b	81.74 b	88.00 b	91.67 b	97.30 b
11000	80.58 a	87.14 a	91.92 a	96.14 a	99.32 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

Se observo que la concentración al 10 % de nanopartículas de grafito presento una CL₅₀ de 11.10 ppm con una relación de sinergia del 16.96 veces más, mientras que el producto Spirotetramat por si solo fue de 188.32 ppm lo que indica que la capacidad de nanomaterial de grafito potencia la eficiencia del producto (cuadro 6). Resultados similares reportados por Gao y colaboradores (2021), evaluaron el ingrediente activo cihalotrina (Cyh) en combinación de nanocompuesto de oxido de grafeno sobre *T. urticae* mostrando valores de LC₅₀ de 1.93 µg/mL (microgramos por mililitro) con una relación de sinergia de RS de 5.07 veces más, lo que indica que el nanocompuesto óxido de grafeno con cihalotrina obtuvo mayor potencial en relación con el producto solo. Datos reportados por Li y colaboradores (2022), mostraron que la combinación de óxido de grafeno con clorantraniliprol (Chl), evaluada sobre la oruga cogollera del maíz *Spodoptera frugiperda*, incrementa la eficiencia del insecticida; el nanocompuesto GO–Chl presentó una CL₅₀ de 11.00

µg/mL con una relación de sinergia del 1.56, lo que evidencia un efecto sinérgico del nanomaterial.

Cuadro. - 6 Concentración letal media en ninfas de *B. cockerelli* de Spirotetramat a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.

Spirotetramat						
Concentración de grafito (%)	CL ₅₀ (ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
Control	188.32	14.15	467.92	Y=-0.798 + 0.350	0.0009	
1	133.35	2.55	524.95	Y=-2.523 + 1.187	<.0001	1.41x
3	89.93	1.17	257.39	Y=-2.632 + 1.347	<.0001	2.09x
5	42.61	-	-	Y=-1.637 + 1.004	0.0111	4.41x
10	11.10	1.27	30.94	Y=-1.003 + 0.959	<.0001	16.96x

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

La CL₅₀ registrada solo para producto biorracional Etos aplicado de manera individual fue de 13496 ppm, sin embargo, al incorporar nanopartículas de grafito las combinaciones de 5 y 10 % se observó una reducción de la CL₅₀ de 5352 y 3505 ppm respectivamente con una RS de 2.52 y 3.85 veces más lo que indica que el producto por si solo es menos efectivo (cuadro 7). Este comportamiento coincide con lo reportado por Mirunaliniraj y colaboradores (2025), que han demostrado una actividad insecticida al evaluar el extracto de *Azadirachta indica* mostrando una alta toxicidad en plagas gusano elotero (*Helicoverpa zea*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), con una CL₅₀ de 810 ppm. De manera similar estudios realizados por Hossen y colaboradores (2025), demostraron que el extracto de *Allium sativum* (ajo) para el control de larvas de tercer estadio de *Aedes aegypti* reportaron una CL₅₀ de 3,99 mg/ml. Estudios realizados por Aljedani (2023), evaluó el extracto de *Origanum vulgare* para el control de termitas *Reticulitermes spp.* presentando una CL₅₀ 25.483 µL/L de igual manera lo reportado por Al-Ghanim y colaboradores (2023), demostraron que el aceite esencial de *Matricaria chamomilla* y sus componentes principales como (α-bisabolol y β-farnesenon) registraron valores de

CL₅₀ (≤150 µg/mL) contra larvas de gusano de la hoja del algodón (*Spodoptera litura*) y oruga de la col (*Helicoverpa armígera*).

Cuadro. - 7 Dosis letal en ninfas de *B. cockerelli* de Etos a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.

Etos						
Concentracio de grafito (%)	CL ₅₀ (ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
Control	13496	11930	15268	Y=-9.157+2.217	<.0001	
1	13033	2690	54021	Y=-6.488+1.576	0.0007	1.03x
3	6212	4308	7778	Y=-5.843+1.540	<.0001	2.17x
5	5352	3602	6804	Y=-6.056+ 1.624	<.0001	2.52x
10	3505	1709	5053	Y=-4.916+1.386	<.0001	3.85x

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

Los resultados del producto Haarp presentaron CL₅₀ de 4991 ppm contra ninfas de *B. cockerelli* cuando se aplicó solo, mientras que el tratamiento del 10 % presentó la CL₅₀ mas baja de 1901 ppm representando una RS 2.62 veces más (cuadro 8). La eficacia insecticida puede variar dependiendo del tipo de extracto evaluado y de la parte del material vegetal utilizada para su obtención lo que influye directamente en la toxicidad y actividad biológica ejemplo de ello son los resultados reportados por Granados y colaboradores (2002), evaluaron el extractos de *Piper grande* frente a *Drosophila melanogaster*, destacando aquellos obtenidos de raíces, los cuales presentaron mayor toxicidad, con valores de CL₅₀ de 698.2 ppm mientras que los extractos de tallos y hojas misma de *Piper grande* mostraron una eficacia más moderada, con valores de CL₅₀ 1654.1 ppm.

Cuadro. - 8 Dosis letal en ninfas de *B. cockerelli* de Haarp a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.

Haarp						
Concentra ciones de grafito (%)	CL₅₀ (ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P- valor	RS
Control	4991	2166	6963	$Y = -11.984 + 3.240$	<.0001	
1	3186	2369	3828	$Y = -7.300 + 2.083$	<.0001	1.56x
3	2261	1412	2931	$Y = -6.711 + 2.000$	<.0001	2.20x
5	2051	22.36	3501	$Y = -6.804 + 2.053$	<.0001	2.43x
10	1901	1201	2462	$Y = -8.534 + 2.602$	<.0001	2.62x

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

V. CONCLUSIONES

La combinación de nanopartículas de grafito con el insecticida y productos biorracionales demostró ser eficaz contra ninfas de *B. cockerelli*. En particular, el producto spirotetramat destacó al alcanzar mortalidades del 97.18 % a 100 % con una RS de 16.96 veces más, lo que evidencia un claro efecto potencializador. Por otra parte, los productos biorracionales, Haarp y Etos presentaron un comportamiento sobresaliente, al registrar niveles elevados de mortalidad de 99.32 y 90.15 % respectivamente en la combinación del 10 % de nanomaterial de grafito. Estos resultados contribuyen a la reducción en la cantidad de plaguicidas utilizados, favoreciendo estrategias de manejo más sustentables y ayudando a disminuir el impacto ambiental.

VI. LITERATURA CITADA

Abdel-Aziz, H., Hasaneen, M., & Omer, A. (2019). Impact of engineered nanomaterials either alone or loaded with NPK on growth and productivity of French bean plants: Seed priming vs foliar application. *South African Journal Of Botany*, 125, 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.07.005>

An, C., Sun, C., Li, N., Huang, B., Jiang, J., Shen, Y., Wang, C., Zhao, X., Cui, B., Wang, C., Li, X., Zhan, S., Gao, F., Zeng, Z., Cui, H., & Wang, Y. (2022). Nanomaterials and nanotechnology for the delivery of agrochemicals: strategies towards sustainable agriculture. *Journal Of Nanobiotechnology*, 20(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01214-7>

Ahmedi, F. H., Mohammed, H. M., Hussein, A. M., Abdalrazaq, N. A., Nouri, M. J., Jassim, A. R. D., Kazim, A. M. H., Mahdi, B. M., & Rahi, F. A. (2024). Evaluation of *Eruca Sativa* and *Capsicum annum* alcoholic extracts as pesticide against aphid and whitefly pests. *Journal Port Science Research*, 7(issue). <https://doi.org/10.36371/port.2024.special.25>

Ahuja, I., Rohloff, J., & Bones, A. M. (2009). Defence mechanisms of Brassicaceae: implications for plant-insect interactions and potential for integrated pest management. A review. *Agronomy For Sustainable Development*, 30(2), 311-348. <https://doi.org/10.1051/agro/2009025>

Alejandro, M. J. O., Darío, S. A. M., & Eduardo, S. S (2015). Control de la araña roja (*tetranychus urticae* koch.) (acari: *tetranychidae*) en rosal (rosa sp.) bajo condiciones de invernadero.

Al-Ghanim, K. A., Krishnappa, K., Pandiyan, J., Nicoletti, M., Gurunathan, B., & Govindarajan, M. (2023). Insecticidal Potential of *Matricaria chamomilla*'s Essential Oil and Its Components (E)- β -Farnesene, Germacrene D, and α -Bisabolol Oxide A

against Agricultural Pests, Malaria, and Zika Virus Vectors. *Agriculture*, 13(4), 779.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13040779>

Aljedani, DM (2023). Evaluación de la efectividad de algunos extractos de plantas sobre las termitas *Reticulitermes* spp. (Isoptera: *Rhinotermitidae*). *Polish Journal of Environmental Studies*, 32 (4), 3015–3024. <https://doi.org/10.15244/pjoes/162305>

Alotaibi, S. S., Darwish, H., Alzahrani, A. K., Alharthi, S., Alghamdi, A. S., Al-Barty, A. M., Helal, M., Maghrabi, A., Baazeem, A., Alamari, H. A., & Noureldeen, A. (2022). Environment-Friendly Control Potential of Two Citrus Essential Oils against *Aphis punicae* and *Aphis illinoisensis* (Hemiptera: Aphididae). *Agronomy*, 12(9), 2040. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092040>

Álvarez. (2013). Medidas fitosanitarias para combatir las plagas de paratrioza, mosquita blanca y pulgón que han afectado la producción de hortalizas en diversas regiones de Michoacán. Recuperada de: asun_3002432_20130912_1378999000.pdf.

Antonio, M. J., Antonio, G. T. J., Alicia, B. F., Carlos, M. A., Rafael, B. M., & Francisco, B. M. K. (1995). Ciclo biológico y morfología del salerillo *Paratrioza cockerelli* (*Sulc.*) (Homoptera: Psyllidae) vector de la enfermedad «permanente del jitomate» en el Bajío. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7237>

Arango Mejía María Cristina, Plantas medicinales. Botánica de interés médico. Manizales: Universidad de Caldas, Colombia, 2006, pp 226-228.

Barra-Bucarei, L., & Ortiz, J. (2020). Control biológico en *Capsicum* con agentes microbianos. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93509>.

Beltrán Beache, M., & Cerna Chávez, E. (2017). Presencia y distribución del sistema "*bactericera cockerelli*-*candidatus liberibacter solanacearum*" en México. Saltillo, Coahuila: (Tesis, pontificia Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro).

Recuperada de:
<http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/43018/Mariana%20Beltran%20Beache.pdf>.

Benelli, G. (2018). Mode of action of nanoparticles against insects. *Environmental Science And Pollution Research*, 25(13), 12329-12341. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1850-4>

Bisset, J. A. (2002). Uso correcto de insecticidas: control de la resistencia. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 54(3), 202-219.

Borror, D.J. Triplehorn C.A. and Johnson N.F. 1989. An introduction to the study of insects. 6^a edition. Saunders College Publishing EUA. 875 pp.

Bracamontes, A. y Méndez, R. 2011. Subvenciones y reconversión productiva. El caso del trigo en Sonora. México. El colegio de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. 204 p.

Bujanos et al. (17 de marzo de 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. Obtenido de Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria:
<https://www.oirsa.org/contenido/Manual%20Bactericera%20Cockerelli%20version%201.3.pdf>

Bustillo, A., & Gutiérrez, B. (1983). Las plagas del tomate y su control. *Hortalizas. Manual de asistencia técnica*, (28), 95-119.

Cabrera, I. M., Ortiz, D. M., & Díaz, H. L. B. (2022, 18 mayo). Influencia de la temperatura y agentes de control biológico sobre *Bactericera cockerelli* (*Sulcer*) (Hemiptera: Psyllidae). <https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1253>

- Caldwell, J. S. (1941). A preliminary survey of Mexican Psyllidae (Homoptera).
- Cárdenas-Huamán, G., Morocho-Romero, H., Casas-Niño, S., Vilchez-Navarro, S., Velarde-Apaza, L. D., Ramirez-Rojas, M., Cruz, J., & Lozano-Isla, F. (2025). Efficacy of Biological and Chemical Control Agents Against the Potato Psyllid (*Bactericera cockerelli* Šulc) Under Field Conditions. *International Journal Of Plant Biology*, 16(4), 136. <https://doi.org/10.3390/ijpb16040136>
- Cardona, C., Rodriguez, I., Bueno, J. M., & Tapia, X. (2005). *Biología y manejo de la mosca blanca Trialeurodes vaporariorum en habichuela y frijol*. CIAT.
- Cardoso, JLS, Souza, AA y Vieira, MLC. Bases moleculares de la respuesta del huésped a la infección por Xanthomonas. *Planta* 256, 84 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03994-0>
- Carmen, C. C., & Llumiquinga, P. (2021, 1 julio). Manual para reconocer e identificar al psílido de la papa (*Bactericera cockerelli* Šulc) en campo y laboratorio. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5781>
- Carrillo González, R., & González-Chávez, M. D. C. A. (2009). La nanotecnología en la agricultura y rehabilitación de suelos contaminados. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 2(2), 50-63.
- Carrillo, C. (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. 40 p. Estraído de <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/1775ffed-308f-4596-8ec7-0b01596e6b6b/content>.
- Castro, A. I. (21 de marzo de 2010). Insecticida orgánico a base de *Tagetes erecta* L. y *Matricaria chamomilla* L. Obtenido de Feria de las Ciencias:

https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria18/B_L_IE%20Insecticida_organico_a_base_de_T.pdf

Celis, Á., Mendoza, C., Pachón, M., Cardona, J., Delgado, W., & Cuca, L. E. (2008). Extractos vegetales utilizados como biocontroladores con énfasis en la familia Piperaceae. Una revisión. *Agronomía colombiana*, 26(1), 97-106.

Chen, Z., Zhao, J., Liu, Z., Bai, X., Li, W., Guan, Z., Zhou, M., & Zhu, H. (2022). Graphene-Delivered Insecticides against Cotton Bollworm. *Nanomaterials*, 12(16), 2731. <https://doi.org/10.3390/nano12162731>

Conafor. (2003). *Azadirachta indica* (Juss). Estraida de. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/889Azadirachta%20indica.pdf>.

Covarrubias, O. A. R., Hinojosa, M. A. C., & Carrillo, G. V. (2013). Manejo integrado de la punta morada de la papa en el Estado de México. INIFAP-CIRCE Campo Experimental Valle de México. Sitio Experimental Metepec. <https://doi.org/10.13140/2.1.3912.0967>

Cuzco, M. E., Vera, A. M., Quiñonez, J. P., Mera, L. F., & Lao, M. T. (2025). Influence of a Greenhouse Adapted to the Ecuadorian Coastal Climate on Pest Dynamics in Tomato Crops. *Horticulturae*, 11(11), 1279. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11111279>

Daraban, G. M., Rusu, L., Dinica, R. M., Roșca, M., Badeanu, M., Mihaila, M. D. I., & Suteu, D. (2022). Exploring the Antioxidant and Bioinsecticidal Activity of Spontaneous Flora Vegetal Extracts for Plant Protection and Prevention of Soil Contamination. *Separations*, 9(9), 260. <https://doi.org/10.3390/separations9090260>

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. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.177>

Delgado-Ortiz, J. C., López-López, H., Beltrán-Beache, M., Ochoa-Fuentes, Y. M., & Del Ángel, E. C. (2023). EN PRENSA. Efecto insecticida del extracto metanólico de *Argemone mexicana* para el control de *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae). EN PRENSA. Revista Bio Ciencias. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1404>

Demirel, N., & Cranshaw, W. (2006). Psyllid, *Paratrioza cockerelli* (Sulc) (Homoptera: Psyllidae). *Journal of entomology*, 3(2), 189-193.

Dewitt, D., Stock M.T., Hunter K., 2000. Los Poderes Curativos de los Chiles, Remedios y Recetas para mejorar vida y salud. Editorial Diana. México.

Enriquez, A. R., Delgado-Ortiz, J. C., Beltrán-Beache, M., Ochoa-Fuentes, Y., & Cerna-Chávez, E. (2021). Parametros agronomicos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado con "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" y tratados con fosfitos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1). <https://doi.org/10.19136/era.a8n1.2552>

Esparza-Díaz, G., López-Collado, J., Villanueva-Jiménez, J. A., Osorio-Acosta, F., Otero-Colina, G., & Camacho-Díaz, E. (2010). Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de *Azadirachta indica* A. Juss. *Agrociencia*, 44(7), 821-833.

ETOS. (2026) – Culta Agrobiológicos. <https://culta.com.mx/product/etos/>

FAO. (2025). FAOSTAT: Cultivos y productos de ganadería <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

- Flores Mego, T. Y. (2021). Identificación de insectos fitófagos y controladores biológicos asociados al cultivo de orégano (*Origanum vulgare* L.) en la zona del Valle de Tacna, sector La Yarada, periodo 2019.
- Flores-Dávila, M., González-Villegas, R., Guerrero-Rodríguez, E., Mendoza-Villarreal, R., Cárdenas-Elizondo, A., Cerna-Chavez, E., & Aguirre-Uribe, L. (2011). Insecticidal Effect of Plant Extracts on *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae) Nymphs. *Southwestern Entomologist*, 36(2), 137-144. <https://doi.org/10.3958/059.036.0203>
- Gao, X., Shi, F., Peng, F., Shi, X., Cheng, C., Hou, W., Xie, H., Lin, X., & Wang, X. (2021). Formulation of nanopesticide with graphene oxide as the nanocarrier of pyrethroid pesticide and its application in spider mite control. *RSC Advances*, 11(57), 36089-36097. <https://doi.org/10.1039/d1ra06505j>
- Garzón, T. J. A.; Becerra, F. A.; Marín, A.; Mejía, A. C. Y. and Byerly, M. K. F. 1992. Manejo integrado de la enfermedad permanente del tomate (*Lycopersicon lycopersicum* Karst ex Fawll Mill.), en El Bajío. In: Urías, C.; Rodríguez, R. y Alejandre, T. (eds). Afdos como vectores de virus en México. Fitopatología, Colegio de Postgraduados, México. 1:116-118
- Garzón-Tiznado, J. A., Cárdenas-Valenzuela, O. G., Bujanos-Muñiz, R., Marín-Jarillo, A., Becerra-Flora, A., Velarde-Felix, S., ... & Martínez-Carrillo, J. L. (2009). Asociación de Hemiptera: Triozidae con la enfermedad'permanente del tomate'en México. *Agricultura técnica en México*, 35(1), 61-72.
- Gautam, D., Samal, R. R., Kumar, S., Hooda, S., & Dheer, N. (2023). One pot chemical co-precipitation preparation of magnetic graphene oxide-deltamethrin nanoformulations for management of *Aedes aegypti*. *Journal Of Applied And Natural Science*, 15(1), 194-202. <https://doi.org/10.31018/jans.v15i1.4305>

- Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., Kowalczyk, T., & Kononowicz, A. K. (2014). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell Tissue And Organ Culture (PCTOC)*, 120(3), 881-902. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0664-4>
- Gómez, G. (2024). Producción sustentable de jitomate en agricultura protegida. Obtenido de Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México- ICAMEX: https://icamex.edomex.gob.mx/sites/icamex.edomex.gob.mx/files/files/publicaciones/2024/Producci%C3%B3n%20de%20Jitomate%20ICAMEX%202024_compressed.pdf
- Gomez, M. R., Cesar, E. S., Rivera, J. M., Flores, J. R., Salgado, J. H., & Mendez, J. P. (2008). Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratrioza (*Bactericera cockerelli* By L) (Homoptera: Triozidae) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7(1), 47-56.
- González-Maldonado, M. B., & García-Gutiérrez, C. (2012). Uso de biorracionales para el control de plagas de hortalizas en el norte de Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8(3b), 31-45.
- Govindan, K., Geethanjali, S., Douressamy, S., & Brundha, G. (2022). Effect of Various Plant Powders on Pulse Beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) and Seed Weight Loss in Stored Black Gram. *Legume Research - An International Journal, Of*. <https://doi.org/10.18805/lr-4435>
- Granados N, H, Sáez V, J, Robles, C, Vázquez, L, Moreno, M, Acevedo, J, Peláez J, C y Callejas, R. (2002). Evaluación de la actividad insecticida de extractos de *piper grande* vahl (piperaceae) en el modelo biológico: *drosophila melanogaster*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Granados-Echegoyen, C., Pérez-Pacheco, R., Bautista-Martínez, N., Alonso-Hernández, N., Sánchez-García, J. A., Martínez-Tomas, S. H., & Sánchez-Mendoza, S. (2015).

Insecticidal Effect of Botanical Extracts on Developmental Stages of *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Southwestern Entomologist*, 40(1), 97-110.
<https://doi.org/10.3958/059.040.0108>

Gutiérrez-Ramírez, J. A., Betancourt-Galindo, R., Aguirre-Uribe, L. A., Cerna-Chávez, E., Sandoval-Rangel, A., Ángel, E. C., Chacón-Hernández, J. C., García-López, J. I., & Hernández-Juárez, A. (2021). Insecticidal Effect of Zinc Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticles against *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) on Tomato *Solanum lycopersicum*. *Agronomy*, 11(8), 1460.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11081460>

HAARP – Culta Agrobiológicos. (2025). <https://culta.com.mx/product/haarp/>

Haris, M., Hussain, T., Mohamed, H. I., Khan, A., Ansari, M. S., Tauseef, A., Khan, A. A., & Akhtar, N. (2022). Nanotechnology – A new frontier of nano-farming in agricultural and food production and its development. *The Science Of The Total Environment*, 857(Pt 3), 159639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159639>

Hashmat, I., Azad, H., & Ahmed, A. (2012). Neem (*Azadirachta indica* A. Juss)-A nature's drugstore: an overview. *Int Res J Biol Sci*, 1(6), 76-9.

Hossen, M. S., Islam, S., Ismail, M., Evan, K. A., Rahman, M. K. R., Hossain, M. A., Hasan, M. I., Nahin, S. C., Mitu, S. S., Jahin, T., Nayeem, J., Uddin, S. B., & Faruque, M. O. (2025). Larvicidal activities of 215 medicinal plants extracts against *Aedes Aegypti* from Bangladesh. *Bangladesh Journal Of Botany*, 54(1), 54-60.
<https://doi.org/10.3329/bjb.v54i1.80737>

Insecticide Resistance Action Committee. (2020c, septiembre 6). *Trialeurodes vaporariorum* & *Bemisia Tabaci* | Insecticide Resistance Action Committee.
<https://irac-online.org/methods/trialeurodes-vaporariorum-bemisia-tabaci-nymphs/>

- Jaiswal, J., Siddiqi, N. J., Fatima, S., Abudawood, M., Aldaihan, S. K., Alharbi, M. G., De Lourdes Pereira, M., Sharma, P., & Sharma, B. (2023). Analysis of Biochemical and Antimicrobial Properties of Bioactive Molecules of *Argemone mexicana*. *Molecules*, 28(11), 4428. <https://doi.org/10.3390/molecules28114428>
- Jbilou, R., Matteo, R., Bakrim, A., Bouayad, N., & Rharrabe, K. (2023). Potential use of *Origanum vulgare* in agricultural pest management control: a systematic review. *Journal Of Plant Diseases And Protection*, 131(2), 347-363. <https://doi.org/10.1007/s41348-023-00839-0>
- Jiménez Martínez, E. (2009). Manejo integrado de plagas. Universidad Nacional Agraria.
- Jordán, M. V. R. (2020). Actividad insecticida de extractos vegetales para el control de insectos plaga en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.). <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/0c0a174a-4886-4564-a64d-af78943df7c7>
- Koleva-Gudeva, L., Mitrev, S., Maksimova, V., & Spasov, D. (2012). Content of capsaicin extracted from hot pepper (*Capsicum annuum* ssp. *microcarpum* L.) and its use as an ecopesticide. *Hemijaska Industrija*, 67(4), 671-675. <https://doi.org/10.2298/hemind120921110k>
- Lacey, L. A., De la Rosa, F., & Horton, D. R. (2009). Insecticidal activity of entomopathogenic fungi (Hypocreales) for potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae): Development of bioassay techniques, effect of fungal species and stage of the psyllid. *Biocontrol Science And Technology*, 19(9), 957-970. <https://doi.org/10.1080/09583150903243904>
- Lampiri, E., Yap, P. L., Athanassiou, C. G., & Losic, D. (2025). Influence of grain types and graphene nanopowder characteristics on insecticidal efficacy against common grain insects. *Discover Nano*, 20(1), 174. <https://doi.org/10.1186/s11671-025-04359-8>

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143200>
- Lange, W. H., & Bronson, L. (1981). Insect Pests of Tomatoes. *Annual Review Of Entomology*, 26(1), 345-371. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.26.010181.002021>
- Li, X., Wang, Q., Wang, X., & Wang, Z. (2022). Synergistic Effects of Graphene Oxide and Pesticides on Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Nanomaterials*, 12(22), 3985. <https://doi.org/10.3390/nano12223985>
- Liefting, L. W., Weir, B. S., Pennycook, S. R., & Clover, G. R. G. (2009). *Candidatus Liberibacter solanacearum*, associated with plants in the family Solanaceae. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(9), 2274-2276. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.007377-0>
- Liu, D., & Trumble, J. (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. <https://doi.org/10.1079/ber2005416>
- López, H. L., Beache, M. B., Fuentes, Y. M. O., Del Ángel, E. C., Chávez, E. C., & Delgado, J. (2022). Methanolic extract of *Crotalaria longirostrata*: Identification of secondary metabolites and insecticidal effect. *Scientia Agropecuaria*, 13(1), 71-78. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.007>
- Madriz, H., Martínez, M., Soto, J., Domínguez, A., Alcántara, P., Cruz, A., & Dzul, M. (2020). Efectos de la temperatura y la variedad de tomate sobre los estados de desarrollo de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). 36, 1-10. <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612178>

- Marín, L. M. (2016). Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*). Panama: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. recuperada de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>.
- Márquez, J. M. (2011). El manejo integrado de plagas. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. (Melgar M, Meneses A, Orozco H, Pérez O, Espinosa R. Eds). CENGICANÍA, Guatemala, 204-231.
- Martínez-Cisterna, D., Rubilar, O., Tortella, G., Chen, L., Chacón-Fuentes, M., Lizama, M., Parra, P., & Bardehle, L. (2024). Silver Nanoparticles as a Potent Nanopesticide: Toxic Effects and Action Mechanisms on Pest Insects of Agricultural Importance—A Review. *Molecules*, 29. <https://doi.org/10.3390/molecules29235520>.
- Mayela, L. M. L. (2017b). Manual técnico del cultivo del tomate *Solanum lycopersicum*. <https://hdl.handle.net/11324/3143>
- Méndez, I. E. M., Patrón, I. N. V., & López, K. V. V. Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017.
- Mendoza-Herrera, A., Levy, J., Harrison, K., Yao, J., Ibanez, F., & Tamborindeguy, C. (2018). Infection by Candidatus *Liberibacter solanacearum* haplotypes A and B in *Solanum lycopersicum* 'Moneymaker'. *Plant Disease*, 102(10), 2009-2015. <https://doi.org/10.1094/pdis-12-17-1982-re>
- Merfield, C., Hale, R., & Hodge, S. (2014). Pore size criteria of mesh crop covers for the exclusion of tomato-potato psyllid (*Bactericera cockerelli*). *New Zealand Journal Of Crop And Horticultural Science*, 43(1), 53-58. <https://doi.org/10.1080/01140671.2014.949800>

- Miranda, F. J., & Silva, R. R. (2024). Jitomates y biotecnología= jitomates más nutritivos y resistentes. *Revista Universitarios Potosinos*, 21(278), 15-20
- Mirunaliniraj, V., & Sundararajan, G. (2025). Evaluation of Selected Aqueous Plant Extracts for the Management of *Helicoverpa armigera* (Hubner). *Journal Of Biochemistry Microbiology And Biotechnology*, 13(1), 135-138. <https://doi.org/10.54987/jobimb.v13i1.1090>
- Mogro, E. J. J.-., Carvajal, D. A.-., Quevedo, K. M.-., Cepeda, Y. M.-., & Jácome, C. J.-. (2022). Ciclo biológico de *Bactericera cockerelli*, vector de la enfermedad de punta morada (*Candidatus liberobacter*) en solanáceas, en los Andes centrales ecuatorianos. *Revista Investigación Agraria*, 4(1), 26-37. <https://doi.org/10.47840/reina.4.1.1386>
- Munyanza, J. E., Buchman, J. L., Sengoda, V. G., Fisher, T. W., & Pearson, C. C. (2011b). Susceptibility of Selected Potato Varieties to Zebra Chip Potato Disease. *American Journal Of Potato Research*, 88(5), 435-440. <https://doi.org/10.1007/s12230-011-9209-0>
- Munyanza, J. E., Mustafa, T., Fisher, T. W., Sengoda, V. G., & Horton, D. R. (2016). Assessing the Likelihood of Transmission of *Candidatus Liberibacter solanacearum* to Carrot by Potato Psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *PLoS ONE*, 11(8), e0161016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161016>
- Munyanza, JE. Enfermedad de la papa: Biología, epidemiología y manejo. *Am. J. Pot Res* 89, 329–350 (2012). <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9262-3>
- Murillo-Cuevas, F. D., Cabrera-Mireles, H., Adame-García, J., Fernández-Viveros, J. A., Narváez, J. V., López-Morales, V., Vázquez-Hernández, A., & Meneses-Márquez, I. (2019). Evaluación de insecticidas biorracionales en el control de mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) en la producción de hortalizas//Evaluation of biorational

insecticides for whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) control in vegetables production. *BIOtecnica*, 22(1), 39-47. <https://doi.org/10.18633/biotecnica.v22i1.1123>

Niranjana, R. F., & Samanthikka, M. G. M. (2022). Efficacy of extracts of the different plant parts of *Piper nigrum* against bruchid beetle (*Callosobruchus maculatus*) in stored cowpea. *AGRIEAST Journal Of Agricultural Sciences*, 16(2), 1. <https://doi.org/10.4038/agrieast.v16i2.112>

OIRSA. (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.

Orozco-Nunnally, D. A., Pruet, J., Rios-Ibarra, C. P., Gamarra, E. L. B., Lefeber, T., & Najdeska, T. (2021). Characterizing the cytotoxic effects and several antimicrobial phytocompounds of *Argemone mexicana*. *PLoS ONE*, 16(4), e0249704. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249704>

Palacio Delgado, E. J. (2021). Autodiseminación de hongos entomopatógenos endémicos de Aguascalientes para el control de *Bactericera cockerelli* en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Perring, T. M., Battaglia, D., Walling, L. L., Toma, I., & Fanti, P. (2017). Aphids. En *Elsevier eBooks* (pp. 15-48). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802441-6.00002-4>

Perveen, R., Suleria, HAR, Anjum, FM, Butt, MS, Pasha, I. y Ahmad, S. (2015). Química de carotenoides y licopenos del tomate (*Solanum lycopersicum*); metabolismo, absorción, nutrición y afirmaciones de salud relacionadas: una revisión exhaustiva. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (7), 919–929. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.657809>

- Pletsch, D. J. (1947). The potato psyllid, *Paratrioza cockerelli* (Sulc), its biology and control.
- Ponzio, C., Papazian, S., Albrechtsen, B. R., Dicke, M., & Gols, R. (2017). Dual herbivore attack and herbivore density affect metabolic profiles of *Brassica nigra* leaves. *Plant Cell & Environment*, 40(8), 1356-1367. <https://doi.org/10.1111/pce.12926>
- Pruett, C. J., & Guamán, I. (2001). Principios de manejo integrado de plagas y biocontrol en siembra directa. El Proyecto Desarrollo de la Siembra Directa para la Conservación de Suelos en el Cono Sur, se ejecutó en el marco del Subprograma Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola del PROCISUR, durante el período 30/01/1997 al 31/10/2000, contando con el financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID)., 121.
- Purba, B. M., Saragih, S. H. Y., & Sitanggang, K. D. (2024). Qualitative and Quantitative Characteristics of Some Tomato Varieties (*Solanum lycopersicum* L.). *JURNAL AGRONOMI TANAMAN TROPIKA (JUATIKA)*, 6(2). <https://doi.org/10.36378/juatika.v6i2.3643>
- Raghavan, S. (2006). Handbook of spices, seasonings, and flavorings. CRC press
- Ramírez, G. (2010). Manejo integrado de las principales plagas y enfermedades del jitomate en Chiapas. Centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Garrido-Ramirez/publication/265292831_Manejo_integrado_de_las_principales_plagas_y_enfermedades_del_jitomate_en_Chiapas/li.
- Redondo, G. L. M., Gutiérrez, A. L., Barrantes, J. B., Navarro, M. P., Monge, M. C. O., & Vargas, M. J. C. (2021). Aspectos generales del *Allium sativum* - una revisión. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 62(4), 471-481. <https://doi.org/10.30827/ars.v62i4.20843>

- 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. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1944>
- Roblero, w. I. (2016). efectividad biologica de siete insecticidas en el control de paratrioza (*bactericera cockerelli sulc.*) en el cultivo de papa (*solanum tuberosum* l). san pedro, sacatepequez, santos marcos: (tesis, pontificada por universidad de san carlos de guatemala). recuperada de <http://investigacion.cusam.edu.gt/wp-content/uploads/2018/10/efectividad-biologica-de-siete-insecticidas-en-el-control.pdf>.
- Rodríguez Alvarado, G., García López, J., & Fernández Pavía, S. P. (2011). Enfermedades del jitomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en invernadero en la zona Centro de Michoacán. *Revista mexicana de fitopatología*, 29(1), 51-60.
- Rodríguez, E. A., Rey, P. A. S., & Godoy, J. A. (2021). Efectividad de los aceites esenciales de *Thymus vulgaris* (Tomillo) y *Origanum vulgare* subsp. *Hirtum* (Orégano griego) probados contra *Ralstonia solanacearum* fitopatógeno del cultivo de *Solanum lycopersicum* (Tomate). *Revista Environment & Technology*, 2(1), 1-18.
- Rojas, M. G., & Morales-Ramos, J. A. (2014). Juvenile Coloration as a Predictor of Health in *Nezara viridula* (Heteroptera: Pentatomidae) Rearing. *Journal Of Entomological Science*, 49(2), 166-175. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-49.2.166>
- SACATEPEQUEZ, S. (2016). Efectividad biologica de siete insecticidas en el control de (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Salehi, B., Zakaria, Z. A., Gyawali, R., Ibrahim, S. A., Rajkovic, J., Shinwari, Z. K., Khan, T., Sharifi-Rad, J., Ozleyen, A., Turkdonmez, E., Valussi, M., Tumer, T. B., Fidalgo, L. M., Martorell, M., & Setzer, W. N. (2019). Piper Species: A Comprehensive

Review on Their Phytochemistry, Biological Activities and Applications. *Molecules*, 24(7), 1364. <https://doi.org/10.3390/molecules24071364>

Samia, A. A., Karima, B., & Ferroudja, M. (2023). Evaluation and Diversity of Aphids on Two Tomato Crops in Tizi-Ouzou (North Algeria), and First Report of *Semiaphis Dauci* (Fabricius, 1775) (Hemiptera: Aphididae) in Algeria. *Journal Of Advanced Zoology*, 45(1), 11-20. <https://doi.org/10.17762/jaz.v45i1.379>

Saritha, G. N. G., Anju, T., & Kumar, A. (2022). Nanotechnology - Big impact: ¿How nanotechnology is changing the future of agriculture? *Journal Of Agriculture And Food Research*, 10, 100457. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100457>

Sarkar, S. C., Milroy, S. P., & Xu, W. (2022). Development and reproduction of a native generalist predator, *Coccinella transversalis* (Coleoptera: Coccinellidae), on the tomato potato psyllid, *Bactericera cockerelli*, with a greenhouse assay of biocontrol potential. *Biological Control*, 176, 105108. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105108>

Saw, G., Nagdev, P., Jeer, M., & Murali-Baskaran, R. (2023). Silica nanoparticles mediated insect pest management. *Pesticide biochemistry and physiology*, 194, 105524. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105524>.

Science, F., Audsley, N., Avila, G., Ioratti, C., Mach, F. E., Caron, V., Biosecurity, C. H. A., Ferracini, C., Bukovinszki, T., Authority, N. F. A. C. P. S., Kenis, M., Cabi, Milonas, P., Herz, A., Kühn-Institut, J., Trdan, S., Fatu, A., Sabbatini-Peverieri, G., Lesieur, V., . . . McGee, C. (2023). *The potato psyllid, Bactericera cockerelli* (Å ulc). <https://doi.org/10.1079/20240228448>

SENASA)., S. N. (2024). Ficha-tecnica-de-Bactericera-cockerelli. Dirección Técnica de Sanidad Vegetal. Departamento de Diagnostico Vigilancia y Campañas Fitosanitarias.

- Sharma, S., Singh, S., Ganguli, A. K., & Shanmugam, V. (2017). Anti-drift nano-stickers made of graphene oxide for targeted pesticide delivery and crop pest control. *Carbon*, 115, 781-790. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.01.075>
- SIAP, S. D. (16 de noviembre de 2025). Panorama agroalimentario 2025. Obtenido de Panorama agroalimentario 2025: https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/
- Silva-Valenzuela, M., Rojas-Martínez, R. I., & Zúñiga-mayo, V. M. (2022). Chili Pepper Jojutla Morelos (*Capsicum annum* L.), CJ-2018: A Variety Resistant to *Bactericera cockerelli*. *Insects*, 13(8), 742. <https://doi.org/10.3390/insects13080742>
- Singh, A., & Paul, N. (2024). Efficacy of *Mentha piperita* (Peppermint), *Azadirachta indica* (Neem), *Syzygium aromaticum* (Clove), *Brassica nigra* (Mustard) oils on termites. *International Journal Of Science And Research Archive*, 12(1), 322-326. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.12.1.0798>
- Stupková, L. C., & Plzáková, L. (2018). Production of Tomatoes in Mexico and its Competitiveness in the U.S. market. *Hradec Economic Days . . .*, 8, 171-179. <https://doi.org/10.36689/uhk/hed/2018-01-016>
- Tucuch-Haas, J. I., Silva-Aguayo, G., & Rodríguez-Maciél, J. C. (2020). Oviposition of *Bactericera cockerelli* (sulc) (hemiptera: triozidae) on *capsicum chinense* (jacq) treated with spiromesifen or spirotetramat. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3), 317. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.317>
- Ugolini, L., Scarafile, D., Matteo, R., Pagnotta, E., Malaguti, L., Lazzeri, L., Modesto, M., Checcucci, A., Mattarelli, P., & Braschi, I. (2021). Effect of bioactive compounds released from Brassicaceae defatted seed meals on bacterial load in pig manure. *Environmental Science And Pollution Research*, 28(44), 62353-62367. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14321-7>

- Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., Rehman, H. U., Ashraf, I., & Sanaullah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *The Science Of The Total Environment*, 721, 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>
- Uribe, D. B., & Director, D.-. (2019, 11 abril). Oxidación electroquímica de grafito y su aplicación como soporte de nanopartículas de pt para la reacción de reducción de oxígeno (RRO) en celdas de combustible. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/661>
- Utrera, D. A., Rodríguez-Malaga, R. D., & López-Lima, D. (2024). Los trips: pequeños problemáticos en la agricultura. *Pregones de Ciencia*, 2, 76-83. <https://doi.org/10.25009/pc.v1i2.41>
- Vargas-Madríz, H., Bautista-Martínez, N., Vera-Graziano, J., García-Gutiérrez, C., & Chavarín-Palacio, C. (2011). Life and Fertility Table of *Bactericera cockerelli*(Sulc) on Two Varieties of Tomato in a Greenhouse. *Southwestern Entomologist*, 36(4), 413-422. <https://doi.org/10.3958/059.036.0403>
- Vega-Gutiérrez, M. T., Rodríguez-Maciel, J. C., Díaz-Gómez, O., Bujanos-Muñiz, R., Mota-Sánchez, D., Martínez-Carrillo, J. L., ... & Garzón-Tiznado, J. A. (2008). Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae). *Agrociencia*, 42(4), 463-471.
- Velázquez-Rodríguez, Y. B., Morales-Alonso, S. I., Pineda-Guillermo, S., Figueroa-De-la-Rosa, I. H. A. A., & Martínez-Castillo, A. M. (2015). Capacidad de consumo de *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Miridae) sobre ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae). *Entomol. Mex*, 2, 235-240.

- Vereijssen, J. (2020). Ecology and management of *Bactericera cockerelli* and *Candidatus Liberibacter solanacearum* in New Zealand. *Journal Of Integrative Agriculture*, 19(2), 333-337. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62641-9](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62641-9)
- Vereijssen, J., Smith, G. R., & Weintraub, P. G. (2018). *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) and *Candidatus Liberibacter solanacearum* in Potatoes in New Zealand: Biology, Transmission, and Implications for Management. *Journal Of Integrated Pest Management*, 9(1). <https://doi.org/10.1093/jipm/pmy007>
- Villafañe E, Tolosa D, Bardón A, Neske A. Toxic effects of Citrus aurantium and C. limon essential oils on Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). *Nat Prod Commun*. 2011 Sep;6(9):1389-92. PMID: 21941921.
- Villarreal, Q., J. A. (1999). Malezas de Buenavista, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 269 p. Weiss, EA., (1983). Oiseedcrops. London: Longman. 660 p.
- Villegas-Rodríguez, F., Díaz-Gómez, O., Casas-Flores, S., Monreal-Vargas, C. T., Tamayo-Mejía, F., y Aguilar-Medel, S. (2017). Actividad de dos hongos entomopatógenos, identificados molecularmente, sobre *Bactericera cockerelli*. *Revista Colombiana De Entomologia*, 43(1), 27. <https://doi.org/10.25100/socolen.v43i1.6643>
- Walukhu, M. K., & Nyukuri, R. W. (2020). Plants extract concoction from *Capsicum annum*, *Citrus sinensiss*, *Tagetes minuta* and *Allium sativum*: A potent killer of bedbugs. *East Africa Science*, 2(1), 92-98. <https://doi.org/10.24248/easci-d-19-00006>
- Wenninger, E. J., & Rashed, A. (2023). Biology, Ecology, and Management of the Potato Psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), and Zebra Chip Disease in

Potato. *Annual Review Of Entomology*, 69(1), 139-157.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020123-014734>

Wu, H., Yang, K., Dong, L., Ye, J., & Xu, F. (2022). Classification, Distribution, Biosynthesis, and Regulation of Secondary Metabolites in *Matricaria chamomilla*. *Horticulturae*. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121135>.

Wang, D., Saleh, N. B., Byro, A., Zepp, R., Sahle-Demessie, E., Luxton, T. P., Ho, K. T., Burgess, R. M., Flury, M., White, J. C., & Su, C. (2022). Nano-enabled pesticides for sustainable agriculture and global food security. *Nature Nanotechnology*, 17(4), 347-360. <https://doi.org/10.1038/s41565-022-01082-8>

Xin, X., & He, S. Y. (2013). *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000: A Model Pathogen for Probing Disease Susceptibility and Hormone Signaling in Plants. *Annual Review Of Phytopathology*, 51(1), 473-498. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102321>

Xin, Y., Liang, J., Ren, C., Song, W., Huang, B., Liu, Y., & Zhang, S. (2024). Physiological and transcriptomic responses of silkworms to graphene oxide exposure. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 278, 116434. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116434>

Yıldız, M. T., & Aki, C. (2025). Evaluation of Physiological and Biochemical Responses of Four Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivars at Different Drought Stress Levels. *Agronomy*, 15(3), 653. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030653>