

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



Evaluación In Vitro de Insecticidas Potencializados con Nanopartículas de Grafito
Sobre la Mortalidad de Ninfas de *Bactericera cockerelli* Sulc. Asociada al Cultivo de
Papa

Por:

FRANCISCO RIVAS TAPIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

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

Evaluación In Vitro de Insecticidas Potencializados con Nanopartículas de Grafito
Sobre la Mortalidad de Ninfas de *Bactericera cockerelli* Sulc. Asociada al Cultivo de
Papa

Por:

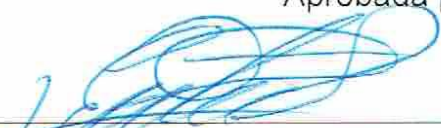
FRANCISCO RIVAS TAPIA

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

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

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

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

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

Autor principal



Francisco Rivas Tapia

Asesor principal



Dr. Ernesto Cerna Chávez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haber sido mi segundo hogar durante esta etapa de mi formación. En sus aulas viví experiencias inolvidables, forjé grandes amistades y adquirí los conocimientos que me permitieron alcanzar una de mis metas más importantes: convertirme en Ingeniero Agrónomo Parasitólogo. Expreso también mi reconocimiento al Departamento de Parasitología y a todos sus docentes, quienes compartieron generosamente sus conocimientos, experiencia y dedicación, contribuyendo de manera significativa a mi formación académica y profesional.

Expreso mi más sincero agradecimiento al **Dr. Ernesto Cerna Chávez**, por la confianza depositada en mí para desarrollar este proyecto de investigación. Asimismo, agradezco al **Dr. Alberto Roque Enríquez**, por su invaluable apoyo, orientación y disposición durante todo el desarrollo de este trabajo. Mi reconocimiento también para la **Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar**, quien por sus valiosos consejos, observaciones y aportaciones que enriquecieron esta investigación.

Agradezco profundamente a mi familia por su amor, comprensión y apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica. Gracias por creer siempre en mí, por impulsarme a seguir adelante en los momentos difíciles y por celebrar cada uno de mis logros. Este trabajo es también el resultado de su esfuerzo, confianza y sacrificio; por ello, este logro les pertenece tanto como a mí.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron al desarrollo y culminación de esta investigación. Su apoyo y confianza fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Dedicatoria

Con todo mi cariño y gratitud dedico este trabajo a mis padres **Lourdes Tapia Leyva** y **Galdino Rivas Rojas**, quienes con su esfuerzo, amor y sacrificio me brindaron la oportunidad de llegar hasta este momento. Gracias por creer siempre en mí por sus enseñanzas, por todos los buenos consejos por impulsarme a nunca rendirme y por ser el ejemplo que guía mi vida. Este logro también es suyo.

Agradesco a mis hermanos por su apoyo y confianzaan siendo una fuente de motivación

A **mi novia, Lizzeth Pavon Linares**, por estar a mi lado en este proceso, por su paciencia, comprensión y amor. Gracias por acompañarme en los momentos de incertidumbre, por alentarme a seguir adelante y por celebrar conmigo cada meta alcanzada. Tu apoyo ha sido invaluable para terminar esta etapa.

Índice General

Índice General	VI
Resumen	IX
INTRODUCCIÓN	1
1. Objetivos	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Importancia De La Papa En México	3
Producción mundial	4
Producción nacional	4
Plagas de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	4
Enfermedades de la papa	5
Plagas de la papa	8
Palomilla de la papa	8
La palomilla guatemalteca	8
Escarabajo de la papa	8
<i>Bactericera cockerelli</i>	10
Taxonomía	10
Daños	11
Biología y Ciclo de vida	13
Tipos de control	14
Nanotecnología	18
Nano grafito	20
MATERIALES Y MÉTODOS	21
Ubicación del experimento	21

Material vegetal-----	21
Establecimiento de colonia de <i>B. cockerelli</i> -----	21
Preparación de insecticidas más NPs-Gr -----	21
Metodología -----	22
Evaluación de mortalidad -----	23
Análisis estadístico -----	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	25
CONCLUSIÓN -----	32
BIBLIOGRAFÍA -----	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. mortalidad de ninfas de <i>B. cockerelli</i> expuestas a nanoparticulas de grafito a las 24 h.....	25
Cuadro 2. Mortalidad después de 24 h de ninfas de <i>B. cockerelli</i> expuestas a nanopartículas de grafito e insecticida, ingrediente activo (Flupyradifurone)	26
Cuadro 3. Mortalidad después de 24 h de ninfas <i>B. cockerelli</i> expuestas a nanopartículas de grafito e insecticida	28
Cuadro 4. Mortalidad después de 24 h de ninfas <i>B. cockerelli</i> expuestas a nanopartículas de grafito e insecticistida Bio-Alin.	29
Cuadro 5. Dosis letal en ninfas de <i>B. cockerelli</i> de Flupyradifurone a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.	30
Cuadro 6. Dosis letal en ninfas de <i>B. cockerelli</i> de Etos a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.	30
Cuadro 7. Dosis letal en ninfas de <i>B. cockerelli</i> de Bio-Alin a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.	31

Resumen

En la actualidad el uso de plaguicidas convencionales cada vez son menos eficaces, para el control de plagas además, combinado con el mal uso de los mismos conlleva a cada vez utilizar dosis más elevadas, sin practicar una rotación de ingrediente activo creando poblaciones resistentes en el cultivo de papa, en la última década el cultivo de la papa se ha visto altamente amenazado por el vector *Bactericera cockerelli* al provocar daños directos al alimentarse y daños indirectos al transmitir la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* causando fuertes pérdidas en la producción en el cultivo. Por lo que en este trabajo de investigación evaluamos los efectos sinérgicos de las nano partículas de nanopartículas de grafito (NPs-Gr) en combinación con insecticidas. Se evaluaron dos insecticidas orgánicos Etos, Bio alin y un químico flupyradifurone bajo condiciones de laboratorio, en donde, los resultados obtenidos demostraron que las NPs-Gr tienen una ligera actividad insecticida, alcanzando una mortalidad de hasta 34.6 % en ninfas de *B. cockerelli*. En combinación con los insecticidas, se observó una mayor mortalidad conforme se aumentó la concentración de nanopartículas. Flupyradifurone fue el insecticida que presentó la mejor respuesta sinérgica, reduciendo su CL_{50} de 109.49 a 4.36 ppm y alcanzando una razón de sinergismo de 25.09. Etos, presentó en la combinación con 10 % disminuyó la CL_{50} de 50.52 a 6.32 ppm, con una razón de sinergismo de 7.99, mientras que Bio-Alin mostró una respuesta sinérgica a las concentraciones más altas de nanopartículas, alcanzando una razón de sinergismo de 113.79x, aunque con una eficacia menor en comparación a los otros tratamientos. Estos resultados indican que las NPs-Gr potencian la actividad insecticida, principalmente de flupyradifurone y Etos, por lo que representan una alternativa prometedora como coadyuvantes para mejorar la eficacia de los insecticidas y contribuir al manejo de *B. cockerelli*.

Palabras clave: Vector, *B. cockerelli*, Mortalidad, insecticida, Nanoparticulas.

Abstract

Currently, the use of conventional pesticides is becoming less effective for pest control. Furthermore, their misuse leads to the application of increasingly higher doses without rotating active ingredients, creating resistant populations in potato crops. In the last decade, potato cultivation has been highly threatened by the vector *Bactericera cockerelli*, which causes direct damage through feeding and indirect damage by transmitting the bacterium *Candidatus Liberibacter solanacearum*, resulting in significant production losses. Therefore, in this research, we evaluated the synergistic effects of graphite nanoparticles (GrNPs) in combination with insecticides. Two organic insecticides, Etos and Bio-Alin, and one chemical insecticide, flupyradifurone, were evaluated under laboratory conditions. The results showed that GrNPs have slight insecticidal activity, achieving up to 34.6% mortality in *B. cockerelli* nymphs. In combination with insecticides, increased mortality was observed as the nanoparticle concentration increased. Flupyradifurone was the insecticide that showed the best synergistic response, reducing its Cl_{50} from 109.49 to 4.36 ppm and achieving a synergism ratio of 25.09. Etos, in combination with 10% nanoparticles, decreased its Cl_{50} from 50.52 to 6.32 ppm, with a synergism ratio of 7.99, while Bio-Alin showed a synergistic response at the highest nanoparticle concentrations, reaching a synergism ratio of 113.79x, although with lower efficacy compared to the other treatments. These results indicate that Gr-NPs enhance the insecticidal activity, mainly of flupyradifurone and Etos, and therefore represent a promising alternative as adjuvants to improve the efficacy of insecticides and contribute to the management of *B. cockerelli*.

Keywords: Vector, *B. cockerelli*, Mortality, Insecticide, Nanoparticles

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es el cultivo más importante después de los cereales. Pertenece al género *Solanum* y a la familia de las solanáceas, caracterizándose por la formación de tallos subterráneos que generan tubérculos (Kumar y Chandra, 2018). Su relevancia mundial radica en su alto valor nutricional y en su importancia económica para la agricultura (Li *et al.*, 2025; Reddy *et al.*, 2018).

Sin embargo, la producción de papa enfrenta múltiples limitaciones debido a plagas como insectos, bacterias, virus, hongos y nematodos, que ocasionan pérdidas significativas (Betancourth *et al.*, 2021; Křížkovská *et al.*, 2022; Otieno, 2019; Oyesola *et al.*, 2021). Entre ellas, los insectos son los vectores más peligrosos, pues transmiten patógenos y generan daños directos e indirectos (Chandi, 2021).

Una de las principales problemáticas es *B. cockerelli*, conocido como psílido de la papa, originario de Norteamérica y considerado una plaga devastadora por más de un siglo (Wenninger y Rashed, 2024). Este insecto transmite *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CLSo), causante del “zebra chip”, enfermedad de gran impacto económico, además de estar asociado al amarillamiento del psílido (Munyanza, 2014).

El control químico ha sido la estrategia más utilizada para reducir las poblaciones de *B. cockerelli* y mitigar los efectos de CLSo. No obstante, el uso indiscriminado de insecticidas ha disminuido su eficacia, incrementando la frecuencia de aplicaciones y favoreciendo la resistencia (Dávila *et al.*, 2012; Cerna *et al.*, 2015).

Ante estas problemáticas, la nanotecnología se presenta como una alternativa innovadora en la agricultura al emplear nano mezclas, los nano fertilizantes mejoran la liberación de nutrientes y estimulan el desarrollo vegetal (Chhipa, 2017; Fincheira *et al.*, 2023). Asimismo, los nanopesticidas que integran ingredientes activos que permiten optimizar la acción de los insecticidas, aseguran una distribución más homogénea, protegiéndolos de factores abióticos y reduciendo su impacto ambiental (Shang *et al.*, 2019; An *et al.*, 2022; Hazarika *et al.*, 2022; Fincheira *et al.*, 2023).

1. Objetivos

1.1 . Objetivo general:

Evaluar el efecto de las nanopartículas de grafito en combinación con insecticidas químicos y orgánicos para el control de ninfas de *Bactericera cockerelli* bajo condiciones de laboratorio.

1.2 objetivos específicos

Evaluar la mortalidad de ninfas de *B. cockerilli* con el ingrediente activo químico flupyradifurone bajo condiciones *in vitro*.

Determinar el efecto de los ingredientes orgánicos aplicados a ninfas de *B. cockerelli* bajo condiciones de laboratorio.

Determinar la concentración letal media (CL₅₀) y la relación de sinergia de las combinaciones de nanopartículas de grafito e insecticidas en ninfas de *B. cockerelli*.

2. Hipótesis

Se espera que al incorporar las nanopartículas de grafito con insecticidas se incremente la mortalidad de *B. cockerelli* y se reduzca la dosis del insecticida sin disminuir su eficacia.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de la papa en México

La papa (*Solanum tuberosum*) tiene sus orígenes en Perú probablemente los primeros tubérculos cultivados fueron clasificados hace miles de años en regiones andinas en el norte del río Titicaca iniciando con especies silvestres (Rodríguez, 2010).

Debido a la alta variedad de especies de papa silvestres y cultivadas su clasificación taxonómica ha ido cambiando con el tiempo por lo que en la actualidad las clasificaciones más recientes toman en cuenta un aproximado de 100 especies silvestres y solo cuatro cultivadas (Ovchinnikova *et al.*, 2011). Es una planta dicotiledonia perteneciente al género *Solanum* y a la familia de las solanáceas se distingue por desarrollar tallos subterráneos de los cuales crecen los tubérculos (Kumar y Chandra, 2018).

La papa (*Solanum tuberosum*) es uno de los alimentos más importantes a nivel mundial debido a que tiene un gran aporte nutricional, estando por encima de los cereales, aparte de que en muchos países es un alimento básico además de ser un cultivo importante a nivel mundial económicamente para la agricultura dado que es el cuarto cultivo más importante (Li *et al.*, 2025; Reddy *et al.*, 2018).

La importancia de la papa radica en el alto consumo y su amplia producción y superficies cosechadas es un cultivo que representa una fuente valiosa de alimento y de alto valor económico, sin embargo, la producción de papa debe mantenerse al mismo ritmo que crece la población mundial (Ahmadu *et al.*, 2021).

Producción mundial

Quien lidera la producción de papa a nivel mundial, China, con 94.8 millones de toneladas; seguida de, India con 57 millones de toneladas; y Ucrania con 21.1 millones de toneladas, México se encuentra posicionado en el lugar 32 a nivel mundial en producción de papa, con 2.12 millones de toneladas (FAO, 2024)

Producción nacional

La producción en México de *Solanum tuberosum* está distribuida en 21 estados de la república, siendo los principales estados productores Sonora (675,256.17), Sinaloa (474,637.35), Estado de México (170,743.03), Veracruz (144,161.73), Nuevo León (113,509.0) y Puebla (152,787.88), representando el 80.41% de la producción nacional total (SIAP, 2026).

En el año 2023 se cosecharon 62,123.98 hectáreas con un rendimiento de 31.91 t/ha obteniendo más de 2 millones de toneladas de papa generando más de 20 millones de pesos, destinándose más de la mitad a consumo en fresco una tercera parte a la industria y una pequeña parte se destina a la producción de semilla (SADER, 2020; SIAP, 2023).

Sin embargo, la producción de papa está altamente amenazada por una amplia variedad de plagas en las cuales se encuentran insectos, bacterias, virus, hongos y nematodos que ocasionan pérdidas significativas en la producción dependiendo del tipo de plaga y el daño causado, llegando a causar pérdidas totales de las cosechas (Betancourth *et al.*, 2021; Křížková *et al.*, 2022; Otieno, 2019; Oyesola *et al.*, 2021).

Plagas de la papa (*Solanum tuberosum*)

Entre las plagas que merman la producción de papa tenemos enfermedades de las cuales destacan marchites bacteriana (*Ralstonia* y *Pseudomonas solanacearum*),

tizón tardío (*Phytophthora infestans*), virus Y de la papa (PVY), virus del enrollamiento de la hoja (PLRV) (Barrios Barón *et al.*, 2026; Demissie, 2019).

Así mismo, en el suelo encontramos nematodos fitófagos altamente peligrosos como nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp) y nematodos de los quistes (*Globodera* spp) afectando la producción y calidad (Otieno, 2023).

Enfermedades de la papa

De las enfermedades más devastadoras lidera Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) oomyceto a nivel mundial está presente en la mayoría de las zonas productoras su gran importancia radica desde el siglo XIX por ser la causante de la hambruna en Irlanda (Acuña *et al.*, 2021; Yuen, 2021).

La sintomatología que se observan lesiones como pudrición acuosa llegando a color café al avanzar la enfermedad en hojas al favorecerles la humedad relativa se llega a desarrollar micelio en el envés, llegando a atacar en tallos y tubérculos, al ser policíclica y reproducirse sexual y asexualmente aumenta su diseminación y persistencia lo que causa un daño extenso llegando a ocasionar pérdidas severas (Acuña *et al.*, 2021; Maurya *et al.*, 2025).

La costra negra (*Rhizoctonia solani*) es una enfermedad fúngica que afecta la producción mundial; se ha identificado a través de una gran variedad de aislamientos de *R. solani*, y se concluyó que el grupo de anastomosis AG-3 es el principal agente causal de la costra negra al presentar alta virulencia (Chaudhary *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2017).

Los síntomas observables son manchas cancrasas en brotes tallos y tubérculos lo que les da una apariencia de piel de elefante afectando la calidad visual esta enfermedad se transmite por el suelo y tubérculos infectados por lo que las medidas de control más eficaces son el control cultural al usar semillas en este caso papas

libres de *R. solani* químico al darle un tratamiento al suelo y papa de siembra así mismo el control biológico resulta ser una alternativa al utilizar antagonistas que interactúan directamente con *R. solani* utilizando hongos y bacterias (Tsoror, 2010; Aydın, 2022; Chaudhary *et al.*, 2024)

Tizón temprano (*Alternaria solani*) agente causal de distribución cosmopolita el cual ataca el área foliar presentando manchas marrones con anillos concéntricos que en etapas avanzadas provocan defoliación grave llegando a dañar los tubérculos al ser polida puede llegar a presentar varios ciclos si las condiciones son propicias para su crecimiento y dispersión (Chaudhary *et al.*, 2021; Schmey *et al.*, 2024).

Marchitez bacteriana o pudrición parda (*Ralstonia solanacearum*) es la segunda bacteria fitopatógena más destructiva en el mundo; afecta a diversas especies de plantas, pero presenta una mayor virulencia en cultivos de solanáceas, siendo fuertemente afectados, incluyendo la papa, causando una marchitez repentina de la planta y una colonización del tubérculo, causando el color típico pardo (Peeters *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2023).

Provoca pérdidas altas que van desde el 20 al 100% en el rendimiento los métodos de control no han mostrado gran eficacia contra esta bacteria por lo que se está adentrando en nuevos métodos de control para tener un manejo integrado (Wang *et al.*, 2023).

Pata Negra y Pudrición Blanda causadas por diversos géneros de bacterias (*Pectobacterium spp.* y *Dickeya spp.*) lo que dificulta dar un diagnóstico concreto las especies varían conforme a la época que se presentan (Charkowski, 2018). la pudrición blanda presenta una pudrición húmeda con un olor fétido de los tejidos vegetales debido a la secreción de pectinadas que maceran los tejidos (Hugouvieux-Cotte-Pattat *et al.*, 2014).

La producción de papa a nivel mundial también se ve afectada y limitada por una variedad de virus se han llegado a identificar más de 40 virus. Principalmente los que ocasionan pérdidas significativas el virus Y de la papa (PVY), el virus del enrollamiento de la hoja de la papa (PLRV) y el virus X de la papa (PVX) (Kenzhebekova *et al.*, 2025; Sobko *et al.*, 2021).

El Virus Y de la Papa (PVY - *Potato Virus Y*) es la enfermedad viral más peligrosa no solo afectando a la papa sino a las demás solanáceas los síntomas se ven reflejados en el follaje y en los tubérculos provocando pérdidas en el rendimiento y en la calidad (Karasev y Gray, 2013; Torrance y Talianky, 2020).

Este virus no se transmite de forma persistente se transmite por semillas (tubérculos) infectadas que después es dispersada por vectores principalmente áfidos que al alimentarse de la planta transmiten el virus además de que se transmite mecánicamente (Bhoi *et al.*, 2022; Quenouille *et al.*, 2013).

Virus del enrollamiento de la hoja de la papa (PLRV - *Potato Leafroll Virus*) también supone un peligro para la producción de papa en el mundo. La sintomatología de PLRV, como su nombre lo indica, provoca un enrollamiento de sus hojas, retrasando el crecimiento y en tubérculos se presenta una necrosis reticular, dañando la calidad y reduciendo la producción (Belabess *et al.*, 2025; Preising y Heck, 2025).

Se transmite por vectores, exclusivamente por áfidos, principalmente por *Myzus persicae*, transmitiendo el virus de forma persistente. Además, se puede transmitir por semilla (tubérculos). Las medidas de control se basan en controlar la población de vectores y el uso de semillas certificadas libres de virus (Belabess *et al.*, 2025; Preising y Heck, 2025).

En el suelo se encuentra un grupo muy importante de plagas que afectan la papa tanto en rendimiento como en comercializarla debido a plagas cuarentenadas atacando las raíces y tubérculos los nematodos causan pérdidas económicas muy

importantes en todo el mundo y dado que atacan el sistema radicular los síntomas foliares pueden ser confusos (Holgado y Magnusson, 2012).

Los principales géneros que destacan con mayor importancia nematodos formadores de quistes (*Globodera* spp) nematodos agalladores del nódulo radicular (*Meloidogyne* spp) y nematodos lesionadores de la raíz (*Pratylenchus* spp) (Ain et al., 2024; Holgado y Magnusson, 2012).

Además de las enfermedades anteriores, el cultivo de papa es atacado por una variedad de insectos plagas que ocasionan daños directos e indirectos como vectores de enfermedades (Campos, 2023).

Plagas de la papa

Palomilla de la papa

Palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella*) es una plaga cosmopolita importante de las solanáceas a nivel mundial, en papa es altamente devastadora económicamente aun cuando el daño foliar no representa pérdidas significativas en producción (Rondon, 2010). Las larvas de *P. operculella* suelen causar una mayor pérdida económica al tubérculo durante su almacenamiento; pueden llegar a causar pérdidas desde el 50% hasta el 100% (Salim, M.et al., 2024).

La palomilla guatemalteca

Tecia solanivora uno de los insectos plaga más importantes del cultivo ya que las larvas se alimentan solo de la papa ya que ataca los tubérculos reduciendo directamente la producción las larvas además de que se desarrollan en el tubérculo lo cual también resulta en un riesgo al almacenarse (Jeger et al., 2018).

Escarabajo de la papa

El escarabajo de la papa (*Leptinotarsa decemlineata*), coleóptero de la familia Chrysomelidae, es una de las plagas más notorias y problemáticas; se alimenta de varias especies silvestres del género *Solanum* y es una de las plagas principales de la papa (Wang *et al.*, 2020).

Actualmente se encuentra distribuida en Europa, América del Norte y América Central (CABI, 2005). Debido a su alta adaptabilidad y su resistencia a insecticidas, los adultos y larvas se alimentan de las hojas logrando hasta dos generaciones en lugares cálidos sin ningún control puede causar pérdidas en el rendimiento además de bajar la calidad de los tubérculos (Zemek *et al.*, 2021).

Mosca blanca (*Bemisia tabaci*) es un insecto plaga chupador que se alimenta de una amplia variedad de cultivos ocasionando perdidas en el rendimiento sin embargo también su importancia radica por ser vector de virus y enfermedades causando aun así más perdidas además de que adquiere una rápida resistencia a los insecticidas aun así el manejo de mosca blanca depende principalmente del uso de químicos (Abubakar *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2022).

Vectores de enfermedades son aquellos organismos capaces de llevar consigo y transmitir un patógeno de un huésped enfermo a un huésped sano (Alfaro-Martínez *et al.*, 2018).

Para la agricultura, los vectores más peligrosos son los insectos, ya que muchos patógenos usan a los insectos como medio de transporte para transmitirse de un hospedero a otro, provocando daños directos al alimentarse del huésped e indirectos al transmitir el patógeno (Chandi, 2021). Dentro de los cuales se encuentra el insecto *B. cockerelli*.

Bactericera cockerelli

B. cockerelli, comúnmente conocida como el psílido de la papa, perteneciente al género Hemiptera de la familia Triozidae, es una de las plagas más dañinas de la papa durante más de 100 años en Norteamérica, siendo originaria de esta región (Wenninger y Rashed, 2024).

Es vector de la enfermedad *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CLso) conocida comúnmente como zebra chip enfermedad de gran importancia económica muy devastadora para las zonas productoras de papa además se le atribuye la enfermedad del amarillamiento del psílico (Munyanenza, 2014)

Taxonomía

Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Superfamilia: Psylloidea

Familia: Triozidae

Género: *Bactericera*

Especie: *B. cockerelli* (Šulc, 1909)

Distribución

Dentro de América del Norte, su presencia está bien documentada en una amplia gama de regiones, en Canadá, se ha reportado en provincias como Alberta, Columbia Británica, Manitoba, Ontario, Quebec y Saskatchewan, en México, su distribución abarca diversas zonas productoras, en Estados Unidos, su presencia se extiende por estados tan diversos como Arizona, California, Colorado, Idaho, Iowa, Kansas, Minnesota, Montana, Nebraska, Nevada, Nuevo México, Dakota del

Norte, Oklahoma, Oregón, Texas, Utah, Washington y Wyoming (CABI y EPPO, 2015).

En México, *B. cockerelli* se ha reportado principalmente en las zonas papayeras como Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Puebla, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala y Zacatecas (Rubio Covarrubias *et al.*, 2006; Beltrán-Playa *et al.*, 2022).

Hospederos alternos

B. cockerelli prefiere hospederos de la familia de las solanáceas en las que se incluyen especies domesticadas tanto como especies silvestres las especies más destacadas son papa, pimiento, tomate y berenjenas se ha determinado que especies silvestre *Physalis virginiana*, *Physalis longifolia* Nutt, *Margaranthus solanaceus* Schltldl, son hospederos de *B. cockerelli* además de que pruebas de PCR indicaron la infección por *Candidatus Liberibacter solanasearum* (CLso) (Reyes Corral *et al.*, 2020; Delgado-Luna *et al.*, 2024; Félix-Rocha *et al.*, 2024).

Sin embargo, estudios revelan que la preferencia por ciertos hospederos puede verse influenciada por el tamaño de la planta y la densidad, sugiriendo que características físicas influyen en la selección (Thinakaran *et al.*, 2015).

Los hospederos silvestres resultan un factor en la supervivencia y persistencia de *B. cockerelli*, ya que, en ausencia de cultivos, continúa con su ciclo biológico alimentándose de estos hospederos; sin embargo, también actúan como reservorio de CLso (Cooper *et al.*, 2019).

Daños

Los daños causados por *B. cockerelli* son conocidos como amarillamiento del psilido; es causado cuando los adultos y los distintos estadios ninfales se alimentan

y al introducir su saliva, dan origen a síntomas foliares distintivos como clorosis, enrollamiento de hojas, brotación, crecimiento atrofiado, pardeamiento de interno de los tubérculos, brotación prematura además de que sus desechos propician la proliferación de hongos no parásitos que interfieren la luz solar (Díaz *et al.*, 2008; Munyaneza, 2021; Gamarra *et al.*, 2022; Sarkar *et al.*, 2023).

Sin embargo, la succión de la savia representa un daño significativo, el daño real es causado por la saliva que introduce el insecto al alimentarse, transmitiendo la bacteria Fitopatógena CLso que provoca pérdidas significativas (Se *et al.*, 2019; Sarkar *et al.*, 2023).

La adquisición de CLso se da cuando *B. cockerelli* se alimenta de una planta infectada llegando al tracto digestivo donde pasa un periodo de incubación hasta colonizar las glándulas salivales así al alimentarse de una planta sana es capaz de transmitir CLso, los insectos adultos resultan ser más infecciosos en comparación con las ninfas que son menos infecciosas ya que tiene una menor colonización en las glándulas salivales (Cooper *et al.*, 2014; Sengoda *et al.*, 2014)

La bacteria Fitopatógena CLso afecta varios cultivos de las solanáceas, afectando a la papa, provocando la enfermedad Zebra chip, afectando la calidad del tubérculo, haciéndolo inadecuado para su consumo y uso de semilla (Liefting *et al.*, 2009; Butler y Trumble, 2012; Munyaneza, 2012).

La sintomatología es parecida entre hospederos presentan una alteración de color tamaño y forma de hojas, trastornos de brotación en la papa se observa un amarillamiento foliar y hojas enrolladas hacia arriba sin embargo el síntoma característico ocurre en el tubérculo decoloración marrón del anillo vascular y los radios medulares, estos se expresan al inicio en el extremo de inserción del estolón y eventualmente se extiende a través del tubérculo, creando patrones rayado (Aguilar *et al.*, 2013; Mendoza-Herrera *et al.*, 2018; Caicedo *et al.*, 2020).

Importancia económica

La importancia económica de *B. cockerelli* radica en los múltiples daños directos ocasionados al alimentarse causando amarillamiento en las plantas y de daños indirectos como vector de patógenos en los que recae su gran importancia provocando pérdidas millonarias (Berdúo-Sandoval *et al.*, 2020; Cerna Chávez *et al.*, 2021).

La exposición de *B. cockerelli* provoca las diferentes enfermedades del tomate, “brotes cloróticos” del chile y “zebra chip” en papa, asociadas a la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CLso), presentando síntomas similares como aborto de flores, oscurecimiento vascular, provocando pérdidas que sobrepasan el 90 % de la producción (Melgoza Villagómez *et al.*, 2018; Munyaneza *et al.*, 2008).

Biología y Ciclo de vida

Debido a la importancia de *B. cockerelli* su biología y ciclo de vida han sido objeto de estudio para comprender su comportamiento bajo distintas condiciones bióticas y abióticas permitiendo analizar cada una de las etapas de desarrollo desde huevo cinco estadios ninfales y adultos observando variables como oviposición, fecundidad, duración de estadios, longevidad y reproducción (Abdullah, 2008; Jácome-Mogro *et al.*, 2022)

Huevo: el ciclo de vida comienza cuando los adultos comienzan la cópula al alcanzar la madurez sexual, lo que después da lugar a que la hembra oviposite los huevecillos de un color naranja amarillo sostenidos por un pequeño pedicelo (Guédot *et al.*, 2012).

El desarrollo de ninfas está comprendido por 5 estadios ninfales en los que se alimentan de la savia de la planta ocasionando daños directos e indirectos, los

insectos presentan una metamorfosis hemimetábola en la que se observa cómo el tamaño, las antenas y las alas crecen en cada estadio (Vargas-Madríz *et al.*, 2013; Correa *et al.*, 2023)

Al eclosionar del último estadio emergen como adultos con toda su anatomía bien definida que en aproximadamente 2 días alcanzará su madurez reproductiva y estará lista para iniciar un nuevo ciclo la duración y la longevidad se ve afectada por factores bióticos y abióticos, relacionados con el tipo de hospedero (Abdullah, 2008; Yang y Liu, 2009; Guédot *et al.*, 2012).

Existen variaciones en el ciclo de vida respecto al tipo de haplotipo diferencias biológicas que a su vez están relacionadas con el hospedero variando su fecundidad, eclosión además de que existe una incompatibilidad para aparearse entre diferentes haplotipos al igual la longevidad de este insecto se ve afectada por el tipo de huésped del que se alimenta (Mustafa *et al.*, 2015; Yang y Liu, 2009).

Tipos de control

En el control de *B. cockerelli* se utilizan prácticas culturales, control biológico y control químico, en general, el control químico es el más eficiente (Cárdenas-Huamán *et al.*, 2025). Las medidas culturales que se toman son la eliminación de plantas hospedantes, eliminando fuentes de inóculo, además del uso de semillas libres de patógenos y del uso de un recubrimiento de tejido fino al sembrar, que supone una barrera física (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2011; Merfield *et al.*, 2015; Olaniyan *et al.*, 2020).

El control biológico está orientado al uso de insectos depredadores, parasitoides y hongos entomopatógenos, los cuales aún están siendo investigados: *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, posibles agentes entomopatógenos (Villegas *et al.*, 2014; Miranda *et al.*, 2022).

Los enemigos naturales que se han estudiado con resultados alentadores son *Chrysoperla carnea*, *Dicyphus hesperus*, *Orius tristicolor*, *Geocoris pallens*, *Hippodamia convergens* y el parasitoide *Tamarixia triozae*, insectos que reducen las poblaciones de *B. cockerelli* (Butler y Trumble, 2012; Miranda *et al.*, 2022; Guzmán *et al.*, 2024).

El control químico ha resultado ser el más eficiente en la disminución de poblaciones de *B. cockerelli* y en el control de CLso; sin embargo, el mal uso de estos insecticidas ha llevado a reducir la eficiencia de estos, incrementando cada vez más el número de aplicaciones por ciclo de cultivo y provocando resistencia a estos insecticidas (Dávila *et al.*, 2012; Cerna *et al.*, 2015).

Los estudios indican que insecticidas como abamectina, bifentrina, ciantraniliprol, oxamilo y espirotetramat son eficaces para controlar adultos y ninfas; Además, algunos productos como ciantraniliprol y tolfenpirad pueden reducir su reproducción por el contrario, aceites minerales, piretrinas y buprofezin tienen baja efectividad los resultados también señalan que la eficacia de imidacloprid y tiametoxam puede variar según el método de aplicación, el riego y la presencia de resistencia en conjunto, la rotación de insecticidas con diferentes modos de acción es una estrategia clave para el manejo de esta plaga (Page-Weir *et al.*, 2011; Prager *et al.*, 2013; Echegaray *et al.*, 2016).

Etos

Etos es un producto nematicida de origen botánico compuesto por extractos de *Brassica nigra*, *Piper nigrum* y *Capsicum annum*, los cuales contienen metabolitos secundarios con actividades nematicida, repelentes y de inhibición de la eclosión de huevos (Culta, 2024).

Brassica nigra, conocida como mostaza negra, tiene un mecanismo defensivo ante diversas plagas que está basado en la producción de metabolitos secundarios como glucocinatos e isotiocinatos del alilo, que tienen acción insecticida y repelente, interrumpiendo procesos fisiológicos críticos como la respiración celular y la función enzimática. (Li *et al.*, 2021; Selvakumaran *et al.*, 2024).

Piper nigrum, pimienta negra, produce diversos metabolitos secundarios con alta acción insecticida, principalmente compuestos nitrogenados tipo alcaloides como piperamidas, con acción neurotóxica e inhibición de enzimas; piperina; algunos estudios han demostrado un efecto larvicida. Asimismo, los aceites esenciales también participan en los efectos insecticidas (Park *et al.*, 2002; Vinturelle *et al.*, 2017; Correa *et al.*, 2023).

El pimiento o chile (*Capsicum annuum*), tiene un mecanismo de defensa basado en la producción de capsaicinoides responsables del picor de los frutos, actuando como repelentes que alteran el comportamiento de los insectos que en altas concentraciones puede ser directamente tóxico por contacto o por ingesta (Hernández-Pérez *et al.*, 2020; Khoerunisa *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2024).

Bio-Alin

Bio-Alin es un producto repelente de insectos orgánico y antialimentario que provoca una menor reproducción por la formulación de cinco extractos de *Allium sativum*, *Ruta graveolens*, *Matricaria chamomilla*, *Piper nigrum* y *Sinapis alba* (Culta, 2024).

Allium sativum, conocido comúnmente como ajo, cuenta con mecanismos de defensa que se activan por daño físico, lo que libera alucina y compuestos organosulfurados (Leite y Santos, 2021; Tudu *et al.*, 2022). Estos compuestos actúan de distintas maneras: como repelencia olfativa evitan la alimentación y la

postura de huevos (Verma *et al.*, 2023); la toxicidad directa rompe procesos vitales como la respiración celular (Blume *et al.*, 2023; Jikah y Edo, 2023); el daño físico rompe la cutícula externa, provocando deshidratación fatal (Verma *et al.*, 2023).

Ruta graveolens, nombre común ruda, emplea metabolitos para protegerse de insectos como cetonas alifáticas (aceite esencial) que alteran las membranas celulares, modulan el sistema octopaminérgico y activan receptores antenales (Bouamrane *et al.*, 2025; Nahar *et al.*, 2021); monoterpenos potencian el efecto insecticida global del aceite esencial (Nahar *et al.*, 2021); y furanocumarinas, alcaloides compuestos fototóxicos (psoraleno, bergaptena) que dañan el ADN bajo luz UVA, y actúan como antialimentarios o larvicidas en la oscuridad (Bendjazia *et al.*, 2025).

Matricaria chamomilla, (manzanilla alemana) posee un sofisticado sistema defensivo basado en terpenoides y fenólicos con gran potencial bioplaguicida (Wu *et al.*, 2022). Su capacidad insecticida y repelente se concentra en dos principios activos: el α -bisabolol, un alcohol sesquiterpénico funcional central (Eddin *et al.*, 2022; Melnyk *et al.*, 2024) que demuestra una potente repelencia y alta toxicidad por contacto contra hormigas *Solenopsis invicta* y *S. richteri* y sus híbridos (Shah *et al.*, 2023); y el conjunto de matricina y camazuleno, lactonas sesquiterpénicas que actúan como antialimentarios al interactuar con los grupos tiol de proteínas esenciales, alterando procesos fisiológicos vitales en los insectos (Wu *et al.*, 2022).

Sinapis alba, (mostaza blanca) posee un sistema defensivo basado en una "bomba química" que, tras el daño celular, combina el glucosinolato sinalbina con la mirosinasa para liberar 4-hidroxibencil isotiocianato. Este compuesto actúa como repelente olfativo y gustativo inmediato; por lo que la sinalbina impulsa directamente el rechazo de la planta por parte de plagas especializadas como el escarabajo del repollo (Giguère *et al.*, 2026).

Flupyradifurone

El ingrediente activo flupyradifurone es un insecticida moderno de la clase de las butenolidas que actúa como modulador agonista selectivo de los receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR), provocando parálisis y muerte en la plaga (Nauen *et al.*, 2014; Yanhao *et al.*, 2022). Aunque actúan en el mismo sitio de acción, los neonicotinoides, por su estructura química distinta les otorga propiedades farmacológicas únicas y una afinidad de unión distinta, lo que garantiza su eficacia contra poblaciones de insectos que ya presentan resistencia a las clases de insecticidas tradicionales (Jeschke *et al.*, 2015; Nauen *et al.*, 2014).

Asimismo, destaca por su translocación sistémica través del xilema y floema (Wen *et al.*, 2021). Esta doble vía de transporte distribuye al ingrediente activo eficientemente por toda la planta, alcanzando tejidos jóvenes para controlar plagas chupadoras como áfidos y moscas blancas (Kodandaram *et al.*, 2024). Su aplicación optimiza el control en zonas difíciles mediante sistemas de riego por goteo contra el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*) (Wen *et al.*, 2021), o mediante la inmersión de esquejes para reducir poblaciones de *Bemisia tabaci* (Caspary *et al.*, 2023).

Nanotecnología

La nanotecnología es el estudio y la aplicación de nanos materiales que presentan propiedades diferentes o mejoradas con relación al tamaño se consideran nanos materiales al estar en una escala de 1 a 100 nanómetros, estas propiedades incluyen una mayor reactividad, resistencia, estabilidad, sensibilidad y área superficial, lo que les confiere características únicas y amplía su potencial de aplicación en diversos campos. (Hadeif, 2018; Rafique *et al.*, 2023; Mekuye y Abera, 2023).

Prometiendo innovar distintos campos como la electrónica, energía, medicina, biotecnología, medio ambiente, industria aeroespacial y agricultura, donde contribuye al desarrollo de materiales, dispositivos con propiedades mejoradas y nuevas funcionalidades (Rajput y Saroj, 2025).

Pueden clasificarse según su composición en orgánicas, inorgánicas, cerámicas y derivadas del carbono. También se diferencian por sus dimensiones y se obtienen principalmente mediante dos métodos de síntesis: el ascendente, que construye las partículas a partir de átomos o moléculas, y el descendente, que reduce materiales de mayor tamaño hasta la nano escala (Ijaz *et al.*, 2020; El-Khawaga *et al.*, 2023).

Nano formulaciones

En la agricultura la aplicación de la nanotecnología ha tenido una gran importancia en combinar agro insumos especialmente fertilizantes y plaguicidas, las nano formulaciones con fertilizantes tratan de mejorar la acción de los fertilizantes y un mejor estímulo de desarrollo y una mejor liberación de nutrientes (Chhipa 2017; Fincheira *et al.*, 2023).

Con los beneficios de los nano materiales especialmente en formulaciones que unen los ingredientes activos con los nano materiales estas formulaciones prometen una mayor optimización y control de los agroquímicos además de tener una mejor distribución y proteger los ingredientes activos de los factores abióticos además de tener un menor impacto con el medio ambiente (Shang *et al.*, 2019; An *et al.*, 2022; Hazarika *et al.*, 2022; Fincheira *et al.*, 2023).

Nanopartículas derivadas del carbono

Las nanopartículas derivadas de carbono se distinguen por su alta área superficial, resistencia mecánica, estabilidad química, buenas propiedades térmicas y eléctricas, las que le dan una gran importancia en distintos campos, de las cuales

se derivan puntos/cuánticos de carbono, grafeno y óxidos de grafeno, nanotubos de carbono, fullerenos, nanodiamantes, nano-onions y NPs-Gr (Díez-Pascual, 2021; Speranza, 2021; Ayanda *et al.*, 2024).

En la agricultura se suelen usar plaguicidas químicos, orgánicos y biorracionales que además de aumentar los costos causan un gran impacto al medio ambiente por las grandes cantidades aplicadas, sin embargo, las nanopartículas son capaces de llevar ingredientes activos al sitio de acción reduciendo la cantidad de plaguicidas y por consiguiente menor contaminación al ambiente (Kalyabina *et al.*, 2021; Tudi *et al.*, 2021; Bagheri *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2023)

Nano grafito

El NPs-Gr es un nanomaterial derivado del grafito constituido por pocas capas de grafeno apiladas con dimensiones nanométricas, conserva la estructura laminar característica del grafito, pero debido a su reducido tamaño presenta una mayor área superficial y propiedades fisicoquímicas mejoradas, como elevada conductividad térmica y eléctrica, alta estabilidad química y buena resistencia mecánica, características que favorecen su aplicación en la agricultura, la electrónica y el desarrollo de nanocompuestos (Kawasumi *et al.*, 2013; Kausar, 2023).

Aunque el NPs-Gr comparte su composición química con otros nanomateriales carbonosos, como el grafeno y el óxido de grafeno, existen diferencias importantes entre ellos, el grafeno corresponde a una sola capa de átomos de carbono organizada en una red hexagonal, mientras que las NPs-Gr está formadas por varias capas de grafeno apiladas que conservan la estructura cristalina del grafito por otra parte, el óxido de grafeno es una forma oxidada del grafeno que contiene grupos funcionales oxigenados, los cuales modifican significativamente sus propiedades fisicoquímicas. (Bianco *et al.*, 2013; Ghuge *et al.*, 2017; Nishina y Eigler, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Saltillo, Coahuila, México.

Material vegetal

Antes de establecer las colonias de *B. cockerelli* sembramos el material vegetal, en bolsas de plástico aproximadamente de 1 kg se colocaron tubérculos de papa para posteriormente una vez alcanzado el área foliar considerable estuvieron listas para ser infestadas.

Establecimiento de colonia de *B. cockerelli*

Se estableció la colonia en jaulas entomológicas donde se introdujeron especies hospederas de *B. cockerelli* para ser infestadas, y se le dieron los cuidados necesarios como riego, ventilación y temperatura para el mantenimiento de la colonia.

Preparación de insecticidas más NPs-Gr

Para la evaluación del efecto conjunto de los insecticidas y las NPs-Gr, se procedió a realizar la combinación y dilución de los tratamientos bajo condiciones controladas de laboratorio. Como matriz base, se prepararon suspensiones acuosas estables de NPs-Gr a cuatro concentraciones porcentuales distintas: 1%, 3%, 5% y 10% (p/v), utilizando agua destilada estéril como vehículo y aplicando agitación constante para asegurar la homogeneidad física de las partículas. Adicionalmente, se reservó

un grupo denominado "Producto solo", el cual consistió únicamente en insecticidas comerciales sin la adición de nanopartículas, actuando como control de referencia.

Posteriormente, las NPs-Gr se combinaron con los insecticidas Etos, Flupyradifurone y Bio-Alin, según corresponda. Se prepararon seis concentraciones seriadas expresadas en partes por millón: 3, 10, 100, 500, 1000 y 2000 ppm, calculadas rigurosamente mediante la ecuación de dilución general ($C_1V_1 = C_2V_2$). $V_1 = V_2 \cdot C_2 / C_1$. Además, se contó con un testigo únicamente tratado con agua destilada.

Cada tratamiento fue evaluado por triplicado, estableciendo tres repeticiones independientes (R_1 , R_2 y R_3) para cada unidad experimental, garantizando así el sustento estadístico del experimento.

Metodología

La evaluación biológica de los tratamientos se ejecutó mediante la técnica de exposición residual por inmersión de tejido foliar. El procedimiento se basó en los lineamientos generales del Método de Prueba de Susceptibilidad No. 032 del Comité de Acción contra la Resistencia a Insecticidas (IRAC, 2021), al cual se le realizaron modificaciones específicas con el fin de optimizar el manejo del material vegetal bajo las condiciones locales del laboratorio. El proceso secuencial se desarrolló de la siguiente manera:

1. **Acondicionamiento de la cámara húmeda;** A diferencia del protocolo de la norma IRAC No. 032 el cual dicta el uso de una cama de agar purificado como soporte hidropónico, en este bioensayo se implementó un sistema de cámara húmeda simplificado. Para ello, se colocaron discos de papel filtro recortados a la medida en el fondo de cajas Petri de plástico estériles. El papel fue humedecido uniformemente con agua destilada estéril, asegurando

una atmósfera saturada que previno la deshidratación biológica del tejido vegetal y de las ninfas durante el confinamiento.

2. **Tratamiento y disposición del material foliar:** Se seleccionaron hojas las cuales se recortaron para mantener un número de ninfas homogéneo en cada repetición, como segunda modificación al método estandarizado (el cual sugiere el empleo de discos de hoja homogéneos obtenidos con sacabocados), el material vegetal se seccionó manualmente en fragmentos uniformes. Antes de sumergir cada réplica, se agitaba la solución con una varilla de vidrio; cada fragmento foliar se sumergió individualmente durante 5 segundos en los vasos de precipitado con las soluciones correspondientes a cada tratamiento. Una vez eliminado el excedente de líquido superficial, se dispusieron de manera equidistante tres repeticiones por caja Petri sobre el papel filtro húmedo.

Evaluación de mortalidad

La evaluación de mortalidad se realizó 24 horas después de haber aplicado el tratamiento, bajo el microscopio estereoscópico y con la ayuda de un pincel se contabilizaron ninfas muertas, ninfas vivas y el total. De acuerdo con los criterios taxonómicos y toxicológicos descritos por Castellanos-Ramírez, (2017), se consideraron oficialmente como insectos muertos aquellas ninfas que cumplieron con las siguientes características morfológicas y fisiológicas:

- **Ausencia de respuesta al estímulo mecánico:** Inmovilidad total y falta de reacción autónoma tras recibir un estímulo o roce directo aplicado con las cerdas de un pincel.
- **Alteraciones cromáticas:** Pérdida de la coloración natural, manifestando un cambio de tonalidad hacia un aspecto visiblemente más opaco.
- **Degradación estructural:** Cuerpos flácidos, blandos o con un grado evidente de deshidratación celular.

Análisis estadístico

Inicialmente, la mortalidad fue corregida por medio de la fórmula de Henderson y Tilton (1955). Las medias obtenidas fueron contrastadas mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$), mientras que los valores de (CL_{50}) se calcularon a partir de un análisis Probit. Todos los procedimientos estadísticos se llevaron a cabo empleando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las NPs-Gr mostraron que, por sí solas, tienen un efecto insecticida proporcionalmente relacionado con la concentración (Cuadro 1.), desde 1 % (6.39 %) hasta 10 % (34.6 %); se observó un aumento notable en la susceptibilidad de las ninfas, elevando la mortalidad. Estos datos indican que, si bien las NPs-Gr poseen una actividad insecticida intrínseca moderada, su efectividad biológica incrementa conforme se eleva el porcentaje de partículas utilizadas. Este aumento de mortalidad concuerda con Lampiri *et al.* (2025), en el que las NPs-Gr se adhieren a la cutícula, sugiriendo que interfieren con los espiráculos, interrumpiendo su respiración y alterando la cutícula. Sin embargo, Lei *et al.* (2026) indican que pueden inducir estrés oxidativo y daño fisiológico.

Asimismo, la eficacia de las NPs-Gr obtenida en este estudio fue inferior a la reportada para otros nanomateriales de carbono. Ali *et al.* (2023) obtuvieron altas mortalidades en *Thrips tabaci* con nanotubos de carbono utilizando únicamente 0.05 %, mientras que Lampiri *et al.* (2025) registraron hasta 98.3 % de mortalidad con grafeno a 1000 ppm en *Sitophilus zeamais*. Estas diferencias probablemente se deben a las propiedades fisicoquímicas de cada nanomaterial, así como a la especie evaluada, la estructura de la cutícula y las condiciones experimentales.

Cuadro 1. Mortalidad de ninfas de *B. cockerelli* expuestas a nanopartículas de grafito a las 24 h.

NPs-Gr solo	Mortalidad %
1%	6.39
3%	8.55
5%	22.78
10%	34.6

Los resultados obtenidos en los ensayos con ninfas de *B. cockerelli* (Cuadro 2) demuestran una relación directamente proporcional entre la concentración de nanopartículas de grafito y la mortalidad del insecto. Mientras que a dosis mínimas de 3 ppm de Producto solo la mortalidad es limitada (8.99 % a 42 %), se observa un incremento crítico a partir de las 500 ppm, donde la combinación con un 10 % de Flupyradifurone alcanza un 97.6 % de eficacia, culminando en un control total (100 %) al emplear 2000 ppm de grafito. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Chen *et al.* (2022), quienes al utilizar una mezcla de grafeno y lambda-cialotrina (3:1) lograron mortalidades del 62.91 % en *Helicoverpa armigera*, permitiendo reducir el uso del insecticida en una cuarta parte. Por otro lado, los datos de Li *et al.* (2022) refuerzan esta tendencia al demostrar que el óxido de grafeno potencia la toxicidad de diversos insecticidas en *Spodoptera frugiperda*, destacando un incremento de hasta 2.53 veces en la eficacia del metoxifenoazida. Esta interacción sinérgica se explica mediante un mecanismo biomecánico donde los nanomateriales de carbono actúan como un "caballo de Troya" para el ingrediente activo. Chen *et al.* (2022), mencionan que el grafeno destruye físicamente las espinas epicuticulares y la capa de cemento del insecto, creando micro canales que aumentan la permeabilidad de la cutícula. Por otro lado, Li *et al.* (2022) sugieren que la conjugación entre los anillos aromáticos de los pesticidas y la estructura del nanomaterial mejora la adsorción y estabilidad del químico, provocando además un daño mecánico que induce la rápida desecación del espécimen.

Cuadro 2. Mortalidad a las 24 h de ninfas de *B. cockerelli* expuestas a nanopartículas de grafito e insecticida Flupyradifurone.

Nanopartículas de grafito (%) Flupyradifurone					
ppm	P.S.	1 %	3 %	5 %	10 %
3	8.99 f	17.97 f	20.77 f	27.96 f	42.0 f
10	9.56 e	25.00 e	36.41 e	71.32 e	72.6 e
100	53.13 d	47.14 d	45.87 d	80.10 d	74.3 d

500	77.50 c	68.90 c	81.38 c	90.53 c	97.6 c
1000	80.48 b	79.69 b	91.35 b	92.97 b	99.2 b
2000	86.61 a	88.59 a	92.72 a	97.44 a	100.0 a

Los resultados del cuadro 3 muestran que la mortalidad de las ninfas aumentó conforme se incrementaron tanto la concentración de nanopartículas de grafito como el porcentaje del insecticida Etos, lo que sugiere un efecto sinérgico entre ambos componentes. A bajas concentraciones de grafito, 3-10 ppm, la mortalidad fue reducida, especialmente con 1 % y 3 % del insecticida. Sin embargo, al aumentar la concentración hasta 100 ppm, la eficacia del tratamiento mejoró notablemente, alcanzando 89.3 % de mortalidad con 10 % de insecticida. A partir de 500 ppm, la mortalidad superó el 85 % en los tratamientos con 5 % y 10 % del insecticida, logrando un control del 100 % con 2000 ppm y 10 %.

Los resultados obtenidos indican que la combinación de nanopartículas de grafito con el insecticida Etos incrementó la mortalidad de *B. cockerelli*, lo que sugiere un efecto sinérgico entre ambos componentes. Estos hallazgos coinciden con Lampiri *et al.* (2025), quienes reportaron que el grafeno potencia la eficacia de biopesticidas al facilitar la penetración de los compuestos activos mediante el daño físico a la cutícula de los insectos.

Por otra parte, la alta eficacia del insecticida Etos también puede relacionarse con las propiedades insecticidas de los extractos vegetales que lo componen. Ahmedi *et al.* (2024) reportaron que extractos de *Capsicum annuum* y *Brassica nigra* alcanzan una mortalidad del 100 % en pulgones y ninfas de mosca blanca, efecto atribuido a metabolitos secundarios como flavonoides, alcaloides y saponinas. Asimismo, Fasasi *et al.*, (2019) señalaron que el aceite esencial de *Piper nigrum* presenta una elevada actividad repelente y larvicida, con una baja concentración letal para provocar la mortalidad de insectos. En conjunto, estos antecedentes respaldan que la combinación de extractos botánicos con nanopartículas de grafito puede potenciar la actividad insecticida y explicar los elevados niveles de control registrados en los tratamientos evaluados

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

Nanopartículas de grafito (%) Etos					
ppm	P.S.	1 %	3 %	5 %	10 %
3	33.88 f	3.78 f	22.18 f	22.92 f	27.3 f
10	44.21 e	11.30 e	26.92 e	30.3 e	69.46 e
100	47.50 d	13.62 d	73.88 d	74.02 d	89.3 b
500	56.67 c	40.63 c	76.48 c	85.84 c	87.0 c
1000	69.41 b	56.61 b	79.87 b	90.93 b	85.9 d
2000	79.13 a	80.66 a	91.70 a	97.66 a	100.0 a

La combinación de nanopartículas de grafito y el insecticida Bio-Alin (Cuadro 4) compuesto por extractos de *Allium sativum*, *Ruta graveolens*, *Matricaria chamomilla*, entre otros, presenta el mismo patrón que en los cuadros anteriores (2,3) aumento de mortalidad en relación al aumento de ppm, alcanzando una mortalidad máxima del 55.32 % con 2000 ppm de grafito y 10 % de Bio-Alin sin embargo Khandehroo *et al.* (2024) evaluaron nanopartículas de quitosano que contenían aceites esenciales de ajo y canela contra *Tribolium castaneum*, resultando en una mayor repelencia y un efecto adverso sobre los índices nutricionales de la plaga en comparación con los aceites solos, la baja mortalidad obtenida se pudiera atribuir a que los extractos tienen mayor efecto repelente que efecto insecticida.

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

Nanopartículas de grafito (%) Bio-Alin					
ppm	P.S.	1 %	3 %	5 %	10 %
3	6.40 f	9.68 f	14.74 f	18.98 f	29.67 f
10	8.82 e	11.28 e	19.46 e	19.84 e	34.29 e
100	10.66 d	12.59 d	23.68 d	26.26 d	38.14 d
500	18.13 c	13.39 c	25.90 c	32.58 c	42.95 c
1000	23.53 b	15.34 b	27.06 b	37.66 b	46.84 b
2000	27.97 a	23.74 a	34.07 a	40.26 a	55.32 a

Los resultados de la prueba probit de CL50 (Cuadro 5) mostraron una disminución en relación al aumento de ppm de NPs-Gr, pasando de 109.48 ppm (control) a 4.36 ppm (10 %), lo que significa una disminución considerable en la dosis requerida para obtener la misma mortalidad del producto solo, aumentando de 1.36x a 25.09x, indicando que las nanopartículas multiplican la eficacia del Flupyradifurone hasta 25 veces, lo que concuerda con Chen *et al.* (2022) ya que sus resultados indican que grafeno potencia la actividad insecticida en proporciones de 3:1 obteniendo tazas de mortalidad de 61 % en gusano del algodón. Por otro lado, Li *et al.* (2022) demostraron que el óxido de grafeno aumentó la toxicidad de metoxihidrazida hasta 2.53.

Cuadro 4. Dosis letal en ninfas de *B. cockerelli* de Flupyradifurone a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.

Flupyradifurone						
Concentración de grafito (%)	CL ₅₀ (ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
Control	109.48891	81.39704	145.54333	$Y=-1.961+0.961$	<.0001	
1	80.46125	55.54239	114.36287	$Y=-1.388+0.728$	<.0001	1.36X
3	40.80864	12.09846	103.23620	$Y=-1.277+0.792$	<.0001	2.68X
5	6.62829	0.55342	22.02178	$Y=-0.610+0.743$	<.0001	16.51X
10	4.36354	0.13037	16.31726	$Y=-0.535+0.837$	<.0001	25.09X

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

La combinación de Etos y NPs-Gr presentaron una DL₅₀ variable en la que el control presenta una DL₅₀ de 50.52 ppm y en la concentración de 1 % eleva la CL₅₀ hasta 272.92 ppm indicándonos un efecto antagónico en bajas concentraciones a partir de 3 % se comporta con un efecto sinergista reduciendo la CL₅₀, estos resultados coinciden con los resultados de Lampiri *et al.* (2025) ya que obtuvieron resultados que indicaron que la combinación de grafeno y spinosad incrementaron la mortalidad en insectos de granos almacenados en comparación a productos solos.

Cuadro 5. Dosis letal en ninfas de *B. cockerelli* de Etos a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.

Etos						
Concentración de grafito (%)	CL ₅₀ (ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
Control	50.52407	22.9034	97.446	$Y=-0.617+0.362$	<.0001	
1	572.92320	199.518	2865	$Y=-2.401+0.870$	<.0001	0.088X
3	38.07068	12.535	88.390	$Y=-1.156+0.731$	<.0001	1.32X
5	25.68002	18.008	35.405	$Y=-1.279+0.907$	<.0001	1.96X

10	6.31976	0.003	37.398	$Y=-0.565+0.706$	0.0003	7.99X
----	---------	-------	--------	------------------	--------	-------

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

Los valores obtenidos de la combinación de Bio-Alin / NPs-Gr (Cuadro 7) presentaron valores más altos en concentraciones bajas en comparación con el control CL₅₀ 184349 ppm al 1 % presentó una DL₅₀ de 595,022,865 ppm indicándonos una baja toxicidad en los extractos de Bio-Alin, no obstante el incremento de NPs-Gr demuestra una sinergia exponencial significativa conforme se aumenta las nanopartículas (CULTA, 2024) esta mezcla de extractos tiene un efecto anti alimentario y repelente lo que explicaría su baja toxicidad sin embargo, Araujo-Yepetz *et al.* (2023) evaluaron la efectividad del aceite de eucalipto y romero en combinación con nanopartículas de azufre, obteniendo que las mezclas de nanopartículas con de aceite de eucalipto de 0,25 %, 0,5 % y 0,75 %, y los nanocompuestos de aceite de romero 0,5 % presentan una eficacia insecticida del 100 % para el control de ninfas de insectos a las 24 h.

Cuadro 6. Dosis letal en ninfas de *B. cockerelli* de Bio-Alin a diferentes concentraciones de nanopartículas de grafito a las 24 h.

Bio-Alin						
Concentración de grafito (%)	CL ₅₀ (ppm)	LFI	LFS	Ec. Predicción	P-valor	RS
Control	184349	24154	1668715	$Y=-1.745+0.331$	<.0001	
1	595,022,865	734686	4.83886	$Y=-1.415+0.161$	0.0108	0.0003X
3	832657	28656	2.26838	$Y=-1.101+0.186$	0.0009	0.221X
5	29660	4620	28202	$Y=-1.051+0.235$	<.0001	6.21X
10	1620	437.848	30116	$Y=-0.646+0.201$	<.0001	113.79X

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

CONCLUSIÓN

Los resultados de este trabajo demuestran que las nanopartículas de grafito son potenciadoras con alta sinergia en combinación con ingredientes activos químicos y orgánicos, reduciendo de manera significativa la dosis e incrementando la mortalidad hasta el 100 %, por lo que se puede implementar como manejo integrado de plagas y es necesario realizar pruebas en campo para confirmar estos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, N. M. M. (2008). Life history of the potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: *Psyllidae*) in controlled environment agriculture in Arizona. *Afr. J. Agric. Res.*, 3(1), 60-67. Guédot, C.
- Acuña, I., Sandoval, C., Sepúlveda, C. (2021). Enfermedades de la papa: Plataforma de evaluación de riesgo sanitario. INIA, Chile. <http://enfermedadespapa.inia.cl>
- Aguilar, E., Sengoda, VG, Bextine, B., McCue, K. y Munyaneza, J. (2013). Primer Informe de "Candidatus *Liberibacter solanacearum*" sobre Tomate en Honduras. *Enfermedad de las plantas*, 97 10 , 1375. <https://doi.org/10.1094/pdis-04-13-0354-pdn>
- Ahmadu, T., Abdullahi, A., & Ahmad, K. (2021). The role of crop protection in sustainable potato (*Solanum tuberosum* L.) production to alleviate global starvation problem: An overview. *IntechOpen*.
- Ain, N., Naz, I., Maria, Alam, S. S., & Haris, M. (2024). Assessment of Susceptibility of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivars to Root Lesion Nematode, *Pratylenchus penetrans*, and Disease Impact on Plant Growth and Tuber Weight. *Potato Research*, 68(2), 1545–1569. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09793-2>
- Alfaro-Martínez, C. R., Saldaña-Torres, D. R., Godínez-Ríos, M. G., Verde-Millán, J. C., Trujillo-Rodríguez, G. de J., López-Rodríguez, M. P., Martínez-de-Villarreal, L. E., Flores-Suarez, A. E., Ponce-García, G., & Rodríguez Sánchez, I. P. (2018). Las enfermedades emergentes transmitidas por vectores: *Biología y Sociedad*, 1(1), 75–84. <https://doi.org/10.29105/bys1.1-62>
- An, C., Sun, C., Li, N., Huang, B., Jiang, J., Shen, Y., Wang, C., Zhao, X., Cui, B., Wang, C., Li, X., Zhan, S., Gao, F., Zeng, Z., Cui, H., & Wang, Y. (2022). Nanomateriales y nanotecnología para la administración de agroquímicos: estrategias hacia una agricultura sostenible. *Journal of Nanobiotechnology*, 20. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01214-7>
- Araujo-Yepez, LS, Tiger-Salas, JO, Delgado-Rodriguez, VA, Aguirre-Yela, VA y Villota-Mendez, JN (2023). Nanocompuestos de azufre con efecto insecticida para el

control de *Bactericera cockerelli*. [Beilstein Journal of Nanotechnology](#), 14 , 1106–1115

- Ayanda, O., Mmuoegbulam, A., Okezie, O., Iya, N. D. I., Mohammed, S. E., James, P., Muhammad, A. B., Unimke, A., Alim, S., Yahaya, S. M., Ojo, A., Adaramoye, T., Ekundayo, S. K., Abdullahi, A., & Badamasi, H. (2024). Recent progress in carbon-based nanomaterials: critical review. *Journal of Nanoparticle Research*, 26. <https://doi.org/10.1007/s11051-024-06006-2>
- AYDIN, M. H. (2022). *Rhizoctonia solani* and Its Biological Control. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(1), 118–135. <https://doi.org/10.19159/tutad.1004550>
- Bagheri, B., Surwase, S. S., Lee, S. S., Park, H., Faraji Rad, Z., Trevaskis, N. L., & Kim, Y.-C. (2022). Carbon-based nanostructures for cancer therapy and drug delivery applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 10(48), 9944–9967. <https://doi.org/10.1039/d2tb01741e>
- Barón, M. P. B., Almasia, N. I., Nahirñak, V., Zavallo, D., Diaz, D. D. R., Asurmendi, S., ... & Rovere, C. V. (2025). Durable Resistance to PVY and PLRV in Transgenic Potato Under Greenhouse and Field Conditions. <https://www.preprints.org/manuscript/202512.1378>
- Belabess, Z., Tahiri, A., & Lahlali, R. (2025). From Symptoms to Solutions: A Deep Dive Into *Potato Leaf Roll Virus* Pathology. *Journal of Crop Health*, 77. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-01096-3>.
- Beltrán-Beache M, Delgado-Ortíz JC, Ochoa-Fuentes YM; Cerna Chávez E (2022) Variación genética de *Bactericera cockerelli* Šulc. (*Hemiptera: Triozidae*) sugiere nuevo haplotipo en México. *Revista Colombiana De Entomología*, 48(2). <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i2.11094>
- Bendjazia, R., Dris, D., Seghier, H., Essid, R., Jallouli, S., Tabbene, O., & Bouabida, H. (2025). Analysis of the chemical properties and larvicidal activity of essential oils from *Ruta graveolens* and *Ruta montana* against *Culiseta longiareolata*: Toxicity, enzymatic and biochemical alterations. *South African Journal of Botany*, 180, 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.03.029>

- Berdúo-Sandoval, J. E., Ruiz-Chután, J. A., Méndez, L., Mejía, L., Maxwell, D., & Sánchez-Pérez, A. (2020). Detección de patógenos asociados a la enfermedad punta morada en los cultivos de pape y tomate en Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 7(2), 205-217.
- Bhoi, T., Samal, I., Majhi, P., Komal, J., Mahanta, D., Pradhan, A., Saini, V., Raj, N., Ahmad, M., Behera, P., & Ashwini, M. (2022). Insight into aphid mediated *Potato Virus Y transmission*: A molecular to bioinformatics prospective. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1001454>.
- Bianco, A., Cheng, H. M., Enoki, T., Gogotsi, Y., Hurt, R. H., Koratkar, N., ... & Zhang, J. (2013). All in the graphene family—A recommended nomenclature for two-dimensional carbon materials. *Carbon*, 65, 1-6.
- Blume, L., Long, T. E., & Turos, E. (2023). Applications and Opportunities in Using Disulfides, Thiosulfinates, and Thiosulfonates as Antibacterials. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), 8659. <https://doi.org/10.3390/ijms24108659>
- Bouamrane, Z., Belattar, H., Boutellaa, S., Menakh, M., Derbal, N., Yıldız, I., & Erenler, R. (2025). Dual control of mosquito and stored grain pests by two Algerian *Ruta* species: novel insights into chemical profiling and molecular docking. *International Journal of Tropical Insect Science*, 45(6), 2773–2789. <https://doi.org/10.1007/s42690-025-01623-3>
- Butler, C. D., & Trumble, J. T. (2012). Identification and impact of natural enemies of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in Southern California. *Journal of Economic Entomology*, 105(5), 1509-1519.
- Butler, C. D., & Trumble, J. T. (2012). The potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc)(Hemiptera: Triozidae): life history, relationship to plant diseases, and management strategies. *Terrestrial arthropod reviews*, 5(2), 87-111.
- CABI, & EPPO. (2015). *B. cockerelli* . [Distribution map]. Distribution Maps of Plant Pests. <https://doi.org/10.1079/dmpp/20153229067>
- CABI. *Leptinotarsa decemlineata* [Distribution map]. Distribution Maps of Plant Pests. 2005 Dec; Map 139 (Revised). Available from: <https://doi.org/10.1079/DMPP20056600139>

- Cabrera, I. M., Ortiz, D. M., & Díaz, H. L. B. (2022). Influencia de la temperatura y agentes de control biológico sobre *Bactericera cockerelli* (Sulzer)(Hemiptera: Psyllidae). *Revista de Protección Vegetal*, 37(2), cu-id.
- Caicedo, J. D., Simbaña, L., Calderón, D., Lalangui, K. P., & Rivera-Vargas, L. (2020). First report of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' in Ecuador and in South America. *Australasian Plant Disease Notes*, 15. <https://doi.org/10.1007/s13314-020-0375>
- Campos, M. S. (2023). Insectos vectores de fitopatógenos que afectan al cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cuba. Elementos para su identificación y manejo. *Revista de Protección Vegetal*, 38, cu-id.
- Cárdenas-Huamán, G., Morocho-Romero, H., Casas-Niño, S., Vilchez-Navarro, S., Velarde-Apaza, L., Ramírez-Rojas, M., Cruz, J., & Lozano-Isla, F. (2025). Efficacy of Biological and Chemical Control Agents Against the Potato Psyllid (*B. cockerelli* Šulc) Under Field Conditions. *International Journal of Plant Biology*. <https://doi.org/10.3390/ijpb16040136>.
- Caspary, R., Wosula, E. N., Issa, K. A., Amour, M., & Legg, J. P. (2023). Cutting Dipping Application of Flupyradifurone against Cassava Whiteflies *Bemisia tabaci* and Impact on Its Parasitism in Cassava. *Insects*, 14(10), 796. <https://doi.org/10.3390/insects14100796>
- Chandi, R. S. (2020). Integrated Management of Insect Vectors of Plant Pathogens. *Agricultural Reviews*, Of. <https://doi.org/10.18805/ag.r-1982>
- Charkowski, A. (2018). The Changing Face of Bacterial Soft-Rot Diseases.. *Annual review of phytopathology*, 56, 269-288 . <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045906>.
- Chaudhary, A., Yadav, J., Gupta, A., & Gupta, K. (2021). INTEGRATED DISEASE MANAGEMENT OF EARLY BLIGHT (ALTERNARIA SOLANI) OF POTATO. *Tropical Agrobiodiversity*. <https://doi.org/10.26480/trab.02.2021.77.81>.
- Chaudhary, S., Lal, M., Sagar, S., Sharma, S., & Kumar, M. (2023). Black scurf of potato: Insights into biology, diagnosis, detection, host-pathogen interaction, and management strategies. *Tropical Plant Pathology*, 49(2), 169–192. <https://doi.org/10.1007/s40858-023-00622-4>

- Chávez, E. C., Bautista, O. H., Flores, J. L., Uribe, L. A., & Fuentes, Y. M. O. (2015). Insecticide-Resistance Ratios of Three Populations of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psylloidea: Triozidae) in Regions of Northern Mexico. *Florida Entomologist*, 98(3), 950–953. <https://doi.org/10.1653/024.098.0322>
- Chávez, E. C., Beache, M. B., Fuentes, Y. M. O., Bautista, O. H., & Ortiz, J. C. D. (2021). *Bactericera cockerelli* vector de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, morfometría y haplotipos en poblaciones de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (26), 81-94.
- Cooper, W. R., Horton, D. R., Miliczky, E., Wohleb, C. H., & Waters, T. D. (2019). The weed link in zebra chip epidemiology: Suitability of non-crop Solanaceae and Convolvulaceae to potato psyllid and “*Candidatus Liberibacter solanacearum*”. *American Journal of Potato Research*, 96(3), 262-271.
- Cooper, W. R., Sengoda, V. G., & Munyaneza, J. (2014). Localization of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ (Rhizobiales: Rhizobiaceae) in *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). 204 - 210. <https://doi.org/10.1603/an13087>
- Corrêa, E. J. A., Carvalho, F. C., de Castro Oliveira, J. A., Bertolucci, S. K. V., Scotti, M. T., Silveira, C. H., Guedes, F. C., Melo, J. O. F., de Melo-Minardi, R. C., & de Lima, L. H. F. (2023). Elucidating the molecular mechanisms of essential oils’ insecticidal action using a novel cheminformatics protocol. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29981-3>
- Correa, Y., Gamarra, H., & Kreuze, J. F. (2023). Identificación morfológica y molecular del Psílido de la papa *Bactericera cockerelli*. *Procedimientos operativos estándar (SOP)*.
- Cranshaw, W. S. (2019). Psílicos de la papa o el tomate (Ficha Técnica No. 5.540). Colorado State University Extension. <https://extension.colostate.edu>
- Czajkowski, R., Pérombelon, M., Veen, J., & Wolf, J. (2011). Control of blackleg and tuber soft rot of potato caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* species: a review.. *Plant Pathology*, 60, 999-1013. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02470.x>.
- Dávila Medina, M. D., Cerna Chávez, E., Aguirre Uribe, L. A., García Martínez, O., Ochoa Fuentes, Y. M., Gallegos Morales, G., & Landeros Flores, J. (2012). Susceptibility

- and resistance mechanisms to insecticides in *Bactericera cockerelli* (Sulc.) in Coahuila, Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1145-1155.
- Deepika, T., Sivakumar, T., Balabaskar, P., Radha Krishnan, G., & Anbu, A. Synergism of Famoxadone and Cymoxanil in the management of *Alternaria solani* on potato (*Solanum tuberosum* L).
- Delgado-Luna, C., Cooper, W., Villarreal-Quintanilla, J., Juárez, A. H., & Sanchez-Peña, S. (2023). *Physalis virginiana* as a wild field host of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) and *Liberibacter solanacearum*. Plant disease. <https://doi.org/10.1094/pdis-02-23-0350-re>
- Demissie, Y. (2019). Integrated Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Late Blight (*Phytophthora Infestans*) Disease Management in Ethiopia. *American Journal of BioScience*. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20190706.16>.
- Díaz-Valasis, M., Cadena-Hinojosa, M. A., Rojas Martínez, R. I., Zavaleta-Mejía, E., Ochoa Martínez, D., & Bujanos Muñiz, R. (2008). Respuesta de variedades de papa al psílido (*Bactericera cockerelli*) bajo condiciones de invernadero. *Agricultura técnica en México*, 34(4), 471-479.
- Díez-Pascual, A. (2021). Carbon-Based Nanomaterials. *International Journal of Molecular Sciences*, 22. <https://doi.org/10.3390/ijms22147726>
- Dzedaev, H., Gazdanova, I., & Bekmurzov, B. (2023). Biological control of *Phytophthora infestans* in potatoes. *Agrarian Bulletin of the*. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-09-2-10>.
- E. R. Echegaray, A. C. Vinchesi, S. I. Rondon, J. M. Alvarez, N. McKinley, Potato Psyllid (Hemiptera: Triozidae) Response to Insecticides Under Controlled Greenhouse Conditions, *Journal of Economic Entomology*, Volume 110, Issue 1, February 2017, Pages 142–149, <https://doi.org/10.1093/jee/tow259>
- Eddin, L. B., Jha, N. K., Goyal, S. N., Agrawal, Y. O., Subramanya, S. B., Bastaki, S. M. A., & Ojha, S. (2022). Health Benefits, Pharmacological Effects, Molecular Mechanisms, and Therapeutic Potential of α -Bisabolol. *Nutrients*, 14(7), 1370. <https://doi.org/10.3390/nu14071370>
- EFSA Panel on Plant Health (EFSA PLH Panel), Jeger, M., Bragard, C., Caffier, D., Candresse, T., Chatzivassiliou, E., Dehnen-Schmutz, K., Gilioli, G., Grégoire, J.,

- Jaques Miret, J. A., Navajas Navarro, M., Niere, B., Parnell, S., Potting, R., Rafoss, T., Rossi, V., Urek, G., Van Bruggen, A., Van der Werf, W., Jonathan West.,Stephan Winter., Ciro Gardi., Filippo Bergeretti y Alan MacLeod, A. (2018). Pest categorisation of *Tecia solanivora* [JB]. EFSA Journal, 16(1). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5102>
- El-Khawaga, AM, Zidan, A., & El-Mageed, A. (2023). Métodos de preparación de diferentes nanomateriales para diversas aplicaciones potenciales: Una revisión. Journal of Molecular Structure . <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.135148>
- EPPO. (2025). *B. cockerelli* (PARZCO) [Mapa de distribución]. EPPO Global Database. Recuperado el 11 de abril de 2026, de <https://gd.eppo.int/taxon/PARZCO/distribution>
- Félix-Rocha, A. C., Delgado-Luna, C., Cooper, W. R., Villarreal-Quintanilla, J., & Sanchez-Peña, S. (2024). *Margaranthus solanaceus* , a New Weed Host Plant for *Bactericera cockerelli* and *Candidatus Liberibacter solanacearum* on the Gulf Coastal Plain of Northeastern Mexico. Southwestern Entomologist, 49, 185 - 191. <https://doi.org/10.3958/059.049.0115>
- Fincheira, P., Hoffmann, N., Tortella, G., Ruíz, A., Cornejo, P., Diez, MC, Seabra, A., Benavides-Mendoza, A., & Rubilar, O. (2023). Sistemas ecoeficientes basados en nanotransportadores para la liberación controlada de fertilizantes y pesticidas: Hacia una agricultura inteligente. Nanomaterials, 13. <https://doi.org/10.3390/nano13131978>
- Gao, Y., Alyokhin, A., Prager, S., Reitz, S., & Huseeth, A. (2024). Complexities in the Implementation and Maintenance of Integrated Pest Management in Potato.. Annual review of entomology. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120523-023156>.
- Ghuge, A. D., Shirode, A., & Kadam, V. (2017). Graphene: A Comprehensive Review.. Current drug targets, 18 6, 724-733 . <https://doi.org/10.2174/1389450117666160709023425>
- Giguère, T., El Marahi, C., Lunel, C., Bussy, M., Andruszkow, L., Paty, C., Cortesero, A. M., & Hervé, M. R. (2026). Host Rejection of the White Mustard (*Sinapis alba*) by a Major Oilseed Rape Pest Is Driven by the Avoidance of Sinalbin. Journal of Chemical Ecology, 52(3). <https://doi.org/10.1007/s10886-026-01724-4>

- Guédot, C., Horton, D. R., & Landolt, P. J. (2012). Age at reproductive maturity and effect of age and time of day on sex attraction in the potato psyllid *Bactericera cockerelli*. *Insect Science*, 19(5), 585–594. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2011.01498.x>
- Guzmán-Pedraza, A. O., Martínez, A., Rebollar-Alviter, Á., Palma-Castillo, L. J., Morales-Alonso, S. I., Chavarrieta-Yáñez, J. M., Figueroa, J., & Pineda, S. (2024). Efficacy of a mirid predator and an eulophid parasitoid to the tomato potato psyllid *Bactericera cockerelli* control on pepper plants. *BioControl*, 69, 39 - 51. <https://doi.org/10.1007/s10526-024-10240-x>
- Hadef, F. (2018). An Introduction to Nanomaterials. In *Environmental Chemistry for a Sustainable World* (pp. 1–58). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76090-2_1
- Hazarika, A., Yadav, M., Yadav, D., & Yadav, HS (2022). Una visión general del papel de las nanopartículas en la agricultura sostenible. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* . <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102399>
- Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. del R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2020). *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2972–2993. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>
- Holgado, R., & Magnusson, C. (2012). Nematodes as a Limiting Factor in Potato Production in Scandinavia. *Potato Research*, 55(3–4), 269–278. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9209-6>
- Horton, D. R., & Landolt, P. J. (2012). Age at reproductive maturity and effect of age and time of day on sex attraction in the potato psyllid *Bactericera cockerelli*. *Insect Science*, 19(5), 585–594. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2011.01498.x>
- Hugouvieux-Cotte-Pattat, N., Condemine, G., & Shevchik, V. E. (2014). Bacterial pectate lyases, structural and functional diversity. *Environmental microbiology reports*, 6(5), 427-440.

- Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A., & Bukhari, A. (2020). Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. *Green chemistry letters and reviews*, 13(3), 223-245.
- Insecticide Resistance Action Committee [IRAC]. (2021). Insecticide Resistance Action Committee Susceptibility Test Method 032: Test method for Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri*). IRAC International. irac-online.org
- Jácome-Mogro, E. J., Auz-Carvajal, D., Marín-Quevedo, K., Mogro-Cepeda, Y., & Jiménez-Jácome, C. (2022). Ciclo biológico de *Bactericera cockerelli*, vector de la enfermedad de punta morada (*Candidatus liberobacter*) en solanáceas, en los andes centrales ecuatorianos. *Revista Investigación Agraria*, 4(1), 26-37.
- Jacques Jr, R. L., & Fasulo, T. R. (2009). Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) and False Potato Beetle, *Leptinotarsa juncta* (Germar)(Insecta: Coleoptera: Chrysomelidae): EENY146/IN303, rev. 10/2009. EDIS, 2009(10).
- Jeschke, P., Nauen, R., Gutbrod, O., Beck, M. E., Matthiesen, S., Haas, M., & Velten, R. (2015). Flupyradifurone (Sivanto™) and its novel butenolide pharmacophore: Structural considerations☆. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.10.011>
- Jikah, A. N., & Edo, G. I. (2023). Mechanisms of action by sulphur compounds in *Allium sativum*. A review. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, 9, 100323. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100323>
- Kalyabina, V. P., Esimbekova, E., Kopylova, K., & Kratasyuk, V. (2021). Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health – a review. *Toxicology Reports*, 8, 1179 - 1192. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.06.004>
- Kenzhebekova, R., Pozharskiy, A., Adilbayeva, K., & Gritsenko, D. (2025). Molecular Mechanisms of Potato Plant–Virus–Vector Interactions. *Plants*, 14. <https://doi.org/10.3390/plants14152282>.
- Khandehroo, F., Moravvej, G., Farhadian, N., & Ahmadzadeh, H. (2024). Enhanced repellent and anti-nutritional activities of polymeric nanoparticles containing essential oils against red flour beetle, *Tribolium castaneum*. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69318-2>

- Kodandaram, M. H., Divekar, P. A., Wangi, N., Mohite, N. R., & Rai, A. B. (2024). Optimizing sucking pest control in okra: an analysis of flupyradifurone 200 SL effectiveness, phytotoxicity, safety to natural enemies, pollinators and cost-efficiency. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131(3), 757–771. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00885-2n>
- Křížkovská, B., Viktorová, J. y Lipov, J. (2022). Patatas genéticamente modificadas (*Solanum tuberosum*) aprobadas para mejorar la resistencia al estrés y la seguridad alimentaria. *Revista de Química Agrícola y Alimentaria*, 70 (38), 11833–11843
- Kumar, U., & Chandra, G. (2018). A brief review of potash management in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7, 1718-1721.
- Leite, A. S., & Santos, J. S. (2021). Potencial antimicrobiano de *Allium sativum* L.: uma revisão. *Research, Society and Development*, 10(14), e108101421699. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21699>
- Li, G., Shao, J., Wang, Y., Liu, T., Tong, Y., Jansky, S., Xie, C., Song, B., & Cai, X. (2022). Rychc Confers Extreme Resistance to *Potato virus Y* in *Potato*. *Cells*, 11(16), 2577. <https://doi.org/10.3390/cells11162577>
- Li, L., Zhu, T., Wen, L., Zhang, T., & Ren, M. (2024). Biofortification of potato nutrition. *Journal of Advanced Research*, 75, 23 - 34. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2024.10.033>.
- Li, Y., Yu, Y., Xu, L., Guo, E., Zang, Y., He, Y., & Zhu, Z. (2021). Transcriptome Profiling Reveals Candidate Key Genes Involved in Sinigrin Biosynthesis in *Brassica nigra*. *Horticulturae*, 7(7), 173. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070173>
- Liefting, L., Weir, BS, Pennycook, S., & Clover, G. (2009). '*Candidatus Liberibacter solanacearum*', asociado con plantas de la familia Solanaceae. *Revista internacional de microbiología sistemática y evolutiva*, 59 Pt 9, 2274-6. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.007377-0>
- MA, G., AF, S., & SB, F. (2024). Histological Investigations on Potato Tuber Moths, *Phthorimaea operculella* Treated with a Botanical Extract of Basil (*Ocimum basilicum* L), with Particular Attention to the Alterations in the Ultrastructure of the Larval

Digestive Tract. Asian Journal of Biology, 20(11), 25–36.
<https://doi.org/10.9734/ajob/2024/v20i11446>

Maurya, M. K., Ram, C. N., Singh, S. K., Dalal, P. K., Singh, V., . H., Kumar, G., & Singh, D. (2025). Late Blight of Potato Caused by *Phytophthora infestans* and its Integrated Management: A Review. Agricultural Reviews, Of. <https://doi.org/10.18805/ag.r-2863>

Mekuye, B., & Abera, B. (2023). Nanomateriales: Una visión general de la síntesis, clasificación, caracterización y aplicaciones. Nano Select . <https://doi.org/10.1002/nano.202300038>

Melgoza Villagómez, C. M., León Sicairos, C. D. R., López Valenzuela, J. Á., Hernández Espinal, L. A., Velarde Félix, S., & Garzón Tiznado, J. A. (2018). Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Bactericera cockerelli* Sulc asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(3), 499-509.

Melnyk, N., Nyczka, A., Piwowarski, J. P., & Granica, S. (2024). Traditional Use of Chamomile Flowers (Matricariae flos) in Inflammatory-Associated Skin Disorders. In Prospects in Pharmaceutical Sciences 22 (4), 59-73, 2024.

Mendoza-Herrera, A., Levy, J., Harrison, K., Yao, J., Ibáñez, F. y Tamborindeguy, C. (2018). Infección por los haplotipos A y B de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Solanum lycopersicum* 'Moneymaker'. Enfermedad de las plantas, 102 10 , 2009-2015. <https://doi.org/10.1094/pdis-12-17-1982-re>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). *Tecia solanivora* (Povolny). Gobierno de España. Recuperado el 16 de marzo de 2026, de <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/organismos-nocivos/tecia-solanivora/>

Munyaneza, J. E. (2012). Zebra chip disease of potato: biology, epidemiology, and management. American journal of potato research, 89(5), 329-350.

Munyaneza, J. E. (2021). *Bactericera cockerelli* (tomato/potato psyllid). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/cpc.45643.20210204885>

- Munyaneza, J. E., Buchman, J. L., Upton, J. E., Goolsby, J. A., Crosslin, J. M., Bester, G., ... & Sengoda, V. G. (2008). Impact of different potato psyllid populations on zebra chip disease incidence, severity, and potato yield.
- Mustafa T , Horton DR , Cooper WR , Swisher KD , Zack RS , Munyaneza JE. 2015. Fertilidad interhaplotípica y efectos de la planta hospedante en los rasgos reproductivos de tres haplotipos de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). Environ. Entomol. 44 : 300–8
- Nahar, L., El-Seedi, H. R., Khalifa, S. A. M., Mohammadhosseini, M., & Sarker, S. D. (2021). Ruta Essential Oils: Composition and Bioactivities. *Molecules*, 26(16), 4766. <https://doi.org/10.3390/molecules26164766>
- Nauen, R., Jeschke, P., Velten, R., Beck, M. E., Ebbinghaus-Kintscher, U., Thielert, W., Wölfel, K., Haas, M., Kunz, K., & Raupach, G. (2014). Flupyradifurone: a brief profile of a new butenolide insecticide. *Pest Management Science*, 71(6), 850–862. <https://doi.org/10.1002/ps.3932>
- Nebol'sin, V. A., Galstyan, V., & Silina, Y. (2020). Graphene oxide and its chemical nature: Multi-stage interactions between the oxygen and graphene. *Surfaces and Interfaces*, 21, 100763. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100763>
- Olaniyan, O., Rodríguez-Gasol, N., Cayla, N., Michaud, E., & Wratten, S. (2020). *Bactericera cockerelli* (Sulc), a potential threat to China's potato industry. *Journal of Integrative Agriculture*, 19, 338-349. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62754-1](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62754-1)
- Otieno, H. (2019). Impacts and Management Strategies of Common *Potato* (*Solanum tuberosum* L.) Pests and Diseases in East Africa. 33-40.
- Otieno, H. (2023). Prevalence of potato cyst (*Globodera spp.*) nematode and potato root-knot (*Meloidogyne spp.*) nematode in Kenya and potential management strategies: A review. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. <https://doi.org/10.26832/24566632.2023.0802023>.
- Ovchinnikova, A., Krylova, E., Gavrilenko, T., Smekalova, T., Zhuk, M., Knapp, S., & Spooner, D. (2011). Taxonomy of cultivated potatoes (*Solanum* section *Petota*: Solanaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 165, 107-155. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2010.01107.x>.

- Park, I.-K., Lee, S.-G., Shin, S.-C., Park, J.-D., & Ahn, Y.-J. (2002). Larvicidal Activity of Isobutylamides Identified in *Piper nigrum* Fruits against Three Mosquito Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(7), 1866–1870. <https://doi.org/10.1021/jf011457a>
- Peeters, N., Guidot, A., Vailleau, F., & Valls, M. (2013). *Ralstonia solanacearum*, a widespread bacterial plant pathogen in the post-genomic era.. *Molecular plant pathology*, 14 7, 651-62 . <https://doi.org/10.1111/mpp.12038>.
- Prager, S. M., Vindiola, B., Kund, G. S., Byrne, F. J., & Trumble, J. T. (2013). Considerations for the use of neonicotinoid pesticides in management of *Bactericera cockerelli* (Šulk)(Hemiptera: Triozidae). *Crop protection*, 54, 84-91.
- Preising, S. E., & Heck, M. L. (2025). *Potato Leafroll Virus in the Aphid Holobiont: Interactions Shaping Vector Biology*. *Annual Review of Virology*, 12(1), 59–77. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-092623-103226>
- Quenouille, J., Vassilakos, N., & Moury, B. (2013). *Potato virus Y*: a major crop pathogen that has provided major insights into the evolution of viral pathogenicity. *Molecular plant pathology*, 14(5), 439-452.
- Rafique, M., Tahir, M. B., Rafique, M. S., & Hamza, M. (2020). History and fundamentals of nanoscience and nanotechnology. In *Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications* (pp. 1–25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821192-2.00001-2>
- Rajput, J., & KashishSaroj, †. (2025). Nanotecnología en la física moderna: materiales, dispositivos y aplicaciones. *Revista internacional de investigación avanzada y esfuerzos científicos interdisciplinarios* . <https://doi.org/10.61359/11.2206-2564>
- Reddy, B., Mandal, R., Chakroborty, M., Hijam, L., & Dutta, P. (2018). A Review on Potato (*Solanum Tuberosum* L.) and its Genetic Diversity. *International Journal of Genetics*, 10, 360. <https://doi.org/10.9735/0975-2862.10.2.360-364>
- Reddy, B., Mandal, R., Chakroborty, M., Hijam, L., & Dutta, P. (2018). A Review on Potato (*Solanum Tuberosum* L.) and its Genetic Diversity. *International Journal of Genetics*, 10, 360. <https://doi.org/10.9735/0975-2862.10.2.360-364>
- Reyes Corral, C. A., Cooper, W. R., Horton, D. R., & Karasev, A. V. (2020). Susceptibility of *Physalis longifolia* (Solanales: Solanaceae) to *Bactericera cockerelli* (Hemiptera:

Triozidae) and '*Candidatus Liberibacter solanacearum*'. Journal of economic entomology, 113(6), 2595-2603.

Risma Khoerunisa, Risya Jheniar Nur Siti Khamilah, Dzuhrika Gantari Ayuanindya, Hertien Koosbandiah Surtikanti, & Didik Priyandoko. (2024). Kandungan senyawa capsaicin dalam cabai (*Capsicum Annuum* L) sebagai anti hama pada sayuran: Kajian pustaka. Holistic: Journal of Tropical Agriculture Sciences, 1(2). <https://doi.org/10.61511/hjtas.v1i2.2024.354>

Rodríguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. Agronomía Colombiana, 28(1), 9-17.

Rondon, S. I. (2010). The Potato Tuberworm: A Literature Review of Its Biology, Ecology, and Control. American Journal of Potato Research, 87(2), 149–166. <https://doi.org/10.1007/s12230-009-9123-x>

Rubio Covarrubias, O. Á., Almeyda León, I. H., Ireta Moreno, J., Sánchez Salas, J. A., Fernández Sosa, R., Borbón Soto, J. T., ... & Cadena Hinojosa, M. A. (2006). Distribución de la punta morada y *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en México. Agricultura técnica en México, 32(2), 201-211.

Salim, M., Bakhsh, A., Naqqash, M. N., & Gökçe, A. (2024). Heterologous expression of distinct insecticidal genes in potato cultivars encodes resistance against potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). Journal of Plant Diseases and Protection, 131(5), 1493–1505. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00964-4>

Sarkar, S. C., Hatt, S., Philips, A., Akter, M., Milroy, S. P., & Xu, W. (2023). Tomato Potato Psyllid *B. cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in Australia: Incursion, Potential Impact and Opportunities for Biological Control. Insects, 14(3), 263. <https://doi.org/10.3390/insects14030263>

Schmey, T., Tominello-Ramirez, C., Brune, C., & Stam, R. (2024). Alternaria diseases on potato and tomato. Molecular Plant Pathology, 25. <https://doi.org/10.1111/mpp.13435>.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación & Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2017). Programa de

Trabajo del Manejo Fitosanitario de la Papa, del Incentivo de Prevención de Plagas Fitosanitarias Reglamentadas del Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria 2017, en el estado de Sonora.

- Selvakumaran, J., Ragavendran, K., Ignacimuthu, S., Sivanandhan, S., Reegan, A. D., Aremu, A. O., Ganesan, P., Alharbi, N. S., & Thiruvengadam, M. (2024). Mosquitocidal susceptibility and non-target effects of essential oil from *Brassica nigra* W.D.J.Koch seeds on immature stages of *Aedes aegypti* L., *Anopheles stephensi* Liston and *Culex quinquefasciatus* Say. South African Journal of Botany, 167, 578–584. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.02.046>
- Sengoda, V. G., Cooper, W., Swisher, K. D., Henne, D., & Munyaneza, J. (2014). Latent Period and Transmission of “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” by the Potato Psyllid *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). PLoS ONE, 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093475>
- Shah, F. M., Guddeti, D. K., Paudel, P., Chen, J., Li, X.-C., Khan, I. A., & Ali, A. (2023). *Matricaria chamomilla* Essential Oils: Repellency and Toxicity against Imported Fire Ants (Hymenoptera: Formicidae). Molecules, 28(14), 5584. <https://doi.org/10.3390/molecules28145584>
- Shang, Y., Hasan, M., Ahammed, G., Li, M., Yin, H., & Zhou, J. (2019). Aplicaciones de la nanotecnología en el crecimiento de las plantas y la protección de cultivos: una revisión. Molecules, 24. <https://doi.org/10.3390/molecules24142558>
- Singh, J., Nayak, P., Singh, G., Khandai, M., Sarangi, R. R., & Kar, M. K. (2022). Carbon Nanostructures as Therapeutic Cargoes: Recent Developments and Challenges. C, 9(1), 3. <https://doi.org/10.3390/c9010003>
- Skenderasi, B., Mero, G., Karapanci, N., & Shahini, S. (2022). STUDY OF POTATO TUBER MOTH BIOLOGY (*PHTHORIMAEA OPERCULELLA*), IN THE VEGETATION PERIOD, IN KORCA REGION
- Sobko, O., Matsishina, N., Fisenko, P., Kim, I., Didora, A., Boginskay, N., & Volkov, D. (2021). Viruses in the agrobiocenosis of the potato fields. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052093>.

- Speranza, G. (2021). Carbon Nanomaterials: Synthesis, Functionalization and Sensing Applications. *Nanomaterials*, 11. <https://doi.org/10.3390/nano11040967>
- tamaño hasta la nanoescala (Ijaz et al., 2020; El-Khawaga et al., 2023).
- Tsrer, L. (2010). Biology, Epidemiology and Management of *Rhizoctonia solani* on Potato. *Journal of Phytopathology*, 158, 649-658. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01671.x>.
- Tudu, C. K., Dutta, T., Ghorai, M., Biswas, P., Samanta, D., Oleksak, P., Jha, N. K., Kumar, M., Radha, Proćków, J., Pérez de la Lastra, J. M., & Dey, A. (2022). Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology of garlic (*Allium sativum*), a storehouse of diverse phytochemicals: A review of research from the last decade focusing on health and nutritional implications. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.929554>
- Valenzuela, I., Sandanayaka, M., Powell, K. S., Norng, S., y Vereijssen, J. (2020). El comportamiento alimentario de *B. cockerelli* (Šulc) (Hemiptera: Psylloidea: Triozidae) cambia cuando se infecta con *Candidatus Liberibacter solanacearum*. *Interacciones entre Artrópodos y Plantas*, 14, 653–669. <https://doi.org/10.1007/s11829-020-09777-2>
- Vargas-Madríz, H., Bautista-Martínez, N., Vera-Graziano, J., García-Gutiérrez, C., & Chavarín-Palacio, C. (2013). Morphometrics of Eggs, Nymphs, and Adults of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), Grown on Two Varieties of Tomato Under Greenhouse Conditions. *Florida Entomologist*, 96(1), 71–79. <https://doi.org/10.1653/024.096.0110>
- Verma, T., Aggarwal, A., Dey, P., Chauhan, A. K., Rashid, S., Chen, K.-T., & Sharma, R. (2023). Medicinal and therapeutic properties of garlic, garlic essential oil, and garlic-based snack food: An updated review. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1120377>
- Vinturelle, R., Mattos, C., Meloni, J., Nogueira, J., Nunes, M. J., Vaz, I. S., Rocha, L., Lione, V., Castro, H. C., & Chagas, E. F. das. (2017). In Vitro Evaluation of Essential Oils Derived from *Piper nigrum* (Piperaceae) and *Citrus limonum* (Rutaceae) against the Tick *Rhipicephalus* (Boophilus) microplus (Acari: Ixodidae). *Biochemistry Research International*, 2017, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2017/5342947>

- WANG, C., XU, H., & PAN, X. (2020). Management of Colorado potato beetle in invasive frontier areas. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(2), 360–366. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62801-7](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62801-7)
- Wang, Z., Luo, W., Cheng, S., Zhang, H., Zong, J., & Zhang, Z. (2023). *Ralstonia solanacearum* – A soil borne hidden enemy of plants: Research development in management strategies, their action mechanism and challenges. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141902>.
- Wen, Y., Meng, H., Zhao, C., Lin, F., & Xu, H. (2021). Evaluation of flupyradifurone for the management of the Asian citrus psyllid <scp> *Diaphorina citri* </scp> via dripping irrigation systems. *Pest Management Science*, 77(5), 2584–2590. <https://doi.org/10.1002/ps.6298>
- Wenninger, E. J., & Rashed, A. (2024). Biology, Ecology, and Management of the Potato Psyllid, *B. cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), and Zebra Chip Disease in Potato. *Annual Review of Entomology*, 69(1), 139–157. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020123-014734>
- Wu, H., Yang, K., Dong, L., Ye, J., & Xu, F. (2022). Classification, Distribution, Biosynthesis, and Regulation of Secondary Metabolites in *Matricaria chamomilla*. *Horticulturae*, 8(12), 1135. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121135>
- Xiao-Li, H. E., Veronesi, E. M. I. L. I. A. N. O., Stephen, W. R. A. T. T. E. N., Zeng-Rong, Z. H. U., Yu-Lin, G. A. O., & Wen-Wu, Z. H. O. U. (2019). The risk posed by the potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) an important invasive pest of solanaceous crops. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(6).
- Yang, S., Min, F., Wang, W., Wei, Q., Guo, M., Gao, Y., Dong, X., & Lu, D. (2017). Anastomosis Group and Pathogenicity of *Rhizoctonia solani* Associated with Stem Canker and Black Scurf of Potato in Heilongjiang Province of China. *American Journal of Potato Research*, 94, 95-104. <https://doi.org/10.1007/s12230-016-9535-3>.
- Yang, X., & Liu, T. (2009). Ciclo de vida y tablas de vida de *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) en berenjena y pimiento. 1661 - 1667. <https://doi.org/10.1603/022.038.0619>+

- Yang, X., Zhang, Y., Henne, D., & Liu, T. (2013). Tablas de vida de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) en tomate bajo condiciones de laboratorio y de campo en el sur de Texas. 904 - 913. <https://doi.org/10.1653/024.096.0326>
- Yang, Y., Gao, C., Ye, Q., Liu, C., Wan, H., Ruan, M., Zhou, G., Wang, R., Li, Z., Diao, M., & Cheng, Y. (2024). The Influence of Different Factors on the Metabolism of Capsaicinoids in Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plants*, 13(20), 2887. <https://doi.org/10.3390/plants13202887>
- Yanhao, S., Leichuan, X., Yu, Z., Qian, Z., Yihao, L., & Ming'an, W. (2022). Recent research progress on flupyradifurone and its analogues. In *Chinese Journal of Pesticide Science*.
- Yuen, J. (2021). Pathogens which threaten food security: *Phytophthora infestans*, the potato late blight pathogen. *Food Security*, 13, 247 - 253. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01141-3>.
- Zemek, R., Konopická, J., Jozová, E., & Skoková Habušťová, O. (2021). Virulence of *Beauveria bassiana* Strains Isolated from Cadavers of Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Insects*, 12(12), 1077. <https://doi.org/10.3390/insects12121077>