

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



Potencialización de Extractos Orgánicos y Principios Activos Químicos con Nanopartículas de Grafito para el control de Ninfas de *Bactericera cockerelli* bajo condiciones in vitro

Por:

JOSE EMMANUEL RUBIO UREÑA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Marzo 2026

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

Potencialización de Extractos Orgánicos y Principios Activos Químicos con
Nanopartículas de Grafito para el control de Ninfas de *Bactericera cockerelli* bajo
condiciones in vitro

Por:

JOSE EMMANUEL RUBIO UREÑA

TESIS

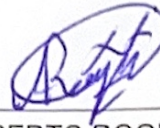
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

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. ROCIO DE JESUS DIAZ AGUILAR
Coasesor



DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, 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 citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior, me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

Asesor Principal



José Emmanuel Rubio Ureña



Dr. Ernesto Cerna Chávez

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente, por darme la paciencia, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar este proyecto.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por ser el lugar donde crecí como estudiante y como persona. Todo lo que aprendí aquí me ha formado, no solo académicamente, si no también para enfrentar los retos de la vida profesional.

Al Dr. Ernesto Cerna Chávez por la confianza que me dio al permitirme realizar este proyecto. Gracias por el apoyo constante, sus consejos y por siempre estar dispuesto a ayudarme en cada paso de este camino.

Al Dr. Alberto Roque Enriquez por no solo ser mi profesor; sino también por darme el privilegio de poder llamarlo amigo. Gracias por su comprensión, apoyo y por la amistad que me brindó a lo largo de este proceso.

A la Dra. Rocio de Jesús Díaz por su paciencia, por sus valiosas sugerencias y por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

A la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes por su amabilidad y aportaciones que fueron fundamentales para fortalecer este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres Julia Ureña González y Ranulfo Rubio Suárez por ser el pilar de mi vida y de mi formación. Gracias por su amor, su apoyo incondicional y por los valores que me han inculcado desde siempre. Su confianza, su esfuerzo y motivación constante han sido clave para lograr esto.

A mis hermanas, Diana y Karina; por su cariño, apoyo y por siempre acompañarme en cada etapa de mi vida. Gracias por los momentos compartidos y por ser una parte importante para mí; las amo.

A mi hermano Edgar, por su apoyo, por su respaldo y por acompañarme durante esta etapa.

A todos y cada uno de los compañeros que se volvieron hermanos: **Jorge, Raúl, César, Luis Gerardo, Ricardo, Dania** que me hicieron sentir en casa, siempre los llevaré presentes.

A **Elías y Andrea;** quienes siempre estuvieron, por escucharme y motivarme, por las risas que nunca faltaron y por creer en mi incluso cuando yo dudaba.

A alguien muy especial, por su apoyo y comprensión durante todo este proceso. Gracias por estar presente, por las palabras de ánimo y por acompañarme en este camino.

A todas las personas que recorrieron este camino conmigo, forman parte de lo que hoy soy, este logro también les pertenece

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN	IX
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 Tomate	4
2.1.1 Producción mundial y nacional.....	5
2.1.2 Enfermedades del tomate.....	5
2.1.3 Plagas que atacan al tomate.....	6
2.1.4 Hospederos.....	6
2.2 <i>Bactericera cockerelli</i>	7
2.2.1 Daños.....	8
2.2.2 Biología.....	9
2.2.3 Ciclo de vida.....	9
2.2.5 Morfología.....	10
2.2.6 Huevecillos.....	11
2.2.7 Primer estadio.....	11
2.2.8 Segundo estadio.....	12
2.2.10 Tercer estadio.....	12
2.2.11 Cuarto estadio.....	12
2.2.12 Quinto estadio.....	13
2.3 Control	13
2.3.1 Control cultural.....	14
2.3.2 Control fisico-cultural.....	14
2.3.3 Control etológico.....	15
2.3.4 Control biológico.....	15
2.3.5 Control químico.....	16
2.3.6 Resistencia.....	17
2.3.7 Casos reportados de resistencia.....	18
2.4 Spirotetramat	19

2.4.1 Generalidades	19
2.5 Abamectina	20
2.5.1 Generalidades	20
2.6 Haarp	21
2.6.1 Generalidades	21
2.6.3 <i>Allium sativum</i>	22
2.6.4 <i>Azadirachta indica</i>	22
2.6.5 <i>Citrus aurantium</i>	23
2.6.6 <i>Origanum vulgare</i>	24
2.6.7 <i>Matricaria</i>	24
2.7 Nanotecnología	25
2.8 Carbono.....	26
2.8.1 Gráfico	26
2.8.2 Nanopartículas de gráfico.....	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Ubicación del experimento.....	29
3.2 Obtención y mantenimiento de colonias de insectos	29
3.3 Productos utilizados	29
3.4 Bioensayo	29
3.5 Análisis estadístico.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
V. CONCLUSIONES.....	41
VI. LITERATURA CITADA	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ciclo biológico de <i>B. cockerelli</i> en UC.....	10
Tabla 2. Evaluación de la mortalidad de ninfas de <i>B. cockerelli</i> a las 24 h post aplicación de Haarp combinado con nanopartículas de gráfite.....	32
Tabla 3. Mortalidad de ninfas de <i>B. cockerelli</i> a las 24 horas posteriores a la aplicación de Abamectina combinada con nanopartículas.....	34
Tabla 4. Evaluación de ninfas de <i>B. cockerelli</i> a las 24 h post aplicación de Spirotetramat en mezcla con nanopartículas de gráfite	35
Tabla 5. Mortalidad registrada a las 24 en ninfas de <i>B. cockerelli</i> tratadas únicamente con nanopartículas de gráfite	36
Tabla 6. Dosis letal media (CL ₅₀) de Haarp a las 24 h, en ninfas de <i>B. cockerelli</i> bajo distintas concentraciones de nanopartículas de gráfite.....	37
Tabla 7. Dosis letal media (CL ₅₀) de Spirotetramat a las 24 h, en ninfas de <i>B. cockerelli</i> tratadas con distintas concentraciones de nanopartículas de gráfite.	38
Tabla 8. Dosis letal media (CL ₅₀) de Abamectina a las 24 h, en ninfas de <i>B. cockerelli</i> bajo distintas concentraciones de nanopartículas de gráfite.....	39

RESUMEN

Bactericera cockerelli es una plaga que afecta de forma importante a los cultivos de Solanáceas en México. En los últimos años su presencia ha aumentado, lo que ha llevado al uso frecuente de insecticidas durante el desarrollo del cultivo generando resistencia, por lo que se ha buscado alternativas que permitan mejorar su eficiencia y reducir su uso. El objetivo de este estudio fue potencializar productos químicos y biorracionales para el control de ninfas de *B. cockerelli* mediante la adición de nanopartículas de grafito a través de ensayos *in vitro*. Se registró el efecto de los insecticidas abamectina, spirotetramat y haarp, solos y en combinación con nanografito. La CL₅₀ de haarp solo fue de 73.439 mg/L; sin embargo, al combinarse al 5 y 10 % con nanopartículas su CL₅₀ bajó a 2.07 mg/L y 2.28 mg/L respectivamente, con una RS de 35.47 y 32.20 en ese mismo orden. Spirotetramat y Abamectina al aplicarlos solos obtuvieron una CL₅₀ de 47.833 mg/L y 9.801 mg/L respectivamente, pero al combinarlos con el 10 % de nanopartículas de grafito, presentaron una CL₅₀ 10.487 mg/L y 5,919 mg/L respectivamente, mostrando una RS de 4.56 y 1.65 respectivamente. Las nanopartículas de grafito al 10 % aplicadas de manera individual obtuvieron una mortalidad de 53.57 %, indicándonos que el grafito posee actividad insecticida propia. La combinación de haarp con nanopartículas mostró mayor eficiencia en comparación de los ingredientes activos contra ninfas de *B. cockerelli*; debido a su origen biorracional, haarp puede ser una alternativa con menor residualidad en comparación con los insecticidas químicos.

Palabras clave: Nanopartículas, Manejo, Sinergia, Plaga, Psilido.

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia Solanaceae, es una planta anual, bianual que puede cultivarse con distintos métodos; debido a esta versatilidad es uno de los cultivos de mayor importancia y consumo a nivel mundial (López y Ramírez, 2017; Calero *et al.*, 2019).

En México la producción en el año 2024 fue de 4,418,130.5 t, dentro de los principales estados productores se encuentra Sinaloa con 615, 496.13 t, seguido de estados como Michoacán, Baja California Sur, Puebla y Morelos (FAO, 2024; SIAP, 2024).

Este cultivo es susceptible a numerosos agentes bióticos causantes de enfermedades que afectan tanto al tejido foliar como a frutos, se incluyen virus, bacterias, fitoplasmas, insectos, nematodos y hongos (Gómez *et al.*, 2022).

Dentro de las principales plagas que afectan el rendimiento del cultivo y del fruto se encuentran insectos de los órdenes *Lepidoptera*, *Hemiptera*, *Thysanoptera* y *Diptera* (Olivares *et al.*, 2017; Bajaña, 2022). *B. cockerelli* fue descrita en 1909 por Sulcen como una plaga que excreta mielecilla, propiciando la aparición de fumagina reduciendo la capacidad fotosintética de la planta (Rodríguez y Lomelí-Flores, 2021). Este psilido provoca síntomas de amarillamiento en la planta y actúa como vector de la bacteria *Candidatus liberibacter Solanacearum* (CLso) (Chávez *et al.*, 2021). Su desarrollo es óptimo a una temperatura de 27°C, el ciclo de vida se completa de tres a cinco semanas, con cinco estadios ninfales (Cabrera *et al.*, 2022).

Los adultos miden entre 2.8-3.2 mm de longitud y 0.6 mm de ancho en el metatórax, presentando una tonalidad negra con áreas blancas, mientras que las ninfas recién emergidas son de color verde claro (Castillo y Llumiquinga, 2021). Debido a su impacto, es necesario implementar un programa de manejo, que permita contribuir al control efectivo de la plaga (Pérez, 2019).

Una de las alternativas para el control de este insecto es el control químico, ya que presenta diferentes modos de acción como los neonicotinoides, avermectinas y piretroides (Abad y Robles, 2024). De igual manera, el uso de extractos botánicos resulta ser una alternativa con menor impacto ambiental, debido a sus propiedades repelentes y efecto insecticida (Roque-Enríquez *et al.*, 2024). La nanotecnología en el ámbito agrícola busca la formulación de ingredientes activos a escala nanométrica incrementando su eficiencia y disminuyendo el impacto ambiental (Torres *et al.*, 2016). Las nanopartículas de grafito son una alternativa para potencializar productos químicos y biorracionales debido a su conductividad eléctrica y resistencia, haciéndolo un material con alto potencial para múltiples aplicaciones tecnológicas (Flores-Arciniega *et al.*, 2021).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Potencializar productos químicos y biorracionales para el control de *B. cockerelli* mediante la adición de nanografito, evaluando su efecto en la estabilidad, biodisponibilidad y eficacia insecticida a través de bioensayos *in vitro*.

1.1.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de la potencialización con nanopartículas de grafito en los ingredientes activos químicos, mediante bioensayos en condiciones controladas.

Evaluar la potencialización de nanopartículas de grafito en la actividad insecticida de un extracto biorracional, mediante bioensayos *in vitro* sobre ninfas de *B. cockerelli*.

Determinar las concentraciones letales medias (CL₅₀) de los tratamientos evaluados y comparar su toxicidad relativa en el control de ninfas de *B. cockerelli*.

1.2 Hipótesis

La incorporación de nanografito a plaguicidas químicos y biorracionales mejorará su capacidad de control sobre *Bactericera cockerelli*, optimizando su efectividad al aumentar la penetración y estabilidad de los compuestos activos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de los cultivos de mayor importancia y consumo en el mundo (Calero *et al.*, 2019). Perteneciente a la familia Solanaceae es una planta herbácea, anual, bianual, puede cultivarse con distintos métodos, su cosecha es programada según su propósito de producción, para uso industrial o el consumo en fresco, siendo este último el más diverso en cuanto a producción, debido a su versatilidad puede mantener su producción todo el año (López y Ramírez, 2017).

Por otro lado, los frutos aportan vitaminas y minerales, el tomate destaca por su contenido de licopeno y carotenoides compuestos de naturaleza antioxidante, investigaciones recientes indican que su consumo contribuye a disminuir el riesgo de desarrollar distintos tipos de cáncer (González *et al.*, 2017).

Este cultivo se concentra en gran medida en las zonas áridas del noreste del país, donde la implementación de tecnologías agrícolas ha permitido una exitosa adaptación de estas regiones a la horticultura, entre los cuales sobresale el uso de estructuras de protección como invernaderos y malla sombra (Martínez-Ruiz *et al.*, 2016).

Dentro del territorio nacional, la región noreste tiene mayor importancia en la producción de alimentos, y está conformada por los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa y Sonora, con condiciones climáticas extremas, incluyendo precipitaciones anuales de entre 50 y 230 mm, temperaturas elevadas en los meses de verano que oscilan entre 38 y 50 °C (Martínez-Ruiz *et al.*, 2016).

2.1.1 Producción mundial y nacional

La producción mundial del tomate en el año 2024 fue de 188,498,383.94 toneladas aproximadamente según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024). En México, de acuerdo con cifras oficiales de la FAO, la producción de tomate *Solanum lycopersicum* en el año 2023 fue de 4,394,806.98 t, mientras que en el año 2024 la producción ascendió a 4,418,130.5 t, representando un incremento de 23,323.52 t, equivalente a un incremento aproximado de 0.53 % en comparación al año anterior (FAO, 2024).

En México los principales estados productores que destacan son Sinaloa con un volumen de 615, 496.13 t, seguido por San Luis Potosí con una producción de 434, 364.00 t, estados como Michoacán, Baja California Sur, Puebla y Morelos tienen valores de más de 169,000 t; Por su parte Sonora, Zacatecas, Jalisco y Oaxaca tiene producciones que rondan las 112,173.15 y 168,576.00 t (SIAP, 2024).

2.1.2 Enfermedades del tomate

El tomate es susceptible a numerosas enfermedades que afectan tanto al área foliar como los frutos causando reducción en la eficiencia fotosintética y deteriorando la calidad del fruto, estos problemas fitosanitarios son la mayor limitante en las zonas productoras del país generando pérdidas de rendimiento y económicas (García-García *et al.*, 2023). Estas reducciones están relacionadas por la presencia de microorganismos, destacando los fitopatógenos como uno de los principales agentes causales de enfermedades en el tomate (Martínez-Ruiz *et al.*, 2016).

Dentro de los principales agentes bióticos causantes de enfermedades en el cultivo se incluyen bacterias, virus, fitoplasmas, insectos, nematodos y hongos, entre los patógenos de mayor relevancia destacan *Botrytis cinerea*, *Alternaria dauci f. solana*, *Laveillula taurina*, *Phytophthora infestans*, *Pythium aphanidermantum*, *Fusarium*

Oxysporum y *Rizoctonia solani*, llegando a causar pérdidas de hasta el 60 %, ya que atacan a nivel flor y fruto (Gómez *et al.*, 2022).

2.1.3 Plagas que atacan al tomate

El término plaga agrícola se refiere a la población de una especie fitófaga que, por su presencia elevada, genera pérdidas en el rendimiento del cultivo o afecta su calidad (Zepeda-Jazo, 2018).

En hortalizas como el cultivo del tomate, existen diversos insectos que causan daños en distintas partes de la planta, las principales plagas corresponden a los órdenes *Lepidoptera*, *Hemiptera*, *Thysanoptera* y *Diptera* (Olivares *et al.*, 2017; Bajaña, 2022). Dentro de los insectos plaga de mayor importancia se encuentran la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius y *Trialeurodes vaporariorum* West) áfidos (*Myzus persicae* Sulzer y *Aphis gossypii* Glover), gusanos del fruto (*Helicoverpa zea* Boddie y *H. virescens* Fabricius) negrita del tomate (*Prodidiplosis longifila*) y psilidos (*B. cockerelli* Sulc), los cuales ocasionan daños severos y pueden llegar a afectar hasta el 100 % del cultivo (Jiménez y Balladares, 2019).

El impacto negativo de plagas y enfermedades en el cultivo del tomate a nivel mundial genera pérdidas relevantes lo que obliga a implementar medidas de control más eficientes (Armijo, 2024).

2.1.4 Hospederos

B. cockerelli (Sulc) es una plaga que afecta a plantas de la familia Solanaceae; no obstante, su rango de hospederos incluye una amplia variedad de cultivos y plantas arvenses, en las cuales se desarrolla adecuadamente, lo que provoca pérdidas económicas considerables en una amplia gama de cultivos particularmente en papa, tomate y pimiento (Tamayo-Mejía *et al.*, 2015).

Su amplio rango de hospedantes ataca múltiples cultivos de importancia agrícola entre los que destacan la papa (*Solanum tuberosum* L.) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pertenecientes a la familia Solanaceae y otras hortalizas (Díaz *et al.*, 2022). Este insecto polífago también suele alimentarse y atacar plantas ornamentales y especies silvestres (Trujillo García *et al.*, 2018).

2.2 *Bactericera cockerelli*

B. cockerelli también conocido como psílido de la papa, paratrioza, pulgón saltador, es un insecto plaga con importancia económica en distintos países, dañando cultivos hortícolas al causar daños fisiológicos y enfermedades (Jirón-Rojas *et al.*, 2016). En los años recientes, se ha convertido en una plaga de importancia primaria, debido a esto es habitual que se apliquen insecticidas durante el desarrollo del cultivo (Villanueva-Segura *et al.*, 2015).

Se han documentado en México tres enfermedades que afectan a solanáceas “permanente del tomate”, “zebra chip” en papa, y “brotes cloróticos del chile” que presentan sintomatología semejante como la caída floral y oscurecimiento del tejido vascular en tallos y raíces, estas afecciones se relacionan con la bacteria CLso con su vector el psílido *B. cockerelli* (Melgoza-Villagómez *et al.*, 2018). Su relevancia ha incrementado significativamente, su extenso rango de hospedantes y un alto potencial para transmitir patógenos (Díaz *et al.*, 2022).

El psílido del tomate, representa el principal problema fitosanitario de mayor impacto económico en el cultivo de la papa y otras solanáceas en los países que se ha reportado, ambos son considerados plagas cuarentenarias (Gamarra *et al.*, 2022).

Se trata de un insecto con comportamiento agresivo debido a los daños que provoca en diversos cultivos debido a su hábito de alimentación sobre la savia de las plantas, y a su papel como vector de diversos patógenos, por ello, es indispensable conocer las etapas de su ciclo etológico para prevenir daños severos en los cultivos (Jácome-Mogro *et al.*, 2022).

En México, *B. cockerelli* representa una plaga de importancia económica debido a los síntomas de amarillamiento que provoca en las plantas y es responsable de la transmisión de CLso; además se ha identificado variables genéticas de este insecto, las cuales influyen en su eficiencia como vector (Chávez *et al.*, 2021).

2.2.1 Daños

B. cockerelli, afecta de forma importante a los cultivos de solanáceas en México, generando pérdidas económicas significativas para los productores. El uso continuo de insecticidas químicos ha conducido a la resistencia del insecto haciendo más complejo su control con el paso de los años (Roque-Enriquez *et al.*, 2024).

Los daños que sufren las plantas se dividen en dos categorías, directos e indirectos:

Los daños directos ocasionados por *B. cockerelli* se produce cuando el insecto inserta su estilete y succiona la savia de la planta, inyectando toxinas fitotóxicas que dañan las células vegetales y afectan la producción de clorofila generando un aspecto amarillento y raquítico desarrollando la enfermedad conocida como “amarillamiento del psílido”, ocasionando pérdidas en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*), sufriendo daños económicos entre 50 % al 80 % asociadas a la presencia de síntomas (Jirón-Rojas *et al.*, 2016; Rivera-Martínez *et al.*, 2018).

El daño indirecto causado por este psílido es alarmante, ya que este insecto que funciona como vector de la bacteria CLso, ocasionando el permanente del tomate con consecuencias económicas severas en las regiones (Gamarra, 2022).

Las plantas afectadas presentan clorosis en los bordes y enrollamiento de las hojas inferiores; estos síntomas provocan pausa del crecimiento, secado y aborto de flores, y baja fructificación, también se observa achaparramiento, coloración púrpura en hojas inferiores y lesiones vasculares con moteado necrótico en los tejidos (Roque *et al.*, 2024). Las ninfas de *B. cockerelli* ocasionan daños fisiológicos mediante la inyección de toxinas durante su alimentación; en cultivos de tomate,

papa y chile la presencia de ninfas en hojas jóvenes antes de la floración puede causar la muerte de las plantas (Gamarra, 2019).

Se han registrado distintos parámetros biológicos de *B. cockerelli*, estos dependen de las prácticas de manejo, los tipos de hospederos y el entorno ambiental donde se desarrolla (Cerna-Chávez *et al.*, 2018).

2.2.2 Clasificación taxonómica

Fue descrita por primera vez en 1909 por Sulcen como plaga señalando que la saliva de las ninfas posee toxinas (Rodríguez-Leyva y Lomelí-Flores, 2021).

Reino: Animal

Phylum: Artrópoda

Clase: Insecta

Orden: Homóptera

Familia: Psyllidae, Chermidae

Género: *Bactericera* (Paratrioza)

Especie: *Cockerelli*

(Peralta, 2009).

2.2.3 Ciclo de vida

El desarrollo del psílido es óptimo a una temperatura cercana a los 27°C, su oviposición, eclosión y supervivencia disminuyen a 32°C, mientras que a 35 °C cesa

por completo; el ciclo de vida se completa de tres a cinco semanas, con generaciones que se superponen debido a la alta oviposición de las hembras (Cabrera *et al.*, 2022).

Los huevos miden aproximadamente 0.3 mm de longitud, son depositados individualmente en el envés de las hojas sobre un filamento de 0.2 mm. Su periodo de incubación varía de 3-7 días, con una tasa de supervivencia del 63 % aproximadamente; la capacidad de reproducción es muy alta, ya que una hembra puede llegar a ovopositar alrededor de 1,400 huevos durante su ciclo de vida, además de presentar hábitos migratorios y puede ser dispersado por vientos dominantes a otros cultivos además de solanáceas (Cerna-Chávez *et al.*, 2018).

2.2.4 Ciclo biológico de *B. cockerelli* en unidades calor (Vásquez y Villatoro, 2019).

Tabla 1. Ciclo biológico de *B. cockerelli* en UC

Estado biológico	Unidades calor (UC)
Huevecillo-primer instar	71.20
Primer-segundo instar	53.68
Segundo-tercer instar	47.68
Tercer -cuarto instar	54.40
Cuarto-quinto instar	47.92
Quinto-adulto	80.51
Total	355.81

2.2.5 Morfología

Los adultos de *B. cockerelli* miden entre 2.8 mm y 3.2 mm de longitud y 0.6 mm de ancho en el metatórax, los ejemplares recién emergidos son de color verde claro, mientras que los adultos son de tonalidad negra con áreas claras, el vertex presenta

un margen blanquecino, antenas largas con *rhinarium*. Las líneas blancas en la cabeza y el tórax son distintivas de la Paratrioza; Se observa una franja inicial en el abdomen, una más a lo largo del abdomen y una “V” invertida en su último segmento (Castillo y Llumiquinga 2021).

Después del periodo de incubación, las ninfas emergen de los huevos, constituyendo la fase intermedia entre el huevo y el adulto, el estadio del ciclo biológico dura aproximadamente 22 días, estas ninfas se localizan en el envés foliar, donde permanecen casi inmóviles y tienen apariencia de pequeñas conchas color amarillo o verde (Toledo, 2014). Ocasionalmente suelen encontrarse en el haz, la oviposición ocurre principalmente en el envés y márgenes de las hojas, pero en infestaciones severas también puede ovipositar en las flores (Gamarra, 2019).

Las ninfas suelen encontrarse cerca de los huevos adheridas a una misma zona de la hoja, en los estadios iniciales (I-III) presentan escasa movilidad mientras que en etapas posteriores se desplazan en busca de condiciones más favorables (Jácome-Mogro *et al.*, 2022).

2.2.6 Huevecillos

La localización de los huevos de *B. cockerelli* en la planta es variable, principalmente en los bordes foliares y en la parte inferior de las nervaduras, ocasionalmente se encuentran dispersos en las partes superiores de las plantas; estos presentan forma ovalada, con una coloración amarilla que evoluciona a anaranjado durante el desarrollo embrionario, el cual se extiende de 3-6 días; en la fase previa a la eclosión se observan los ojos rojos de las ninfas (Viera *et al.*, 2021).

2.2.7 Primer estadio

Durante este instar, presentan una tonalidad entre amarilla y anaranjada; antenas con segmentos basales gruesos que se afinan gradualmente hasta finalizar en un pequeño segmento con dos setas sensoriales, mientras que los ojos muestran tonalidades rojizas o anaranjadas; en esta etapa no se observan paquetes alares, la segmentación de patas y abdomen es poco visible (Correa *et al.*, 2019)

2.2.8 Segundo estadio

Presenta un cuerpo aplanando dorsoventralmente, con una clara diferenciación entre cabeza, tórax y abdomen; la cabeza con coloración amarillenta muestra antenas con segmentos basales cortos y segmentación poco definida, así como ojos de color anaranjado oscuro; el tórax es verde-amarillento, los paquetes alares comienzan a notarse y el abdomen se encuentra bien definido (Velázquez-Rodríguez *et al.*, 2023).

2.2.10 Tercer estadio

La diferenciación entre cabeza, tórax y abdomen es notable en este estadio, ojos muestran tonalidades rojizas; el tórax es verde-amarillento, los paquetes alares en el mesotórax y metatórax son evidentes, mientras que el abdomen es amarillo (Jiménez y Ramos, 2021).

2.2.11 Cuarto estadio

Cabeza y antenas no muestran modificaciones en comparación con el estadio anterior, tórax de color verde-amarillo y las patas presentan segmentación bien definida; los paquetes alares se encuentran bien definidos, su abdomen es de color

amarillo y los primeros segmentos abdominales presentan un par de espiráculos (Jacome-Mogro *et al.*, 2022).

2.2.12 Quinto estadio

En este estadio, el insecto mantiene el cuerpo aplanado dorsoventralmente, con diferenciación entre cabeza, tórax y abdomen, antenas más gruesas en la parte basal, ojos rojizos compuestos y predominantes; las ninfas adquieren una tonalidad verde intensa, también presentan alas anteriores con los ángulos humerales orientados hacia la parte anterior del cuerpo, además presentan un par de alas traslúcidas bien definidas (Pérez *et al.*, 2022).

En esta etapa del insecto se buscan estrategias que permitan el control de *B. cockerelli* sin impactar negativamente a los organismos benéficos, se han evaluado distintos productos bajo esquemas empíricos de prueba y error (Vega-Chávez *et al.*, 2020).

2.3 Control

Aunque no se han establecido umbrales económicos específicos para el tomate, investigaciones realizadas en variedades comerciales en California, indican que poblaciones de 18-50 ninfas por planta es suficiente para provocar los síntomas de “amarillamiento por psilidos”; sin embargo, la manifestación de daño también depende del tiempo de alimentación de las ninfas (Rojas, 2010).

Ante el resurgimiento de nuevas plagas en el cultivo del tomate, los productores han incrementado el uso indiscriminado de plaguicidas, sin embargo, se han promovido alternativas basadas en el uso de insecticidas de baja toxicidad priorizando minimizar los efectos negativos para el medio ambiente ocasionando efectos

adversos tanto en el ecosistema como en la salud humana (Zamora *et al.*, 2020; Vega-Chávez *et al.*,2020).

Por lo tanto, es necesario implementar un programa de manejo integrado que permita reducir estos efectos contribuyendo al control efectivo de la plaga; además de que el control químico representa un costo económico más elevado debido al uso generalizado de insecticidas (Rivera-Martínez *et al.*, 2018).

2.3.1 Control cultural

El monitoreo oportuno permite la detección temprana de ninfas y adultos de *B. cockerelli*; para llevar la vigilancia de sus poblaciones se usan las trampas adhesivas, redes de barrido e inspecciones visuales, de igual manera se recomienda la selección de variedades de tomate menos susceptibles al psilido, las plantas infectadas deben eliminarse para evitar la propagación de la enfermedad y promover la acción de depredadores y parasitoides (Perdomo, 2019).

La rotación de cultivos es una estrategia efectiva, para disminuir la incidencia de patógenos e insectos mediante la eliminación de su hospedero; de manera complementaria el uso de plantas repelentes representa otra alternativa por su capacidad para alejar insectos y organismos patógenos, contribuyendo a disminuir el riesgo de enfermedades y plagas en el cultivo del tomate (Zamora *et al.*, 2020).

2.3.2 Control físico-cultural

La instalación de mallas anti-insectos ayudan a disminuir la entrada de adultos de *B. cockerelli* al área de producción; de forma complementaria las trampas cromáticas amarillas permiten detectar oportunamente la presencia del psilido y contribuir a su control, es recomendable colocarlas en los accesos y al inicio de las

hileras, ajustándose a la altura del crecimiento apical del cultivo (Valeska *et al.*, 2014).

La trampa de barrido es un método útil para la captura de adultos del psílido antes y después del control químico; este método puede integrarse como parte del manejo integrado de plagas para evaluar la eficiencia de la aplicación, al permitir comparar las poblaciones de individuos muestreadas previa y posteriormente a la aplicación (Castresana *et al.*, 2019).

2.3.3 Control etológico

Este control se define como la utilización de métodos de manejo que usan las respuestas conductuales de los insectos como base de su represión, el comportamiento de los insectos comprende un conjunto de reacciones ante diversos estímulos; de manera práctica el control etológico incluye el uso de feromonas, atrayentes en trampas y cebos, repelentes, inhibidores de la alimentación y diversas sustancias con efectos similares (Cisneros, 2018).

Un correcto control etológico debe apoyarse con el uso de trampas cromáticas para insectos voladores, las trampas color azul son eficientes para control de trips y las amarillas se utilizan para la captura de mosca blanca, paratrioza y chicharritas; se establece como límite una densidad máxima de 25 trampas por hectárea y dimensiones no mayores a 0,25 m x 0,30 m ya que un exceso puede favorecer la atracción de plagas externas y evitar la captura masiva de insectos benéficos (Rivera-Martínez *et al.*, 2018).

2.3.4 Control biológico

Se han identificado diversos enemigos del psílido del tomate, principalmente insectos con hábitos predatorios, entre los que destacan la chinche damisela y la

chinche pirata, estos adquieren mayor importancia cuando coexisten con otros insectos fitófagos de los cuales también se alimentan favoreciendo el aumento de su población; por otro lado, las catarinas y larvas de crisopas contribuyen con menor impacto al control de *B. cockerelli* (Cranshaw, 2019).

Chrysoperla carnea, también conocida como crisopa verde es un eficaz depredador generalista, que se alimenta de una amplia gama de insectos de cuerpo blanco, como áfidos, trips y psilidos como paratrioza (Díaz, 2025).

Diversas bacterias han sido empleadas en el control de insectos plaga, las especies más utilizadas incluye, *B. sphaericus*, *B. popilliae*, *Lysinibacillus sphaericus*, *Paenibacillus* spp. y *Serratia entomophila*. *B. thuringiensis* bajo condiciones de estrés es capaz de producir una protoxina que al ser ingerida se activa en el intestino de ciertos insectos y provoca su muerte (Zelaya-Molina, 2022).

Es fundamental identificar los enemigos naturales nativos de *B. cockerelli*, como sus parasitoides específicos con el propósito de establecer sistemas de cría y emplearlos en programas de control biológico (Palma-Castillo *et al.*, 2022). La aplicación de agentes de control biológico ofrece una alternativa sustentable y efectiva orientada a la disminución del uso de agroquímicos en la producción agrícola (Hernández, 2021).

2.3.5 Control químico

Una de las alternativas para el control de *B. cockerelli* es el control químico debido a su acción inmediata, sin embargo, su efectividad depende de un uso adecuado para no generar contaminación ambiental y evitar riesgos asociados (Toledo-Perdomo y Rodas 2022).

Para el control de plagas los insecticidas presentan diferentes modos de acción, como los Neonicotinoides que afectan el sistema nervioso, las avermectinas y los piretroides que interfieren en el metabolismo del insecto; una correcta aplicación

incluye una adecuada selección de boquillas, el ajuste del pH del agua, la aplicación en horarios y el cumplimiento adecuado de las reglas del fabricante (Carrión, 2024).

En condiciones controladas, la abamectina, permetrina y lambda-cialotrina han demostrado una alta eficacia logrando eliminar el 95 % de ninfas de *B. cockerelli* a las 48 horas de su aplicación; sin embargo, el uso indiscriminado de insecticidas puede generar efectos negativos, entre ellos la resistencia de la plaga, la persistencia de residuos en el ambiente y el daño a organismos benéficos (Pilicita, 2020).

La baja efectividad del control químico puede atribuirse a una cobertura insuficiente durante la aplicación; en el caso de la paratiroza es esencial que el producto aplicado alcance el envés foliar, ya que en esta región se localiza el insecto (Toledo, 2021).

El uso excesivo de pesticidas, además de su costo, ha causado impactos negativos, en el suelo y en el medio ambiente, incluyendo plantas, animales y seres humanos, lo que ha impulsado la búsqueda de nuevas estrategias para la protección de cultivos implementando alternativas para el manejo de insectos plaga como el control biológico, insecticidas de origen botánico y productos químicos con menor impacto ambiental (Roque-Enríquez *et al.*, 2024).

El monitoreo constante de *B. cockerelli* en las distintas fases del cultivo nos permite tomar decisiones oportunas y es un factor clave para garantizar la efectividad de las intervenciones químicas (Racanroj *et al.*, 2024).

2.3.6 Resistencia

El desarrollo de resistencia a insecticidas responde a un proceso micro evolutivo que puede manifestarse en un número reducido de generaciones, como resultado las plagas se adaptan a los insecticidas, lo que se traduce en disminución o pérdida de la eficacia del control químico (Fuentes, 2021).

El control químico, principalmente insecticidas ha mostrado eficacia limitada debido al desarrollo de resistencia en el insecto, lo que reduce su efectividad a largo plazo, esta situación evidencia la necesidad de adoptar estrategias de manejo más sostenibles y ambientalmente amigables (Bautista, 2025).

En ciertas regiones de México, los cultivos de solanáceas pueden recibir en algunas ocasiones hasta 30 aplicaciones químicas a lo largo del ciclo, lo que incrementa costos de producción, riesgos a la salud y favorece a la resistencia de insecticidas, a pesar de los avances para el control de paratrypanosoma, el uso de control químico continuo siendo necesario para prevenir y proteger el cultivo, para disminuir las pérdidas al momento de la cosecha (Mayo-Hernández *et al.*, 2018).

2.3.7 Casos reportados de resistencia

En el manejo integrado de plagas, es importante identificar cambios iniciales en la susceptibilidad a los insecticidas en las poblaciones de campo, con el objetivo de reducir aplicaciones innecesarias extendiendo la eficacia de los insecticidas disponibles; la detección temprana permite aplicar medidas alternativas y sustenta los programas de control químico de una plaga determinada (García-Méndez *et al.*, 2016).

La presencia de múltiples compuestos con diferentes mecanismos de acción hace menos probable la aparición de resistencia en las plagas, problema que ha surgido con el uso prolongado de plaguicidas químicos, además, se plantea que este fenómeno ocurre de manera natural, como resultado entre la comunicación química entre plantas dañadas y saludables, constituyendo los principios de la alelopatía (Delgado-Oramas, 2020).

Diversas investigaciones han evaluado a *Solanum habrochaites* pariente silvestre del tomate, como alternativa para el control de *B. cockerelli*; los resultados indican que *S. habrochaites* presenta efecto repelente y tóxico en psilidos en comparación de *S. lycopersicum*; a pesar de mostrar una reducción en la transmisión del

patógeno, esta especie no logró prevenir completamente la infección, destacando el valor de los parientes silvestres como herramientas complementarias dentro de un programa de MIP (Bautista, 2025).

El control del psilido del tomate es controlado principalmente por agroquímicos; sin embargo, se han registrado se ha registrado casos de resistencia a diversos ingredientes activos entre ellos abamectina, endosulfán, cipermetrina, imidacloprid y profenofos (Villegas-Rodríguez *et al.*, 2017).

La aplicación repetida de insecticidas puede favorecer el desarrollo de resistencia en los insectos, por lo que se recomienda realizar la rotación de los productos considerando su grupo químico y modo de acción, es recomendable incorporar otras estrategias de manejo integrado, como control biológico y uso de productos biorracionales (Cuesta, 2018).

Con el fin de reducir el riesgo de resistencia se recomienda el uso adecuado de las dosis y respetar los intervalos de aplicación, así como rotación de insecticidas con distintos grupos químicos, modos de acción y mecanismos de detoxificación apoyándose de otras estrategias de control alternativas (Syngenta, 2024).

2.4 Spirotetramat

2.4.1 Generalidades

Pertenece al grupo 23 del IRAC (Insecticide Resistance Action Committee), cuyo modo de acción consiste en la inhibición de la acetil-CoA carboxilasa, enzima clave en el primer paso de la biosíntesis de lípidos, lo que conduce a la muerte del insecto; esta característica es propia de los derivados de los ácidos tetrónico y tetrámico (IRAC, 2026).

Se trata de un insecticida de aplicación foliar, lo que favorece una adecuada cobertura del producto y mejora el control del insecto plaga, particularmente en escenarios de alta infestación (Luna-Cruz *et al.*, 2020).

Además, presenta sistemicidad bidireccional, actuando eficazmente sobre los estados inmaduros de insectos chupadores, afectando su desarrollo y rompiendo su ciclo de vida, lo que se traduce en un control prolongado en diversos cultivos, entre ellos solanáceas y cucurbitáceas (Bayer, 2025).

Investigaciones recientes registran que Spirotetramat presenta efectos visibles sobre los huevecillos de *B. cockerelli* a las 24 horas de iniciar el bioensayo comenzando por el decaimiento del pedicelo, en los siguientes días los huevecillos mostraron decoloración, pérdida de turgencia y forma; a concentraciones de 1.0 y 2.0 mL/L el producto registró un efecto ovicida entre 16 y 30% al quinto y séptimo día (Mayo-Hernández *et al.*, 2018).

2.5 Abamectina

2.5.1 Generalidades

Forma parte del grupo 6 de acuerdo con el IRAC y actúa al activar alostéricamente los canales de cloruro regulados por glutamato (GluCl_s), provocando parálisis en los insectos, ya que el glutamato es un importante neurotransmisor inhibitor en estos organismos (IRAC, 2026).

Este compuesto se obtiene mediante un proceso de fermentación natural llevado a cabo por la bacteria *Streptomyces avermitilis*, lo que le confiere propiedades insecticidas específicas (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2021).

La abamectina actúa principalmente por ingestión y, en menor medida, por contacto; una vez aplicada, se transloca rápidamente dentro del tejido vegetal, favoreciendo la formación de un reservorio de sustancia activa que proporciona un efecto prolongado y reduce su eliminación por factores climáticos, como el lavado por lluvia o la degradación por la luz solar (Ibarra-Moguel *et al.*, 2025).

Además de su modo de acción neurotóxico, la abamectina presenta actividad antihelmíntica, insecticida y acaricida; en su uso agrícola presenta acción

translaminar lo que permite su desplazamiento a través del tejido foliar tratado, sin proporcionar protección a tejidos nuevos; su metabolismo ocurre principalmente por procesos de hidroxilación, su eliminación ocurre a través de heces y orina, factores que influyen en su permanencia y biodisponibilidad (Huerta-Pérez *et al.*, 2017).

La aplicación reiterada de insecticidas del grupo 6 avermectinas (abamectina) puede favorecer al incremento de individuos resistentes en poblaciones de insectos o ácaros, debido a que el desarrollo de resistencia no puede anticiparse, el empleo de abamectina debe realizarse conforme a los programas de manejo de resistencia vigentes en cada zona y cultivo (Syngenta, 2024).

2.6 Haarp

2.6.1 Generalidades

Producto compuesto de extractos botánicos de *Argemone mexicana*, *Allium sativum*, *Azadirachta indica*, *Citrus aurantium*, *Origanum vulgare* y *Matricaria chamomilla* con efecto insecticida y propiedades repelentes, actúa mediante la interferencia de las feromonas naturales, lo que provoca desorientación reproductiva, así como la inhibición de la alimentación y modificar el desarrollo normal de las ninfas de los trips (Culta, 2026). A continuación, se presentan las características de los extractos previamente mencionados:

2.6.2 *Argemone mexicana*

Dentro de los principales componentes químicos de *Argemone mexicana* que presentan actividad antifúngica destacan los alcaloides, terpenoides, flavonoides, fenoles, así como compuestos alifáticos de cadena larga y en menor proporción compuestos aromáticos, diversos estudios indican que los compuestos fenólicos

afectan tres estructuras celulares clave: la pared celular, la membrana celular y las mitocondrias (Soto *et al.*, 2022).

Se han identificado varios alcaloides en *A. mexicana* entre ellos la berberina, la protopina, la sanguinarina y la coptisina; la berberina ha demostrado tener efectos antimicrobianos, antiinflamatorios y antioxidantes, se debe considerar que este alcaloide junto con la sanguinarina resultan ser tóxicos en ciertas dosis (Elizondo-Luévano *et al.*, 2024).

2.6.3 *Allium sativum*

El ajo se caracteriza por su alto contenido de fósforo, silicio, azufre y otros oligoelementos (Groso *et al.*, 2014). De acuerdo con un estudio realizado, los metabolitos secundarios identificados en el extracto etanólico del bulbo de *a. sativum* fueron fenoles y/o taninos en mayor cantidad, mientras que en el zumo se detectó la presencia de fenoles, taninos y saponinas en cantidad abundante, y cardenólidos en escasa cantidad (Acosta *et al.*, 2024).

La alicina, presente en diferentes concentraciones ha mostrado un amplio espectro de actividad antibacteriana contra bacterias gram negativas y gram positivas, este efecto se le atribuye directamente a su reacción química con los grupos tiol de distintas enzimas (Ramírez-Concepción *et al.*, 2016).

2.6.4 *Azadirachta indica*

La azadiractina es el principal compuesto del neem, ya que entre el 70 y el 90% de la actividad biológica se le atribuye a esta sustancia; este metabolito se produce principalmente en el fruto debido a esto el aceite de las semillas constituye su principal fuente (Fernández *et al.*, 2016).

Diversas investigaciones han demostrado que los extractos de neem poseen metabolitos secundarios como la zadirachtina, triterpenoides y limonoides, los cuales poseen actividad fúngica y se obtienen a partir de semillas y hojas; se considera que la corteza contiene moléculas biológicamente activas, pero suelen presentarse en menores concentraciones en comparación con las hojas y semillas (Bravo-Ruíz, 2018).

Este compuesto es considerado uno de los insecticidas biológicos más reconocidos, ya que ejerce múltiples efectos sobre los insectos, entre los que destacan la inhibición de la ovoposición, desarrollo fisiológico, inhibición de la ecdisona, inhibición de la formación de quitina, la alteración de la comunicación sexual, y la inducción de la infertilidad de machos, así como efectos repelentes y antialimentarios (Rodríguez y Torres, 2021).

2.6.5 *Citrus aurantium*

La composición química de esta especie es Flavonoides heterosídicos amargos, presentes en hojas y frutos; otros flavonoides no amargos, alcaloides, aceites esenciales, pectinas, furocumarinas, aminoácidos, azúcares, vitaminas, minerales metálicos y proteínas (Núñez *et al.*, 2022).

Las flavononas, flavonas y flavonoles están presentes en los cítricos, particularmente en las naranjas; la naranja agria (*C. aurantium*) presenta actividad antioxidante, atribuida a compuestos fenólicos, vitaminas C y E y carotenoides (Ramírez *et al.*, 2022).

Las hojas de la naranja agria poseen un alto contenido de compuestos fenólicos, ya que existen reportes de flavonoides con una concentración de 4.89 ± 2.88 mg/mL en extractos etanólicos y de 4.29 ± 0.21 mg/mL en extractos metanólicos (Villareal-Ibarra *et al.*, 2023).

2.6.6 *Origanum vulgare*

De acuerdo con diversos estudios, se ha reportado que el extracto alcohólico de las hojas de orégano (*O. vulgare*) no presentó resinas, quinonas ni flavonoides; sin embargo se observó una menor presencia de triterpenos y esteroides, saponinas y aminoácidos libres; los tamizajes fitoquímicos permitieron detectar taninos pirocatecólicos en los extractos alcohólicos y acuosos, en este último se observa una alta presencia de alcaloides, mucílagos, carbohidratos reductores, con ausencia de saponinas (Salazar *et al.*, 2019).

Dentro de la lista de aceites esenciales del orégano, podemos encontrar fenoles y terpenos; el aceite esencial de *O. syriacum* ha demostrado tener actividad insecticida, debido a su alto contenido de carvacrol (61%) con una CL₅₀ de 37.6 mg/L, seguido del timol (21.8%) con una CL₅₀ de 36 mg/L frente a larvas de mosquito (Manríquez, 2017).

2.6.7 *Matricaria*

En la flor se han identificado más de 120 metabolitos secundarios, entre ellos están presentes 28 terpenoides, 36 flavonoides y 52 compuestos adicionales con potencial farmacológico; el α -bisabolol y los éteres cíclicos presentan actividad antimicrobiana; la umbeliferona es fungistática, mientras que el chamazuleno y el α -bisabolol actúan como antisépticos (Torres *et al.*, 2019).

Algunos de los componentes identificados en estudios realizados mediante cromatografía líquida de alta resolución y espectrometría de masas incluyen sesquiterpenos, 15-30% del aceite esencial, flavonoides 1-4% de material seco y 2-6% de compuestos fenólicos (Cano, 2025).

Investigaciones recientes en algunos animales demuestran que los aceites esenciales de *Matricaria chamomilla* L, presentan toxicidad aguda y dermatotoxicidad; registrando una dosis letal media mayor a 5g/kg de peso corporal por vía oral y

dérmica, en particular α -bisabolol y chamazuleno, presentan dosis letales medias de 14.85 g/kg y 10 g/kg, respectivamente (Franco, 2019).

2.7 Nanotecnología

La nanotecnología (NT) se fundamenta en la manipulación de materiales a escala nanométrica, cercana al nivel atómico, con el fin de desarrollar nuevas estructuras, artefactos y materiales; en este contexto, las nanopartículas se definen como partículas cuyas dimensiones oscilan entre 1 y 10 nm (Chávez-Lizárraga, 2018). Asimismo, la nanotecnología es considerada una ciencia interdisciplinaria, ya que integra áreas como la ingeniería, la biología, la química y la medicina, con el objetivo de aprovechar las propiedades fisicoquímicas de los materiales a escala nanométrica para una amplia variedad de aplicaciones (Staff, 2015).

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EPA) las nanopartículas se agrupan en cuatro tipos principales: materiales carbonosos, dendrímeros, nanopartículas compuestas y aquellas basadas en metales (Villarraga, 2016).

Las nanopartículas suelen ser de naturaleza metálica o corresponden a óxidos metálicos, y los fluidos bases más utilizados son agua, los aceites y el etilenglicol (Gómez-Garzón, 2018).

La nanotecnología presenta múltiples aplicaciones en la agricultura destacando principalmente la elaboración de nanopesticidas encapsulados para su liberación controlada, la formulación de macro y micronutrientes a escala nano, así como su implementación para aumentar la eficiencia y sustentabilidad del uso de agroquímicos (Lira, 2018).

Ha despertado interés en el ámbito agrícola como una estrategia innovadora para disminuir el empleo de agroquímicos y reducir el impacto ambiental que estos generan; debido a esto, busca la formulación de ingredientes activos a escala nanométrica, incrementando su eficiencia, mejorar su disponibilidad y reducir

pérdidas durante las aplicaciones, esta tecnología tiene la capacidad de modernizar los sistemas agroalimentarios, mejorar control de plagas y promover nuevas tecnologías orientadas a la protección ambiental (Torres *et al.*, 2016).

En este contexto, el naciente desarrollo de la nanotecnología aplicada en el sector agrícola promueve a los productores la optimización de recursos, aumento de la competitividad en mercados y la disminución del impacto negativo al medio ambiente (Salavarieta, 2015).

2.8 Carbono

El carbono puede presentarse en distintos alótropos, en función de su hibridación sp^2 o sp^3 ; el grafito, el grafeno, los nanotubos de carbono (CNTs) y los fullerenos presentan hibridación sp^2 mientras que el diamante se distingue por su hibridación sp^3 , este último y el grafito representan las formas cristalinas naturales del carbono puro (Villarraga, 2016).

Dentro de los materiales en agricultura se encuentran aquellos de origen natural y los sintetizados, destacando el uso de nanopartículas de plata (Ag), cobre (Cu), hierro (Fe), Magnesio (Mg), y Zinc (Zn) (Hernández *et al.*, 2024).

En los sistemas agrícolas modernos, las nanopartículas derivadas de carbono pueden ser dosificadas al suelo mediante fertirriego a través de sistemas de riego induciendo cambios fisiológicos y bioquímicos en las plantas, estas características posicionan a la nanotecnología como una alternativa para el desarrollo de nuevos productos para el control de plagas (Lira *et al.*, 2018).

2.8.1 Gráficoito

En enlace covalente C-C posee elevada resistencia cuya temperatura de fusión se sitúa alrededor de los 4300 °C; sin embargo, el gráficoito natural presenta variaciones significativas en el tamaño, forma y orientación de sus cristales, además contiene

impurezas, factores que condicionan sus propiedades y es necesario someterlo a procesos de purificación antes de cualquier uso (Franco y Vázquez, 2022). Se caracteriza por su color negro con brillo metálico, propiedades refractarias y posee una estructura que permite su fácil exfoliación (Menéndez y Blanco, 2016)

El grafito presenta un alto grado de anisotropía, y puede presentar defectos estructurales, entre ellos vacancias atómicas, fallas en el empaquetamiento cristalino e inserción de moléculas entre sus capas, estas particularidades son relevantes en diversas aplicaciones, tales como la resistencia mecánica, la conductividad eléctrica y el almacenamiento de energía; en determinadas ocasiones los defectos mejoran el desempeño de materiales basados en carbono (Borrell y Salvador, 2015).

Está constituido por átomos con hibridación sp^2 , lo que implica la formación de tres enlaces covalentes coplanares con ángulos de 120° ; originando una estructura hexagonal bidimensional, como resultado queda un orbital π perpendicular al plano que se encuentra deslocalizado, dichos orbitales son fundamentales para explicar el comportamiento eléctrico del grafito (Jerónimo *et al.*, 2019).

2.8.2 Nanopartículas de grafito

Las nanopartículas de grafito presentan tamaños menores a 100 nm y por su estructura compuesta por capas de átomos enlazadas, otorgándoles conductividad eléctrica y resistencia; debido a sus propiedades mecánicas eléctricas y térmicas, hacen del grafito un material con alto potencial para múltiples aplicaciones tecnológicas (Valdivia *et al.*, 2021).

De acuerdo con (Mittal *et al.*, 2017), la clasificación de las nanopartículas de grafito pueden establecerse con base a su tamaño:

- Nanopartículas esféricas de grafito: Poseen morfología esférica, tamaño entre 10 a 500 nm

- Nanopartículas laminares de grafito: Geometría plana, tamaños de 1 a 100 nm, alta conductividad eléctrica y térmica
- Nanopartículas de grafito funcionalizadas: Se incorporan grupos químicos en su superficie, permitiéndole mejorar compatibilidad con otros materiales
- Nanotúbulos de grafito: Estructuras cilíndricas huecas formadas por láminas de grafito, diámetro cercano a 1 nm y longitudes que alcanzan varios micrómetros.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El presente estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología, ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Saltillo, Coahuila, durante el año 2025.

3.2 Obtención y mantenimiento de colonias de insectos

El Laboratorio de Toxicología proporcionó las colonias iniciales del insecto *B. cockerelli*. Dichos ejemplares fueron mantenidos bajo condiciones de invernadero, dentro de jaulas individuales con marco de madera cubiertas con tela de organza, la colonia se mantuvo con plantas de tomate, a una temperatura de 25 ± 1 °C, de acuerdo con lo descrito por (Cerón-González *et al.*, 2014).

3.3 Productos utilizados

Se evaluaron dos insecticidas químicos, Spirotetramat y Abamectina, así como un producto compuesto de extractos botánicos (Haarp) más un testigo absoluto, Para cada uno de los tratamientos se establecieron seis concentraciones (3, 10, 100, 500, 1 000 y 2 000 ppm), las cuales fueron potencializadas mediante la adición de nanopartículas de grafito en proporciones de 1, 3, 5 y 10 %, con el fin de evaluar su efecto combinado y los productos solos.

3.4 Bioensayo

Para la realización del bioensayo se utilizaron hojas provenientes de plantas con ninfas mantenidas en invernadero, las cuales fueron recolectadas procurando que se encontraran en buen estado fisiológico.

El bioensayo se realizó de acuerdo con el método de prueba de susceptibilidad 002 del Comité de Acción contra la Resistencia a Insecticidas (IRAC, 2009). Las hojas se manipularon bajo un estereoscopio y se realizaron cortes con ayuda de un bisturí, con el objetivo de conservar la integridad del tejido vegetal y evitar la pérdida de ninfas durante el manejo. En cada hoja se registró una densidad promedio de 30 a 50 ninfas de *B. cockerelli*, correspondientes al tercero y quinto estadio ninfal, lo que reduce la mortalidad natural y permite una evaluación más confiable de los tratamientos aplicados. Para la aplicación de los tratamientos, cada hoja fue sumergida durante 5 segundos en la solución correspondiente, asegurando el contacto uniforme entre el tratamiento y el tejido foliar.

Posteriormente, las hojas tratadas se colocaron en cajas Petri que contenían papel absorbente, ya que este les permitió mantener las condiciones adecuadas de humedad evitando la desecación del tejido vegetal durante el periodo de evaluación, las cajas Petri se mantuvieron en laboratorio bajo condiciones controladas, evitando la exposición directa de luz y cambios bruscos de temperatura.

La evaluación de la mortalidad se realizó a las 24 horas posteriores a la aplicación de los tratamientos; se consideraron como ninfas muertas aquellas que presentaron signos visibles de deshidratación o ausencia total de movimiento al ser estimuladas suavemente con un pincel de cerdas finas.

La adición de diferentes proporciones nos permitió evaluar y determinar si la presencia de nanopartículas influye en la eficacia biológica de los tratamientos.

Cada tratamiento se estableció con tres repeticiones, con el propósito de minimizar la variabilidad experimental y aumentar la confiabilidad estadística de los datos obtenidos. También se incluyó un tratamiento testigo y tratamientos con nanopartículas de grafito de forma individual, con el fin de comparar el efecto propio de cada componente evaluado.

3.5 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se promediaron y se les realizó un análisis estadístico con comparación de medias TUKEY ($P=0.05$), utilizando el programa Statistical Analylis System (SAS). Para la estimación de la concentración letal (CL_{50}) se empleó el análisis estadístico Probit, es un método ampliamente utilizado en estudios de toxicología y bioensayos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de la mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* posteriores a las 24 horas de la aplicación de los tratamientos evidenció una respuesta dependiente tanto de la concentración del insecticida como del porcentaje de nanopartículas de gráfite incorporadas. En el caso de Haarp (Tabla 2), se observa un aumento progresivo de la mortalidad conforme incrementó la concentración del producto biorracional y el porcentaje de nanopartículas. En bajas concentraciones la incorporación de nanopartículas de gráfite indujo un incremento moderado respecto al tratamiento sin nanopartículas; sin embargo, el incremento fue más notable a partir de las 100 ppm, los niveles más altos se registraron a 2000 mg/L combinados con 5 % y 10 % de nanopartículas alcanzando 95.90 % y 97.01% de mortalidad respectivamente. De igual manera a 1000 mg/L con 10 % de nanopartículas se obtuvo 94.57 % de efectividad, lo que puede atribuirse a que el nanomaterial favorece a potencializar la acción del ingrediente activo, demostrando que puede lograrse niveles elevados de control sin necesidad de incrementar excesivamente la dosis del insecticida. Esto se traduce que la relación de sinergia entre las nanopartículas de grafito con insecticida orgánico mostró un efecto positivo.

Tabla 2. Evaluación de la mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* a las 24 h post aplicación de Haarp combinado con nanopartículas de gráfite

Concentración de insecticida (mg/L)	Haarp				
	Control	Nanopartículas de gráfite (%)			
		1	3	5	10
3	3.36	33.74	40.74	48.33	48.03
10	43.15	55.46	56.79	71.35	72.56
100	61.35	69.93	70.81	87.42	83.62
1000	74.25	87.70	90.21	93.49	94.57
2000	79.64	93.22	94.27	95.90	97.01

Son pocos los estudios acerca del producto Haarp; sin embargo, los efectos observados se pueden atribuir con la actividad biológica de los extractos presentes en su formulación.

Estudios realizados a nivel global, han documentado que el ajo es una alternativa eficaz debido a su rápida degradación y baja persistencia en el ambiente, sus lectinas interfieren con las propiedades intestinales de los insectos interfiriendo los procesos digestivos de estos, mientras que compuestos como la alicina y el disulfuro de dialilo inducen toxicidad al activar canales sensoriales, provocando estrés fisiológico que inciden en la mortalidad del insecto (Mollehuara y Paredes; 2025).

Belval *et al.*, (2024) demostraron que el extracto de *A. indica* tiene efecto letal contra *B. cockerelli* con 77.8 % de mortalidad a 80 mg/L⁻¹ contra ninfas y adultos. En un estudio realizado por Durán *et al.*, (2020) sobre larvas de primer instar de *Helicoverpa armigera* los aceites esenciales de *Citrus spp.* presentaron un alto porcentaje de mortalidad a las 48 h, este efecto se le atribuye al componente mayoritario, limoneno.

Perdomo y Pineda, (2017) determinaron que la Manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.) presenta altos porcentajes de repelencia y control de la mosca *Aleurotrachelus socialis* en el cultivo de yuca.

En el caso de Abamectina (Tabla 3), los resultados fueron más marcados. En dosis bajas (3 ppm), la combinación con nanopartículas no muestra resultados significativos; sin embargo, a partir de 1000 mg/L se observó una clara mejora en la eficacia conforme incrementó el porcentaje de gráfito. A 2000 mg/L, la mortalidad pasó de 86.19 % en el tratamiento sin nanopartículas, una mortalidad en la combinación del ingrediente activo más nanopartículas (al 1%) de 96.05 %, (al 3 %) 98.32 %, (al 5 %) 99.34 % y alcanzó el 100 % con el 10 %. Este resultado demuestra que existe una interacción positiva entre Abamectina y las nanopartículas, demostrando el efecto potencializador que nos permitió maximizar la mortalidad en un periodo relativamente corto (24 h).

Tabla 3. Mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* a las 24 horas posteriores a la aplicación de Abamectina combinada con nanopartículas

Concentración de insecticida (mg/L)	Abamectina				
	Control	Nanopartículas de gráfito (%)			
		1	3	5	10
3	36.92	8.23	18.15	8.96	18.1
10	58.58	23.64	23.25	41.18	86.0
100	61.34	64.62	24.62	57.40	88.8
1000	81.68	89.15	88.25	88.78	97.4
2000	86.19	96.05	98.32	99.34	100.0

El meta-análisis realizado por (Cabrera y Diaz, 2022) expone a la abamectina como un control efectivo para *B. cockerelli* ya que fue altamente selectivo y no causó disminución significativa de depredadores naturales, a diferencia de prefenofos e imidacloprid.

Pilicita (2020) documentó que Abamectina es eficiente en estados inmaduros, particularmente en huevos y ninfas; debido a su capacidad translaminar que le permite moverse dentro del tejido foliar; el uso recurrente de este ingrediente activo es estratégico ya que suele aplicarse únicamente al confirmarse la presencia de *B. cockerelli*, representando una opción para contribuir a la reducción de resistencia.

Chillagana (2024) realizó un estudio para el control de incidencia de ninfas de *B. cockerelli* en el que demostró que el método más efectivo fue una combinación de cuatro ingredientes activos: Imidacloprid, thiamethoxam, pyriproxifen y abamectina con un promedio de mortalidad del 45.88 %, en este mismo estudio se evaluó el impacto ambiental siendo abamectina el producto que causa menor daño al ambiente con tan solo 1.87 %. Chen *et al.*, (2022) evaluaron larvas del tercer estadio de gusano cogollero reportando la mortalidad de las combinaciones de grafeno más lambda-cialotrina presentaron una mortalidad del 61.85 % a una concentración de 100 µg/mL y para la combinación de grafeno más ciflutrina la tasa de mortalidad fue

de 45.08 % a una concentración de 150 µg/mL, la mortalidad registrada en la aplicación de los productos solos fue menor que las combinaciones.

Para Spirotetramat (Tabla 4), se registró un incremento en la mortalidad con la adición de nanopartículas, siendo la dosis de 2000 mg/L, la concentración evaluada más alta. El tratamiento con el producto solo mostró 89.35 % de mortalidad, mientras que al incorporarse las nanopartículas, los valores incrementaron hasta 96.22 %, 91.31 % en las combinación de 1 y 5 % respectivamente, mientras que para el tratamiento de 2000 ppm en combinación de 10 % de nanopartículas de grafito mostró una alta afectividad al controlar un 98.51 % la mortalidad de las ninfas de *B. cockerelli*, a pesar de que el comportamiento no fue completamente lineal en todos los niveles intermedios, la dinámica general confirma que la adición de nanopartículas de grafito mejora la eficiencia del insecticida.

Tabla 4. Evaluación de ninfas de *B. cockerelli* a las 24 h post aplicación de Spirotetramat en mezcla con nanopartículas de grafito.

Spirotetramat					
Concentración de insecticida (mg/L)	Nanopartículas de grafito (%)				
	Control	1	3	5	10
3	3.05	2.78	17.82	18.55	36.28
10	45.39	29.63	66.61	65.56	53.54
100	64.21	71.75	67.11	84.54	62.84
1000	82.00	83.39	72.57	86.70	88.43
2000	89.35	96.22	87.54	91.31	98.51

Mayo-Hernández *et al.*, (2018) reportó efecto ovicida de Spirotetramat a las 24 h de haber iniciado el bioensayo, durante el transcurso de los días de evaluación, los huevecillos mostraron decoloración, pérdida de forma y menor turgencia con aspecto acuoso; bajo concentraciones de 1.0 a 2.0 mL/L, spirotetramat logró un efecto ovicida de 16 % a 30 % sobre huevecillos de *B. cockerelli* al quinto y séptimo día de evaluación.

Sacatepéquez (2016) coincide que Spirotetramat muestra eficiencia en el control de huevos y ninfas de paratíroza, de igual manera menciona a Spiromesifen como una alternativa de control químico, ya que actúa por contacto sobre insectos y ninfas; además, presenta mayor seguridad para insectos benéficos, lo que permite integrarlos en programas de manejo de resistencia.

Por otro lado, las nanopartículas aplicadas de manera individual (Tabla 5) también mostraron un efecto de mortalidad sobre las ninfas. Las concentraciones de 1 %, 3 % y 5 % muestran mortalidades por debajo del 50 %, mientras que las nanopartículas de grafito al 10 % alcanzaron una mortalidad del 53.57 % sobre las ninfas de *B. cockerelli*, este resultado nos indica que el grafito posee actividad propia y no actúa solo como vehículo del insecticida, el incremento mostrado a mayor concentración podría estar relacionado con alteraciones en la integridad de la cutícula aumentando la susceptibilidad del insecto al ingrediente activo.

Tabla 5. Mortalidad registrada a las 24 en ninfas de *B. cockerelli* tratadas únicamente con nanopartículas de grafito

Nanopartículas de grafito sin producto	
%	% mortalidad
1	18.870
3	19.890
5	22.06
10	53.57

Estudios realizados por Roque-Enriquez *et al.*, (2025) en ninfas del psilido del tomate señalan a las nanopartículas de grafito tienen un potencial en aplicaciones biológicas debido a su versatilidad y a su capacidad para incrementar su eficiencia. Reportando una mortalidad en ninfas de *B. cockerelli* de 41.2 % al ser tratadas con 10 % de nanopartículas de grafito. Wang *et al.*, (2019a), reportaron una mortalidad de 3.33 % del barrenador asiático del maíz tratados con 25 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de óxido de grafeno.

Tabla 6. Dosis letal media (CL₅₀) de Haarp a las 24 h, en ninfas de *B. cockerelli* bajo distintas concentraciones de nanopartículas de gráfita.

Concentraciones de grafito	Haarp					
	CL ₅₀ (mg/L)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P- valor	RS
Control	73.439	0.363	3012	Y=-1.246 + 0.668	<0.0001	
1	10.406	5.548	17.291	Y=-0.623 + 0.613	<.0001	7.06
3	7.093	3.497	12.283	Y=-0.508 + 0.597	<.0001	10.35
5	2.075	0.788	4.105	Y=-0.193 + 0.609	<.0001	35.47
10	2.286	0.917	4.382	Y=- -0.226 + 0.630	<.0001	32.20

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

La CL₅₀ registrada para Haarp (Tabla 6) aplicado sin nanopartículas fue de 73.439 mg/L en ninfas de *B. cockerelli*; sin embargo, al combinarse con las nanopartículas de gráfita se observó una disminución considerable en los valores de las CL₅₀. La adición de nanopartículas al 5 % presentó el valor más bajo de CL₅₀ (2.075 mg/L), seguido del tratamiento con 10 % (2.286 mg/L); este comportamiento también se reflejó en la RS, donde estos tratamientos presentaron los valores más altos (35.47 y 32.20). Uribe *et al.*, (2024) reportaron una CL₅₀ de 306.75 ppm en la combinación de Haarp más nanopartículas de silicio en *Tribolium castenum*, mientras que en el insecto *Sitophilus zeamais* Haarp más nanopartículas de silicio mostró una CL₅₀ de 80.75 ppm; por su parte *Rhyzopertha dominica* tratado con Haarp adicionado con nanopartículas de silicio mostró una CL₅₀ de 401.13 ppm.

Tabla 7. Dosis letal media (CL₅₀) de Spirotetramat a las 24 h, en ninfas de *B. cockerelli* tratadas con distintas concentraciones de nanopartículas de grafito.

Spirotetramat						
Concentraciones de grafito	CL ₅₀ (mg/L)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P- valor	RS
Control	47.833	1.512	471.987	Y= -1.359 + 0.809	<.0001	
1	50.834	9.426	213.037	Y= -1.758 + 1.030	<.0001	0.94
3	20.190	-	-	Y= -0.642 + 0.492	<.0001	2.36
5	11.385	0.626	46.271	Y= -0.700 + 0.663	<.0001	4.20
10	10.487	1.008	128.0143	Y= -0.696+ 0.682	<.0001	4.56

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

La CL₅₀ registrada para Spirotetramat (Tabla 7) aplicado sin nanopartículas fue de 47.833 mg/L en ninfas de *B. cockerelli*; sin embargo, al combinarse con nanopartículas disminuyeron los valores de CL₅₀, lo que indica un incremento en la toxicidad del insecticida. La adición de 3 % redujo la CL₅₀ a 20.190 mg/L, mientras que las concentraciones de 5 y 10 % presentaron valores más bajos (11.385 y 10.487 mg/L) respectivamente. Este comportamiento también se reflejó en la RS donde los tratamientos de 5 y 10 % mostraron los valores más altos (4.20 y 4.56), indicando un efecto sinérgico entre el spirotetramat y las nanopartículas de grafito; estos resultados coinciden con lo reportado por Figueroa y Cerna (2018) en donde Spirotetramat registró la CL₅₀ más baja, con un valor de 109.78 mg/L lo que indica una mayor actividad insecticida para el control del psilido del tomate. De manera similar Mayo-Hernández *et al.*, (2018) reportan este insecticida presenta efecto sobre huevecillos del *B. cockerelli* a concentraciones de 1.0 – 2.0 mL/L lo que confirma su eficiencia en el control de la plaga. Batool *et al.*, (2020), utilizaron puntos cuánticos de grafeno como nanotransportadores cargados con cisteína proteasa como insecticida en granos almacenados contra *Tribolium casteanum* y *Rhyzopherta dominica*, reportando el valor de CL₅₀ de 0.759 mg/L y de 0.771 mg/L respectivamente.

Tabla 8. Dosis letal media (CL₅₀) de Abamectina a las 24 h, en ninfas de *B. cockerelli* bajo distintas concentraciones de nanopartículas de grafito.

Concentraciones de grafito	Abamectina					
	CL ₅₀ (mg/L)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
Control	9.801	3.909	19.279	Y= -0.441 + 0.445	<.0001	
1	102.340	7.462	1851	Y= -2.046 + 1.017	<.0001	0.09
3	39.595	28.409	54.58890	Y= -1.542 + 0.965	<.0001	0.24
5	37.743	6.899	155.608	Y= -1.531 + 0.971	<.0001	0.25
10	5.919	-	-	Y= -0.872 + 1.1303	<.0001	1.65

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

La CL₅₀ registrada para el producto solo de abamectina (Tabla 8) fue de 9.801 mg/L en ninfas de *B. cockerelli*; sin embargo, al combinarse con nanopartículas no se observó reducción significativa en los valores de las CL₅₀. Las concentraciones de 1, 3 y 5 % tuvieron valores de CL₅₀ de 102.340, 39.595 y 37.743 mg/L respectivamente, esto se vio reflejado en su RS donde presentaron valores menores a 1 (0.09, 0.24, 0.25) en ese mismo orden, lo que indica que en este tratamiento no se incrementó la toxicidad del insecticida

Por otra parte, la concentración de 10 % mostró una reducción en la CL₅₀ (5.919 mg/L) y un valor de RS de 1.65, indicando ligeramente un efecto sinérgico. Este resultado indica que, a diferencia de los demás insecticidas evaluados en esta investigación, la adición de nanopartículas de grafito no incrementó significativamente la eficiencia de abamectina contra ninfas de *B. cockerelli* mostrando sinergia solamente en la concentración más alta del nanomaterial.

Figueroa y Cerna (2018) evaluaron la potencialización de extractos orgánicos en combinación con plaguicidas sintéticos en ninfas de tercer y cuarto estadio de *B. cockerelli* bajo condiciones de laboratorio; en su estudio, la combinación del extracto de canela con abamectina mostró la CL₅₀ más alta de 6.901 ppm, lo que sugiere

que la combinación con compuestos naturales puede modificar la respuesta toxicológica de los insecticidas. Wang *et al.*, (2019a) evaluaron la actividad sinergista del óxido de grafeno en combinación con el insecticida imidacloprid contra el insecto barrenador asiático del maíz, reportando una CL_{50} de $2.32 \mu\text{g mL}^{-1}$ exhibiendo una toxicidad de contacto de 1.83 veces, mejorando la actividad insecticida del imidacloprid en comparación cuando fue evaluado solo.

V. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la adición de nanopartículas de grafito puede modificar la actividad insecticida de los productos evaluados contra ninfas de *B. cockerelli*, en general, se observó incremento en la mortalidad al incrementarse la concentración de los tratamientos y el porcentaje del nanomaterial, esto podría indicar que el grafito potencializa la acción de los ingredientes activos. El producto biorracional Haarp presentó la mayor potencialización al combinarse con las nanopartículas de grafito, indicando una menor CL₅₀ y una mayor mortalidad en las ninfas evaluadas, lo anterior sugiere un efecto sinérgico, destacándolo como el tratamiento más eficiente para el control de ninfas de *B. cockerelli*. En cuanto al control químico, Spirotetramat mostró una mejora al combinarse con nanopartículas de grafito, evidenciada por la disminución de la CL₅₀ y el incremento de la mortalidad. Por lo contrario, Abamectina no mostró una potencialización consistente con la adición de nanopartículas, mostrando efecto sinérgico únicamente en la concentración más alta del nanomaterial.

VI. LITERATURA CITADA

- Acosta Julio, M., Guerrero Franco, J., Meza Castellar, P., y Bossa, L. (2024). Evaluación del extracto de ajo como inhibidor de corrosión del acero al carbono en medio ácido. *Revista Ing-Nova*, 3(2), 109–122. <https://doi.org/10.32997/rin-2024-4944>
- Armijo Rodríguez, S. E. (2024). *Manejo integrado de Tuta absoluta Meyrick en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum Miller)*.
- Badii, M., Landeros, J., y Cerda, E. (2015). Manejo sustentable de plagas o manejo integral de plagas: Un apoyo al desarrollo sustentable. *Cultura Científica y*

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/423>

- Batool, M., Hussain, D., Akrem, A., Najam-ul-Haq, M., Saeed, S., Zaka, S. M., ... & Saeed, Q. (2020). Graphene quantum dots as cysteine protease nanocarriers against stored grain insect pests. *Scientific reports*, 10(1), 3444. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60432-5>.
- Bautista, J. M. A. (2025). El análisis de resistencia a *Bactericera cockerelli* en germoplasma de papa: Un enfoque sostenible. *innovation & development in engineering and applied sciences*, 7(2), 15-15. <https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1240>
- Bautista, J. M. A., Herrera, I., y Cuesta, X. (2025). El análisis de resistencia a *Bactericera cockerelli* en germoplasma de papa: un enfoque sostenible. *Innovation & Development in Engineering and Applied Sciences*, 7(2), 15. <https://doi.org/10.53358/ideas.v7i2.1240>
- Bayer. (s. f.). *Movento*. <https://www.micultivo.bayer.com.mx/es-mx/productos/product-details.html/insecticides/movento.html>
- Belval, J., Jarquín-Enríquez, L., Cabrera-Hidalgo, A. D. J., Flores-Martínez, N. L., Gómez-Patiño, M. B., Mendieta-Moctezuma, A., y Ibarra-Torres, P. (2024). In vitro bioinsecticidal effect of plant extracts on *Bactericera cockerelli* and *Bemisia tabaci*: Efecto bioinsecticida *in vitro* de extractos vegetales sobre *Bactericera cockerelli* y *Bemisia tabaci*. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2024.10.040>
- Borrell Tomás, M. A., y Salvador Moya, M. (2015). *Materiales de carbono: Del grafito al grafeno*. Editorial Universitat Politècnica de València
- Bravo-Ruíz, O. (2018). Extractos de *Azadirachta indica* con potencial fungicida sobre *Myrothecium roridum*. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina*, 50-50.

- Calero, A., Quintero, E., Pérez, Y., Olivera, D., Peña, K., Castro, I., y Jiménez, J. (2019). Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1), 67-78. <https://doi.org/10.22267/rcia.193601.99>
- Campos, M. A. R. (2018). El uso de pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. *Revista Enfermería la Vanguardia*, 6(2), 40-47.
- Cano, K. B. M., y Grijalva, C. G. R. (2025). Efecto de la incorporación de *Matricaria chamomilla* L. como promotor de crecimiento natural en la producción avícola de codornices (*Coturnix coturnix japónica*). *asce magazine*, 4(4), 3022-3045. <https://doi.org/10.70577/asce.v4i4.560>
- Carranza-Patiño, M., Contreras-Mora, M., Macias-León, M., Pincay-Pin, P., Rendón-Margallón, E., y Robinson, H. F. (2023). Uso de los pesticidas y su efecto en el cultivo de *Zea mays*: Una revisión de la literatura. *Código Científico Revista de Investigación*, 4(E2), 1258-1286.
- Castillo, C., y Llumiquinga, P. (2021). *Manual para reconocer e identificar al psílido de la papa (Bactericera cockerelli Šulc) en campo y laboratorio* (Manual No. 116). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5781>
- Castresana, J., Rosenbaum, J., y Gagliano, E. (2019). Transición del manejo de plagas convencional hacia el agroecológico mediante la transferencia de técnicas de control integrado de plagas en tomate bajo cubierta en Concordia-Provincia de Entre Ríos, Argentina. *Idesia (Arica)*, 37(3), 17–27. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300017>
- Cerna-Chávez, E., Hernández-Bautista, O., Ochoa-Fuentes, Y. M., Landeros-Flores, J., Aguirre-Urbe, L. A., y Hernández-Juárez, A. (2018). Morfometría de inmaduros y tablas de vida de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) de poblaciones del noreste de México. *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 53-60. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6543>

- Chávez-Lizárraga, G. A. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, ventajas y desventajas. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 52-61.
- Chávez, E. C., Beache, M. B., Fuentes, Y. M. O., Bautista, O. H., y Ortiz, J. C. D. (2021). *Bactericera cockerelli* vector de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, morfometría y haplotipos en poblaciones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (26), 81–94. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2939>
- Chen, Z., Zhao, J., Liu, Z., Bai, X., Li, W., Guan, Z., ... & Zhu, H. (2022). Graphene-Delivered Insecticides against Cotton Bollworm. *Nanomaterials*, 12(16), 2731. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano1216273>.
- Chillagana Aguaysa, B. G. (2024). Evaluación de tres métodos agroquímicos para el control de *Bactericera cockerelli* en los diferentes estados de la papa (*Solanum tuberosum*), variedad súper chola, en la provincia de Cotopaxi, cantón Salcedo, parroquia de Cusubamba, comunidad de Carrillos [Trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Cisneros, F. H. (2018). *Control de plagas agrícolas* (2.ª ed.). Avocado Source. http://www.avocadosource.com/books/cisnerosfausto1995/cpa_toc.htm
- Correa, Y., Gamarra, H., y Kreuze, J. F. (2023). *Identificación morfológica y molecular del psílido de la papa Bactericera cockerelli*. Procedimientos operativos estándar (SOP). International Potato Center. <https://doi.org/10.4160/cip.2024.12.020>
- Cranshaw, W. S. (2019). *Psílicos de la papa o el tomate*. Colorado State University Extension.
- Cuesta, X. (2021). *Guía de manejo de la punta morada de la papa*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- CULTA. (s.f.). *Haarp*. <https://culta.com.mx/product/haarp/>

- Delgadillo Ruíz, L., Bañuelos Valenzuela, R., Delgadillo Ruíz, O., Silva Vega, M., y Gallegos Flores, P. (2017). Composición química y efecto antibacteriano in vitro de extractos de *Larrea tridentata*, *Origanum vulgare*, *Artemisia ludoviciana* y *Ruta graveolens*. *Nova Scientia*, 9(19), 273–290. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1019>
- Delgado-Oramas, B. P., Marquetti, I. G., Hernández, M. G. R., y Pérez, O. P. (2020). La resistencia inducida por productos derivados de plantas: alternativa para el manejo de plagas agrícolas. *Revista de Protección Vegetal*, 35(3). <https://www.censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1105>
- Díaz, A. E., Ortega, M. C., Igua, E. P., y Arguelles, J. H. (2025). Estrategia de control biológico de *Bactericera cockerelli* con *Chrysoperla carnea* en Colombia. En *Libro de memorias* (p. 186).
- Durán Aguirre, C. E., Pratissoli, D., Carvalho, J. R. D., Pacheco Damascena, A., Araujo Júnior, L. M. D., y Bolsoni Zago, H. (2020). Actividad insecticida de aceites esenciales sobre *Helicoverpa armígera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Idesia (Arica)*, 38(4), 59–64.
- Enriquez, A. R., Beltrán Beache, M., Ochoa Fuentes, Y. M., y Delgado Ortiz, J. C. (2024). Parámetros poblacionales de *Bactericera cockerelli* en plantas de tomate tratadas con menadiona. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(4), e3349. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i4.3349>
- Fernández Da Silva, R., Villarroel, A., Cuamo, L., y Storaci, V. (2016). Evaluación de un sistema de regeneración por embriogénesis somática de neem (*Azadirachta indica*). *Acta Biológica Colombiana*, 21(3), 581–592. <https://doi.org/10.15446/abc.v21n3.52626>
- Figueroa Argueta, V. A., y Cerna Chávez, E. (2018). Uso de insecticidas botánicos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli* Sulc.) (Hemiptera: Psilidae) [Trabajo de investigación, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/43344>

- Franco, H. E. C., de Vega, D. S. U., y Vásquez, S. N. (2022). *Escorias básicas de siderúrgica: Potencial de uso como material de encalado en agricultura* (Vol. 178). Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Franco, J. D. J. B. (2019). *Obtención de híbridos de metabolitos secundarios fluorescentes de Matricaria chamomilla L. (manzanilla) con interés en optoelectrónica* [Tesis de Doctorado, Centro Universitario de los Lagos].
- Fuentes-Contreras, E. (2021). Resistencia a insecticidas en el manejo de plagas: desde los genes hasta las poblaciones. En *Centro de Ecología Molecular y Funcional en Agroecosistemas (CEMF)* (pp. 5-15). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca.
- Gamarra Yanez, H. (2019, abril). *Insectos que afectan el follaje de la papa* [Presentación]. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Gamarra, H. (2019). *Modelo fenológico de Bactericera cockerelli para evaluar el riesgo de su propagación utilizando la herramienta "Insect Life Cycle Modelling" (ILCYM)*. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Gamarra, H., Correa, Y., Carhuapoma, P., Huaman, E., y Kreuze, J. F. (2022). *Reporte sobre colecta de Bactericera cockerelli en Huancabamba-Piura, Perú*. Centro Internacional de la Papa. <https://doi.org/10.4160/cip.2024.12.020>
- García-García, M. C., de Cara García, M., Martínez-García, B. C., Janssen, D., Ruiz, L., y Marín-Rodríguez, J. (2023, June). Genes de resistencia para reducir el impacto de las enfermedades de origen edáfico en cultivares de tomate en la EU. En *X International Symposium on Soil and Substrate Disinfestation (Acta Horticulturae, 1410, pp. 155–162)*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1410.22>
- García-Méndez, V. H., Ortega-Arenas, L. D., Villanueva-Jiménez, J. A., y Sánchez-Arroyo, H. (2016). Susceptibilidad de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) a insecticidas en Veracruz, México. *Agrociencia*, 50(3), 355-365.

- Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2), 75–80. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.v27.n2.2018.191>
- Gómez, A. L. S., Hernández, E. O., Ahumada, C. A. E., Herrera, R. R., Martínez, M. T. D. J. S., Ramírez, E. N., y Drouaillet, B. E. (2022). Principales enfermedades del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de campo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4190-4210. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1793
- González, L. G., Paz, I., Martínez, B., Jiménez, M. C., Torres, J. A., y Falcón, A. (2017). Respuesta agronómica del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) var. HA 3019 a la aplicación de quitosana. *UTCiencia: Ciencia y Tecnología al Servicio del Pueblo*, 2(2), 55-60.
- Grosso, L., Salusso, F., Ramos, D., Crespi, R., y Pugliese, M. (2014). *Respuesta de un cultivo de ajo regado con efluentes urbanos tratados, aplicación de biosólidos y fertilización líquida.*
- Hernández-Trejo, A., Estrada-Drouaillet, B., Rodríguez-Herrera, R., García-Giron, J. M., Patiño-Arellano, S. A., y Osorio-Hernández, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 803-813. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>
- Hernández, C., López, L., y Sánchez, L. (2021). Agentes de control biológico de la roya del café: ¿Cómo funcionan y qué tan efectivos son? *Biotecnología*, 25(1), 21–30.
- Huerta-Pérez, J., Solís-Aguilar, J. F., Tejeda-Reyes, M. A., Ramírez-Alarcón, S., Luna-García, J., Alonso-Hernández, L., y Díaz-Nájera, J. F. (2017). Efectividad de acaricidas para el control de araña roja en rosa en Chiautzingo, Puebla. *Entomología Mexicana*, 4, 358–362.

- Ibarra-Moguel, A., y Garruña-Hernández, R. (2025). Efecto de aceites orgánicos sobre ácaros y fotosíntesis en papaya. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 29(Especial), 65. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.25.29.41>
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). (s. f.). *Classification-Online: Mode of action*. <https://irac-online.org/mode-of-action/classification-online/>
- Insecticide Resistance Action Committee. (2009). *Método de prueba de susceptibilidad 002: Psylla spp. – All stages*. <https://irac-online.org/methods/psylla-spp-all-stages/>
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2014). *Experiencia de manejo integrado*. Boletín INIA N.º 293.
- Jácome-Mogro, E. J., Auz-Carvajal, D., Marín-Quevedo, K., Mogro-Cepeda, Y., y Jiménez-Jácome, C. (2022). Ciclo biológico de *Bactericera cockerelli*, vector de la enfermedad de punta morada (*Candidatus Liberibacter*) en solanáceas, en los Andes centrales ecuatorianos. *Revista Investigación Agraria*, 4(1), 26-37. <https://doi.org/10.47840/ReInA.4.1.1386>
- Jerónimo, G. F., Salazar, C. A. G., González, V. A. G., y Salas, T. E. G. (2019). Química verde en la síntesis de rGO partiendo de la exfoliación electroquímica del grafito. *Ingenierías*, 22(83), 55.
- Jiménez-Martínez, E., y Ramos Andino, R. (2021). *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) causante de punta morada (*Candidatus liberibacter solanacearum*) en papa (*Solanum tuberosum* L.) en Estelí, Nicaragua. *La Calera*, 21(36), 36–41. <https://doi.org/10.5377/calera.v21i36.11832>
- Jiménez-Martínez, E., y Balladares, J. B. (2019). Aplicaciones alternas de insecticidas químicos y botánicos para el manejo de mosca blanca (*Bemisia tabaci*, Gennadius) y Geminivirus en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Tisma, Nicaragua. *La Calera*, 19(32), 33–40. Recuperado de <https://www.camjol.info/index.php/CALERA/article/view/8438>

- Jirón-Rojas, R. L., Nava-Camberos, U., García-Hernández, J. L., Ávila-Rodríguez, V., y Gallegos-Robles, M. A. (2016). Densities of *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) and its natural enemies in tomato under greenhouse conditions. *Southwestern Entomologist*, 41(2), 433-444. <https://doi.org/10.3958/059.041.0215>
- Lira Saldívar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L., y Vera Reyes, I. (2018). *Potencial de la nanotecnología en la agricultura*. *Acta Universitaria*, 28(2), 9–24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>
- López Marín, L. M., y Ramírez Cartín, L. (2017). *Manual técnico del cultivo del tomate Solanum lycopersicum*. Universidad Nacional de Costa Rica; Alianza de Servicios de Información Agropecuaria (SIDALC). <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-iica-11324-3143/Description>
- Luna-Cruz, A., Vanegas-Rico, J. M., Rodríguez-Leyva, E., y Lomelí-Flores, J. R. (2020). Susceptibilidad de *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) a insecticidas en invernadero. *Madera y Bosques*, 26(2), e2621835. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621835>
- Manrique, D. (2017). *Efecto de la radiación UV-B en la composición química y actividad antioxidante de extractos de orégano (Origanum vulgare L.)* [Proyecto de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17982>
- Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C. E., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez, C. L. D. T., y Rueda-Puente, E. O. (2016). Hongos fitopatógenos asociados al tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en la zona árida del noroeste de México: La importancia de su diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18), 232-255. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p232>
- Mayo-Hernández, J., Flores-Olivas, A., Valenzuela-Soto, J. H., Rodríguez-Pagaza, Y., Vega-Chávez, J. L., Daniel, F., y Hernández-Castillo, R. R. (2015).

- Parasitismo de *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae) sobre *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) en tomate. *Entomología Mexicana*, 2, 403-408.
- Mayo-Hernández, J., Molina-Padilla, J., Corrales-Reynaga, J., García-Martínez, O., y Terrazas-Portillo, J. C. (2018, junio). Efecto ovicida de spirotetramat y flupyradifurone en *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae). En *Memorias I Congreso Nacional de Entomología Aplicada* (pp. 132-136). Academia Mexicana de Entomología Aplicada.
- Medina, M. T. Á., Flores, K. F., y Amezaga, R. W. (2019). Estado de Sonora, México
- Melgoza Villagómez, C. M., León Sicairos, C. D. R., López Valenzuela, J. Á., Hernández Espinal, L. A., Velarde Félix, S., y Garzón Tiznado, J. A. (2018). Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Bactericera cockerelli* Sulc asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 499-509.
- Mena-Mociño, L. V., Martínez-Castillo, A. M., Pineda-Guillermo, S., Escalante-Jiménez, A. L., Gómez-Ramos, B., y Figueroa-De la Rosa, J. I. (2015). Preferencia de depredación de *Engytatus varians* (Hemiptera: Miridae) sobre el psílido del tomate, *Bactericera cockerelli* (Sulc.). *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología (nueva serie), Número especial 1*, 42–46.
- Menéndez, R., y Blanco, C. (2016). *El grafeno*. Los Libros de la Catarata.
- Mittal, G., Mishra, S., y Mishra, A. (2017). Graphene and graphene oxide-based nanocomposites: A review on synthesis, characterization, and applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(20)
- Molina-Padilla, J., Corrales-Reynaga, J. A., García-Martínez, O. C., y Terrazas-Portillo, J. C. (2017). Evaluación del efecto ovicida de spirotetramat y flupyradifurone en *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). En *Memorias del I Congreso Nacional de Entomología Aplicada* (pp. 132–136). Academia Mexicana de Entomología Aplicada.

- Mollehuara, E. A. R., y Paredes, M. E. A. (2025). Control de *Premnotrypes* spp. con aceite de *Allium sativum* en el cultivo de *Solanum tuberosum*, Jauja, Junín. *RevIA*, 15(19), 28–36. <https://doi.org/10.69507/revia.4.15.19.360>
- Montaño Méndez, I. E., Valenzuela Patrón, I. N., y Villavicencio López, K. V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003–2017. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1185–1197. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>
- Núñez, I. C., Rondón, L. P., Paumier, K. H., y Acosta, J. C. (2022). Influencia de variables meteorológicas en la especie medicinal *Citrus x aurantium* L. *Revista Científica del Amazonas*, 5(9), 14-25. <https://doi.org/10.34069/RA/2022.9.02>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (31 de diciembre de 2025). *Cultivos y productos de ganadería*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Orona-Castillo, I., Del-Toro-Sánchez, C. L., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., Espinoza-Arellano, J. J., Rueda-Puente, E. O., Flores-Vázquez, M., y Cano-Ríos, P. (2022). Indicadores técnico-económicos de la producción del cultivo de tomate bajo agricultura protegida en la Comarca Lagunera, México. *Biotecnia*, 24(3), 70–76. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1721>
- Palma-Castillo, L. J., Pérez-Aguilar, D. A., Martínez-Castillo, A. M., Figueroa-de la Rosa, J. I., Chavarrieta-Yáñez, J. M., Ramos-Ortiz, S., y Pineda-Guillermo, S. (2022). Parámetros biológicos del depredador *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Miridae): Efecto del azúcar en su dieta. *Entomología Mexicana*, 9, 1–8. <https://revistas.acaentmex.org/index.php/entomologia/article/view/208/192>
- Perdomo Arias, A. C., y Pineda Guerrero, C. A. (2017). Evaluación del efecto repelente de diferentes extractos vegetales para el control de *Aleurotrachelus socialis* (Hemiptera: Aleyrodidae) en el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) [Trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero

Agrónomo, Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales].

- Perdomo, C. E. T. (2019). *Factores que afectan la proporción sexual y comportamiento poblacional de Bactericera cockerelli (Hemiptera: Triozidae)* (Informe final, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala).
- Pérez, M. P., Zaldívar, J. C. P., y Eduardo, D. S. (2019). Manejo integrado de plagas de almacén en Jesús Menéndez. *Ojeando la Agenda*, (60), 3.
- Pérez, W., Gamarra, H., Andrade-Piedra, J. L., y Kreuze, J. F. (2022). *Manejo del psílido de la papa*. Centro Internacional de la Papa. <https://doi.org/10.4160/9789290606444>
- Pilicita Merizalde, R. I. (2020). *Revisión Sistemática de Literatura sobre la eficacia del uso de insecticidas químicos en el control del psílido (Bactericera cockerelli) potencial vector de punta morada en papa (Solanum tuberosum)* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7051>
- Racancoj Coyoy, A. J., Pérez García, G. E., Maldonado Mota, C. R., y Tuj Gómez, I. Z. (2024). *Validación y Generación de Tecnología para el Manejo del Psílido de la papa (Bactericera cockerelli)* [Informe Técnico, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA)]. <https://hdl.handle.net/11324/23760>
- Ramírez-Concepción, H. R., Castro-Velasco, L. N., y Martínez-Santiago, E. (2016). Efectos terapéuticos del ajo (*Allium sativum*). *Salud y Administración*, 3(8), 39-47.
- Ramírez, W. E. C., Torres, D. J. P., Suarez, L. A. C., y Santi, W. E. M. (2022). Tamizaje fitoquímico, fenoles totales y actividad antioxidante de *Citrus aurantium*. *RECIAMUC*, 6(3), 470-479. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(3\).julio.2022.470-479](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(3).julio.2022.470-479)

- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., y 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>.
- Rodríguez-Leyva, E., y Lomelí-Flores, J. R. (2021, abril). Parasitoides y depredadores de *Bactericera cockerelli*, y sus agentes potenciales de control biológico en México. En *Memorias del II Congreso de Control Biológico Aplicado* (p. 36). Universidad San Francisco de Quito USFQ.
- Rodríguez-Peña, R. (2021). Eficacia de aceites esenciales de plantas de la familia Myrtaceae en el control de la roya de café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broom). *Agropecuaria y Forestal*, 10(2), 69-82. <https://www.sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/133>
- Rodríguez-Rodríguez, J. F., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M., Landeros-Flores, J., Guevara-Acevedo, L. P., y Cisneros-López, H. C. (2021). Efectos subletales y costos de resistencia a abamectina en palomilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*) (Lepidoptera: Plutellidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 47(2), e10657. <https://doi.org/10.25100/socolen.v47i2.10657>
- Rodríguez, E., y Torres, J. C. (2021). Árbol de Neem (*Azadirachta indica*) en Colombia: una alternativa para el desarrollo agroambiental del sector agrícola. *Revista Ciencias Agropecuarias (RCA)*, 7(2), 93-115.
- Roque-Enríquez, A., de Jesús Díaz-Aguilar, R., Ochoa-Fuentes, Y. M., y Cerna-Chávez, E. (2025). Mortalidad de ninfas de *Bactericera cockerelli* por ingredientes activos químicos potencializados con nanopartículas de grafito. *CienciaUAT*, 20(1), 79–87. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v20i1.1979>
- Sacatepéquez, S. (2016). *Efectividad biológica de siete insecticidas en el control* [Tesis doctoral, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Salavarieta, P. J. R. (2015). Nano-biotecnología y sus potenciales aplicaciones en agricultura. En *Nanopartículas: fundamentos y aplicaciones* (p. 223).

- Salazar Bell, I., Rodríguez Bertot, R., Betancourt Hurtado, C., Martínez Aguilar, Y., y Guillaume, J. (2019). Análisis de los metabolitos secundarios del polvo de hojas de *Origanum vulgare* y *Ficus pandurata*. *Revista de Producción Animal*, 31(1), 61-63. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202019000100061
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Avance de la producción agrícola: SIAP*. Recuperado el 23 de febrero de 2026, de https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/
- Soto, I. H., Maldonado, A. J., Montiel, R. G. C., Álvarez, G. A., y Hernández-Fuentes, A. D. (2022). *Argemone mexicana* contiene metabolitos secundarios que controlan hongos fitopatógenos. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 8(15), 6–10. <https://doi.org/10.29057/icap.v8i15.8150>
- Staff, R. (2015). Nanotecnología, nanopartículas y toxicidad. *The European Journal of Occupational Health Nursing*, 5(1), 21–27.
- Syngenta. (15 de abril de 2024). *Ficha técnica Agrimec 1.8 CE*. <https://www.syngenta.com.mx>
- Tamayo-Mejía, F., Tamez-Guerra, P., Guzmán-Franco, A. W., y Gómez-Flores, R. (2015). Can *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (Ascomycetes: Hypocreales) and *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) be used together for improved biological control of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae)? *Biological Control*, 90, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.05.014>
- Toledo-Perdomo, C. E., y Rodas, A. (2022). Comportamiento poblacional y proporción sexual de *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Científica Estelí*, (42), 191–203. <https://doi.org/10.5377/farem.v11i42.14698>
- Toledo, M. (2014). *Manejo integrado del insecto paratrioza (Bactericera cockerelli) en el cultivo de papa en Honduras*. Secretaría de Agricultura y Ganadería; Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA)

- Toledo, M. (2021). Manejo de la paratroya (*Bactericera cockerelli*) en el cultivo de la papa. En *Fertilización del cultivo de papa en las zonas altas de Honduras*. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria.
- Torres Tirado, J. D., Sánchez Briones, M. E., Echevarría Villa, G. E., y Pérez Flores, G. (2018). Efecto cardioprotector de *Matricaria recutita* en procesos de isquemia y reperfusión. *Tlatemoani*.
- Torres, N. A. R., López, J. I. G., Ricardo, H. L. S., Reyes, I. V., y Argüello, B. M. (2016). Efecto de nanopartículas metálicas y derivadas del carbón en la fisiología de semillas. En *Ciencia y tecnología de polímeros: Compendio de resultados de proyectos de investigación* (pp. 119-123). Centro de Investigación en Química Aplicada.
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/330>
- Trujillo-García, J., Lozano-Gutiérrez, J., España-Luna, M. P., Lara-Herrera, A., y Balleza-Cadengo, J. J. (2018). Parasitismo de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: *Trioziidae*) en dos cultivares de chile guajillo en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 121-133.
- Uribe Rivera, S. E., Cerna Chávez, E., Ochoa Fuentes, Y. M., Romero Pavón, L., Landeros Flores, J., y Rueda Puente, E. O. (2025). Evaluación de extractos en combinación con nano y micromateriales para el control de *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: *Bostrichidae*). *Biotecnia*, 27, 1–10.
<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v27.2590>
- Uribe Rivera, S. E., Ochoa Fuentes, Y. M., Rueda Puente, E. O., y Cerna Chávez, E. (2024). Ensayo de investigación. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 28(83).
- Valdivia, J. C., Pérez, A., Rodríguez, G., Hurtado, G., Moggio, I., Arias, E., Zappia, S., Destri, S., Scavia, G., Alloisio, M., y Castañeda, A. (2021). Estudio espectroscópico de nanopartículas de plata pasivadas con el polímero conjugado PEDOT: PSS. *Superficies y Vacío*, 34, e211101.
https://doi.org/10.47566/2021_syv34_1-211101

- Vásquez Calderón, E. J., & Villatoro Palacios, W. A. (2019). *Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango* [informe]. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://hdl.handle.net/11324/23300>
- Vega-Chávez, J. L., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M., Alvarado-Cepeda, Y. A., Mayo Hernández, J., y Hernández-Bautista, O. (2020). Selectividad de insecticidas con el parasitoide *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae) para el control de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *Nova Scientia*, 12(25), e2618. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2618>
- Velasco, G. P., Rivera, L. M. M., Arreola, A. R., y Lucano, A. A. P. (2024). Evaluación del riesgo ambiental y a la salud humana asociados a altas concentraciones de plaguicidas en la Cuenca del Río Ayuquila Jalisco. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 10893-10919. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10398
- Velázquez-Rodríguez, Y. B., Pineda-Guillermo, S., Figueroa-de la Rosa, J. I., Palma-Castillo, L. J., Morales-Alonso, S. I., Chavarrieta-Yáñez, J. M., Ramos-Ortiz, S., y Martínez-Castillo, A. M. (2023). Depredación del mírido *Engytatus varians* (Distant) y efecto sobre su progenie cuando consume ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulzer) (Hemiptera: Triozidae). *Entomología Mexicana*, 10, 26–32.
- Viera, W., Viteri, P., Martínez, A., Castillo, C., y Peñaherrera, D. (2021). *Guía para el conocimiento de la punta morada del tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.)*. Boletín divulgativo No. 449. INIAP.
- Villarraga, F. G. (2016). *Nanopartículas metálicas y sus aplicaciones*. Revista Digital Innovación y Ciencia. https://innovacionyciencia.com/documentos/nanoparticulas_metalicas_y_sus_aplicaciones.pdf

- Villarreal-Ibarra, E. C., Cadenas-González, M. T., Méndez-Morales, F., Bolio-López, G. I., Hernández-Villegas, M. M., Rivera-Torres, N. E., y Morales, C. R. (2023). Validación del potencial antioxidante de *Citrus aurantium* en Tabasco, México. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 35(1), 248-259. <https://doi.org/10.33975/riuq.vol35n1.1157>
- Villegas-Rodríguez, F., Díaz-Gómez, O., Casas-Flores, J. 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 Entomología*, 43(1), 27–33. <https://doi.org/10.25100/socolen.v4e13i1.6643>
- Wang, X., Xie, H., Wang, Z., He, K., & Jing, D. (2019a). Graphene oxide as a multifunctional synergist of insecticides against lepidopteran insect. *Environmental Science: Nano*, 6(1), 75-84. DOI: 10.1039/C8EN00902C
- Zamora, R. B., Barreto, A. V., Bravo, S. P., Parrales, F. S., Zambrano, F., y Duarte, R. F. (2020). Diagnóstico de uso e impactos de plaguicidas en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en la parroquia Riochico, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. *The Biologist*, 18(1), 105-118. <https://doi.org/10.24039/rtb2020181476>
- Zelaya-Molina, L. X., Chávez-Díaz, I. F., De los Santos-Villalobos, S., Cruz-Cárdenas, C. I., Ruíz-Ramírez, S., y Rojas-Anaya, E. (2022). Control biológico de plagas en la agricultura mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(SPE27), 69-79.
- Zepeda-Jazo, I. (2018). Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(1), 99–108. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000100099