

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE LA MENADIONA EN EL CONTROL DE *Candidatus Liberibacter*  
*solanacearum* Y SU VECTOR *Bactericera cockerelli*.

**Tesis**

Que como requisito parcial para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS  
EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

Presenta:

ALBERTO ROQUE ENRIQUEZ

Que presenta ALBERTO ROQUE ENRIQUEZ

Como requisito para obtener el Grado  
DOCTOR EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

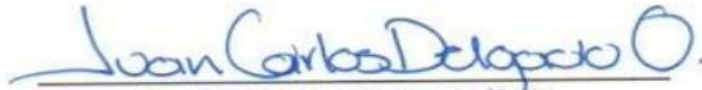
Saltillo, Coahuila

Julio, 2023

EFFECTO DE LA MENADIONA EN EL CONTROL DE *Candidatus Liberibacter solanacearum* Y SU VECTOR *Bactericera cockerelli*.


**Tesis**

Elaborada por ALBERTO ROQUE ENRIQUEZ como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Parasitología Agrícola con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz


Asesor Principal



---

Dra. Yisa María Ochoa Fuentes

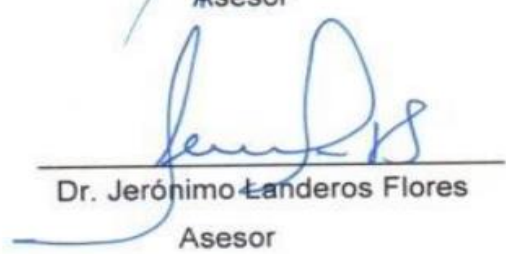
Asesor



---

Dr. Ernesto Cerna Chávez


Asesor



---

Dr. Jerónimo Landeros Flores

Asesor



---

Dra. Mariana Beltrán Beache

Asesor



---

Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de Postgrado

UAAAN

Saltillo, Coahuila

Julio, 2023

## **Agradecimientos**

### **A Dios:**

Por no dejar que perdiera la fe en los momentos difíciles y permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida.

### **A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro:**

Por todo el apoyo brindado en este proceso y la oportunidad de continuar con mis estudios de postgrado.

### **Al comité de asesoría:**

A la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes, por confiar en mí y permitirme desarrollar este proyecto y por cada una de sus palabras que me alentaron a seguir adelante.

Al Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz por su apoyo en las diferentes actividades para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Ernesto Cerna Chávez por compartir sus conocimientos para la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Jerónimo Landeros Flores por su apoyo y motivación para culminar esta etapa.

Al Dra. Marina Beltrán Beache por todas las atenciones brindadas y por su colaboración en el trabajo.

A Roció Díaz por su comprensión, apoyo y por acompañarme en el transcurso de esta etapa.

A mis amigos, por sus palabras de apoyo y que durante este trayecto alegraron mis días, gracias.

## **Dedicatoria**

### **Hasta el cielo**

Por las personas que siempre creyeron en mí y que se adelantaron.

### **A mis padres**

Sr. Orlando Roque Gonzales† y Sra. María del Socorro Enriquez.

### **A mi familia:**

Que siempre me apoyaron y animaron para seguir adelante.

## Carta de aceptación del artículo

---

18/5/23, 9:02


Correo: alberto roque enriquez - Outlook

RV: manuscript SWE 3385 reviewed by SW Entomologist

JC . <moe\_788@hotmail.com>

Mié 17/05/2023 02:47 PM

Para: alberto roque enriquez <roque\_doko@hotmail.com>

 1 archivos adjuntos (81 KB)

SWE #3385 - Delgado-Ortiz.docx

Adjunto pruebas de Galera y correo de aceptación.

---

**De:** Bonnie Pendleton <swentomologist@gmail.com>

**Enviado:** miércoles, 22 de diciembre de 2021 15:48

**Para:** JC . <moe\_788@hotmail.com>; Bonnie Pendleton <SWEntomologist@gmail.com>

**Asunto:** re: manuscript SWE 3385 reviewed by SW Entomologist

Your interesting manuscript SWE #3385 was reviewed and accepted for publication in Southwestern Entomologist. Attached are the consolidated editorial suggestions and review. Click on Review, Track Changes, and All Markup to review the changes suggested in the document. Please e-mail me another version of your manuscript after you have finished making changes. Notice that your manuscript already is tentatively set up for printing, so please try not to change the layout or formatting very much. Let me know if you have questions.

Also, please complete the pre-order form attached and return it to me with the e-mail addresses of your co-authors so we can proceed with processing your manuscript.

Thank you very much for publishing in Southwestern Entomologist.

Bonnie Pendleton, Ph.D.

Editor of Southwestern Entomologist

E-mail address: [SWEntomologist@gmail.com](mailto:SWEntomologist@gmail.com)

## Carta de envío del artículo

18/5/23, 9:10

Correo: alberto roque enriquez - Outlook

[Remexca] Acuse de recibo del envío

Dra. Dora M. Sangerman-Jarquín <cienciasagricolas@inifap.gob.mx>

Lun 12/12/2022 12:48 PM

Para: Alberto Roque <roque\_doko@hotmail.com>

Alberto Roque:

Gracias por enviar el manuscrito "un Estimación De Parámetros Poblacionales De Bactericera Cockerelli En Tomate Tratadas Con Menadiona." a Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito:

<http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/authorDashboard/submission/3349>

Nombre de usuario/a: roque89

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su trabajo.

Dra. Dora M. Sangerman-Jarquín

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/>

RV: Revista Fitotecnia Mexicana: Acuse de recibo de envío [R2023046]

JC . <moe\_788@hotmail.com>

Lun 29/05/2023 09:09 AM

Para: alberto roque enriquez <roque\_doko@hotmail.com>

1 archivos adjuntos (67 KB)

REV. FITOTECNIA MEX. EFECTO BIOESTIMULANTE DE MENADIONA EN EL CONTROL DE CANDIDATUS LIBERIBACTER SOLANACEARUM EN PLANTAS DE TOMATE.docx

Alberto buen día, adjunto correo de recepción del escrito.

Saludos.

---

**De:** Revista Fitotecnia Mexicana <noreply@jotform.com>

**Enviado:** lunes, 29 de mayo de 2023 8:56

**Para:** moe\_788@hotmail.com <moe\_788@hotmail.com>

**Asunto:** Revista Fitotecnia Mexicana: Acuse de recibo de envío [R2023046]

Juan Carlos Delgado Ortiz

CONACYT-LIAAAN

Gracias por enviar el manuscrito intitulado "EFECTO BIOESTIMULANTE DE MENADIONA EN EL CONTROL DE CANDIDATUS LIBERIBACTER SOLANACEARUM EN PLANTAS DE TOMATE" a Revista Fitotecnia Mexicana, cuyos autores son:

Nombre(s)	Apellidos	Adscripción	Ciudad	ORCID
Alberto	Roque Enriquez	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Saltillo	<a href="https://orcid.org/0000-0003-4899-9995">https://orcid.org/0000-0003-4899-9995</a>
Yisa María	Ochoa-Fuentes	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Saltillo	
Mariana	Beltrán Beache	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Saltillo	
Ernesto	Cerna Chávez	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Saltillo	
Juan Carlos	Delgado Ortiz	Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Saltillo	

Se le ha asignado la clave de seguimiento R2023046. Se hará una revisión de los documentos antes de que inicie el proceso editorial.

Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Atentamente

Dr. Amalio Santacruz Varela  
Revista Fitotecnia Mexicana

## Índice

INTRODUCCIÓN .....	1
Justificación .....	2
Hipótesis.....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Centro de origen del cultivo .....	4
Producción mundial y nacional del tomate .....	4
Enfermedades del tomate.....	5
<i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i> .....	6
<i>Bactericera cockerelli</i> .....	7
Control de <i>CaLso</i> y <i>B. cockerelli</i> .....	9
Menadiona bisulfito de sodio .....	10
REFERENCIAS .....	13
ARTÍCULOS .....	24
Insecticidal Effect of Menadione on Whitefly, Bemisia tabaci, and Tomato Psyllid, Bactericera cockerelli. ....	24
Efecto De La Menadiona En El Desarrollo y Supervivencia De <i>Bactericera     Cockerelli</i> .....	30
EFECTO BIOESTIMULANTE DE MENADIONA EN EL CONTROL DE <i>CANDIDATUS LIBERIBACTER SOLANACEARUM</i> EN PLANTAS DE TOMATE.....	46
CONCLUSIONES GENERALES .....	69



## INTRODUCCIÓN

Las especies de tomate por su fácil adaptabilidad se cultivan en regiones agroclimáticas tropicales, templadas y subtropicales, de igual manera se desarrolla en una amplia variedad de hábitats, empezando a nivel del mar hasta la cordillera de los andes (FAO, 2021). Su origen data a lo largo de la costa oeste central de América del Sur (Ecuador, Perú y norte de Chile) de acuerdo a los indicios encontrados en la región de su centro de diversidad (Stevens, 2017). México ocupa el décimo lugar con una producción de 4,047,171 t, los principales estados productores son; en primer lugar, Sinaloa con 677,612.23 t, San Luis Potosí ocupa el segundo lugar con 440,875.72 t y en tercer lugar se encuentra el estado de Michoacán 283,259.11 t (SIAP, 2023). Las áreas del mundo que se dedican a la agricultura cada vez presentan más restricciones, para la obtención de buenos resultados y cultivar una amplia variedad de especies (Goykovic y Saavedra, 2007). El cultivo de tomate cotidianamente se expone a muchas enfermedades de origen fúngico, bacteriano y viral presentándose en el área foliar y fruto reduciendo la capacidad fotosintética de la hoja y dañando la calidad del fruto como; color, textura y tamaño, estos problemas fitosanitarios son la principal limitante en las zonas productoras en México lo que genera pérdidas considerables en rendimientos y económicos. (Michel-Aceves *et al.*, 2008; Testen *et al.*, 2015; Fonseca *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2021). La bacteria CaLso es considerada gramnegativa no cultivable, limitada al floema del Phylum  $\alpha$ -Proteobacteria (Fagen *et al.* 2014; Levy *et al.*, 2020). Los haplotipos A y B de CaLso transmitidos por el psílido del tomate y se han encontrado en cultivos de solanáceas en diferentes zonas geográficas como Estados Unidos, México, América Central y Nueva Zelanda, (Munyanza *et al.* 2007; Swisher *et al.* 2014; Dahan *et al.*, 2019). El psílido *Bactericera* (= Paratrioza) *cockerelli* (Sulc), es un insecto que se documentó en México en 1947 (Plesch, 1947). En la década de los 90 causó pérdidas en Guanajuato del 60% en la producción de tomate, en San Luis Potosí por muchos años se ha considerado como plaga primaria en solanáceas, en la actualidad aún se sufren pérdidas en producción y económicas

del 70 al 80% (Garzón, 2003; Díaz *et al.*, 2005; Rivera-Martínez *et al.*, 2018). Las aplicaciones excesivas de insecticidas en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí oscilan entre 12 y 30 aplicaciones por temporada en el cultivo de tomate y papa, motivo por el cual los productores se encuentran desconcertados por la ineficacia de los efectos de los insecticidas para el control de *B. cockerelli* (Vega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Mayo-Hernández *et al.*, 2018). La menadiona bisulfito de sodio (MBS), estudiada por primera vez como regulador de crecimiento en plantas, ha demostrado que tiene la capacidad para inducir resistencia a diversos patógenos (Rao *et al.*, 1985; West *et al.*, 2001; Borges *et al.*, 2009). La función fisiológica de la MBS en las plantas se asocia directamente a sus propiedades redox, teniendo dos propiedades químicas principales que la hacen reactivas en sistemas biológicos (Walters y Fountaine, 2009; Borges *et al.*, 2014).

### **Justificación**

El uso irracional de pesticidas sintéticos, para el control de *Bc* y el manejo de la enfermedad generan contaminación ambiental, daño a la salud pública, el desarrollo de resistencia en plagas y enfermedades, así como la disminución de la biodiversidad en los ecosistemas.

Por anterior se buscan alternativas que sean de menor impacto ambiental, pero con alta efectividad.

### **Hipótesis**

La aplicación de la menadiona será efectiva para el control de la enfermedad permanente del tomate, causada por *CaLso* y su vector *B. cockerelli*.

### **Objetivo general**

Determinar los efectos del principio activo menadiona sobre el control de la enfermedad permanente del tomate, provocada por *CaLso*, así como evaluar el control del vector *B. cockerelli*.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto in vitro de la MBS sobre *B. cockerelli*.
2. Determinar los efectos de la MBS en *B. cockerelli*.

3. Registrar los parámetros agronómicos, la incidencia y severidad de CaLso en plantas de tomate tratadas con MBS.
4. Determinar la expresión genética de las plantas de tomate inoculadas con CaLso tratadas con MBS.
5. Evaluar la respuesta enzimática de las plantas de tomate infectadas con CaLso y tratadas con MBS.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Centro de origen del cultivo

Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivo a nivel mundial más consumido después de la papa por su valor nutritivo, es miembro de la familia de Solanaceae. Las especies de tomate por su fácil adaptabilidad se cultiva en regiones agroclimáticas tropicales, templadas y subtropicales, de igual manera se desarrolla en una amplia variedad de hábitats, empezando a nivel del mar hasta la cordillera de los andes (FAO, 2021). Su origen data a lo largo de la costa oeste central de América del Sur (Ecuador, Perú y norte de Chile) de acuerdo a los indicios encontrados en la región de su centro de diversidad. Se cree que los primeros que consumieron el tomate en su zona de origen fueron los españoles posteriormente lo introdujeron en América central y Europa, pese a lo anterior en México se domesticó la primera variedad *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* semisilvestre de frutos pequeños (Stevens, 2017).

### Producción mundial y nacional del tomate

La producción mundial de cultivos primarios ha ido a alza año con año entre 2000 y 2020 se han reportado incremento del 52% equivalente a 9,300 millones de toneladas, en el cual las hortalizas figuran con el 12% de aumento, con ello también incrementa en valor en la producción en los mismos años se reporta un incremento del 53% en términos monetarios representa 2.7 billones de dolares, lo que representa en las hortalizas un 20% del valor total en 2020 (FAO, 2023). En el tomate de acuerdo a la FAO (2023), se estima que hay un aproximando de 4,76 millones de hectáreas con 182 millones de toneladas métricas de producción, los principales países productores son China con 56,423,811t ocupando el primer lugar, en segundo lugar, se encuentra India con 18, 399, 000 t y con 13, 038,410 t se encuentra Estados Unidos en tercer lugar, México ocupa el décimo lugar con una producción de 4,047,171 t, los tres principales estados productores son; Sinaloa con 677,612.23 t, San Luis Potosí con 440,875.72 t y Michoacán con 283,259.11 t (SIAP, 2023).

### Enfermedades del tomate

El cultivo de tomate cotidianamente se expone a muchas enfermedades de origen fúngico, bacteriano y viral presentándose en el área foliar y fruto reduciendo la capacidad fotosintética de la hoja y dañando la calidad del fruto como; color, textura y tamaño, estos problemas fitosanitarios son la principal limitante en las zonas productoras en México lo que genera pérdidas considerables en rendimientos y económicos. (Michel-Aceves *et al.*, 2008; Testen *et al.*, 2015; Fonseca *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2021). Para el control de las enfermedades de una forma optimizada es necesario usar las herramientas integradas adecuadas, por ejemplo; monitoreo, diagnóstico, control físico, cultural, biológico y químico para prevenir o evitar su diseminación, con el fin de reducir riesgos ambientales, costos y la protección de a la salud humana (Obregon,2014).

Los problemas fitosanitarios limitantes de la producción de tomate a nivel nacional y mundial, son las más de 200 enfermedades de diferentes etiologías que atacan a cultivos de solanáceas (Fasio *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2009). Las enfermedades bióticas como hongos y bacterias sobresalen como agentes de enfermedades de *Solanum lycopersicum*, los hongos como: *Botrytis cinerea*, *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*, *Pythium*, *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani* (Ascencio-Álvarez *et al.*, 2008; Leyva-Mir *et al.*, 2013; Fernández-Herrera *et al.*, 2013; Martínez-Ruiz *et al.*, 2016; Gómez *et al.*, 2023). Bacterias como: *Clavibacter michiganensis*, *Ralstonia solanacearum*, *Pseudomonas syringae*, *Xanthomonas campestris*, *Pectobacterium carotovorum* (Rodríguez *et al.*, 2009; Espinoza *et al.*, 2009; Perea *et al.*, 2011; Correa-Pacheco *et al.*, 2019). Y la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) causante de la enfermedad permanente del tomate (PT) (Garzón *et al.*, 2009; Levy *et al.*, 2020).

La enfermedad PT causa grandes daños en regiones productoras de tomate, esta enfermedad presenta una etiología que se relaciona con organismos tipo bacterias y su transmisión con el psílido *Bactericera cockerelli*(Sulc) (Hemiptera: Triozidae) (Garzón *et al.*, 2009).

### ***Candidatus Liberibacter solanacearum***

La bacteria CaLso es considerada gramnegativa no cultivable, limitada al floema del filo  $\alpha$ -Proteobacteria (Fagen *et al.* 2014; Levy *et al.*, 2020). Este fitopatógeno está asociado con muchos desordenes vegetativos en cultivo de solanáceas como papa, tomate y chile, considerado un patógeno de importancia por primera vez en la década de los 90, por la aparición de rayas oscuras en papas y que se hicieron más evidentes al freírlas (Abad *et al.* 2009; Crosslin *et al.* 2010; Ben *et al.*, 2018). y reverdecimiento de las venas en tomate (Brown *et al.* 2010), en México, Honduras, Guatemala y el suroeste de los Estados Unidos (Secor *et al.* 2009; Rehman *et al.* 2010).

En el cultivo de tomate la enfermedad PT presenta síntomas como; hojas enrolladas hacia arriba y quebradizas de color verde intenso y brillante, reducción de crecimiento de la planta, abortos florales, amarillamiento de las hojas, hojas lanceoladas con epinastia, ramificación excesiva de los brotes axilares, entrenudos cortos, necrosis en los tejidos y márgenes con coloración purpura (Liefting *et al.* 2009; Garzón-Tiznado *et al.*, 2009, Rojas-Martínez *et al.* 2016; Mendoza-Herrera *et al.* 2018, Delgado-Ortiz *et al.* 2019). Debido al daño causado en cada ciclo de cultivo se reportan pérdidas entre 60 y 100% en cultivos de solanáceas (Garzón-Tiznado, 1984; Liefting *et al.*, 2008; Roque-Enriquez *et al.*, 2021).

Los haplotipos A y B de CaLso transmitidos por el psílido del tomate y se han encontrado en cultivos de solanáceas en diferentes zonas geográficas como Estados Unidos, México, América Central y Nueva Zelanda, (Munyaneza *et al.* 2007; Swisher *et al.* 2014; Dahan *et al.*, 2019). Estos dos haplotipos presentan características muy particulares en cuanto a los síntomas en las plantas, el haplotipo B es más agresivo causa una mayor incidencia de la enfermedad con síntomas más severos como las hojas nuevas más pequeñas con decoloraciones, atrofia, rizado, amarillamiento y necrosidad en las hojas, lo que genera una mayor pérdida en los rendimientos. El haplotipo A es menos agresivo los síntomas que presenta son atrofia en la planta, mayor desarrollo en los

meristemos axilares del nivel inferior y las hojas más pequeñas (Mendoza-Herrera *et al.*, 2018; Swishe *et al.*, 2020).

### ***Bactericera cockerelli***

El psílido *Bactericera* (= Paratrioza) *cockerelli* (Sulc), es un insecto que se documentó en México en 1947 (Plesch, 1947), plaga con efectos asociados a cultivos de solanáceas, causando daños y enfermedades principalmente a cultivos como, zebra chip en papa (*Solanum tuberosum* L.), permanente del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y variegado del chile (*Capsicum annuum* L.) (Teulon *et al.*, 2009; Munyaneza, 2015; Vega-Chávez *et al.*, 2020).

En los años de los 90 causó pérdidas en la producción de tomate en Guanajuato del 60% en producción, en San Luis Potosí por muchos años se ha considerado como plaga primaria en solanáceas, en la actualidad aún se sufren pérdidas en producción y económicas del 70 al 80% (Garzón, 2003; Díaz *et al.*, 2005; Rivera-Martínez *et al.*, 2018). El insecto *B. cockerelli* presenta variabilidades genéticas entre poblaciones, hasta la fecha se han descrito los haplotipos Central, Western, Northwestern y Southwestern que se encuentran presentes en el norte y centro América (Swisher *et al.*, 2012; 2013; 2014). Recientemente en México se ha reportado la presencia de un nuevo haplotipo con una nueva variante genética que se identificó como México Haplotipo 1 (Beltrán-Beache *et al.*, 2022).

Este insecto provoca daños al alimentarse de la parte inferior de las hojas al inyectar toxinas lo que produce amarillamiento en la planta, transmisión de enfermedades como fitoplasmas y al excretar sobre las hojas reduce la capacidad fotosintética y genera Fumagina (asociación de hongos saprofitos) (Richards y Blood 1933; López *et al.*, 2003; Jirón-Rojas *et al.*, 2016). El daño más importante que causa este insecto es la transmisión de la bacteria "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" (CaLso) (Munyaneza, 2009; Garzón-Tiznado *et al.*, 2009; Olaniyan *et al.*, 2020). El tiempo de transmisión es de 15 minutos y el periodo de incubación hasta 24 horas, la edad del insecto no afecta su capacidad de transmisión que es del 78% y las ninfas tienen una eficiencia de transmitir (CaLso) del 100% (Garzón, 2009; Casteel, 2012; Melgoza *et al.*, 2018). Siendo transmitida en dos formas; la primera es vertical o transovárica de la madre

psílido al huevo a frecuencias moderadas a altas (Hansen *et al.*, 2008; Casteel, 2012). La segunda forma es horizontal en plantas de camote (*Ipomoea batatas*) y enredadera silvestre (*Convolvulus arvensis*) (Torres *et al.*, 2015).

Su ciclo de vida de *B. cockerelli* depende mucho de los factores bióticos y abióticos tiene una duración entre 24 a 35 días, los estadios de desarrollo son huevo, ninfa y adulto (Jácome-Mogro *et al.*, 2022; Marín *et al.*, 2002).

El ciclo de desarrollo empieza con la ovoposición de huevos de las hembras ovipositando un promedio de 232 huevos en su ciclo de vida, son puestos en el envés y orillas de las hojas de uno en uno, se suspenden por un pelo que tiene una longitud de 0.2 mm, su eclosión dura entre 3 y 7 días con un 63% de supervivencia (Toledo, 2021).

Después que los huevos cumplen su periodo de incubación, emergen las ninfas con una etapa de desarrollo que dura un promedio de 22 días y una supervivencia del 41%, las diferencias de los cinco estadios ninfales son; en general presentan su cuerpo es aplanado, de forma elíptica. El primer instar son casi inmóviles, de color amarillo-anaranjadas, no se diferencia las divisiones de cabeza, tórax y abdomen. En el segundo instar se hacen más evidentes sus divisiones y su coloración es verde pálido. El tercer estadio se hace más visibles los ojos de color rojos y el par de alas visibles en un largo menor que la mitad del cuerpo, con una coloración verde claro. El cuarto estadio presenta la misma coloración que el instar tres, pero presentan las antenas bien formadas con setas censorsas visibles. Para el quinto estadio la segmentación de antenas y patas están bien definidas, al igual que sus pares alares presentan ángulos humerales (Calderón, 2013; Castillo & Llumiquinga, 2021; Marín *et al.*, 2002).

Después del quinto estadio se presenta la eclosión del adulto con una longitud de 2.5 mm, con un promedio de vida de 20 días, mientras que la hembra llega a vivir en promedio de 60 días tres veces más que el macho, su alimentación es de la sabia de plantas el cual extraen al insertar su estilete en el floema (Toledo, 2021).



### **Control de CaLso y *B. cockerelli*.**

Las medidas para el control de *B. cockerelli* y CaLso han carecido de eficacia (Rivera-Martínez *et al.*, 2018). El uso de insecticidas químicos es el más utilizado para controlar la bacteria y el insecto. Sin embargo, se han implementado medidas no químicas o insecticidas menos tóxicos para la protección de cultivos, el medio ambiente, la salud humana e insectos benéficos (Barrios-Díaz *et al.*, 2016; Vega-Chávez *et al.*, 2020).

Esto consiste en la utilización de insecticidas de origen natural o botánicos los cuales tienen como ingredientes activos; terpenos, alcaloides, flavonoides y compuestos fenólicos son biodegradable, de bajo costo, seguros para al medio ambiente y humanos (Nava-Pérez *et al.*, 2012).

Los hongos entomopatógenos son un amplio un grupo de más de 750 especies de micro-organismos los más destacados son; *Metarhizium*, *Beauveria*, *Aschersonia*, *Entomophthora*, *Zoophthora*, *Erynia*, *Eryniopsis*, *Akanthomyces*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Hymenostilbe*, *Paecilomyces* y *Verticillium*, cuentan con un potencial como agentes de control, al dispersarse en el ambiente causan infecciones fúngicas en diversas poblaciones de insectos (Lopez-Llorca y Jansson, 2001; FAO, 2003; Pucheta Díaz *et al.*, 2006; Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez, 2011).

Los organismos de control biológico en México se cuentan con los primeros registros a inicios del siglo XX para el control de diversos insectos plagas exóticas y nativas en cultivos con gran importancia para el país, los depredadores son especies como; hemípteros, dípteros y coleópteros, los parasitoides son; himenópteros y lepidópteros, en 2009 desarrolló una tecnología con el parasitoide asiático *Tamarixia radiata*, el cual fue liberado para el control de del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*, vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* en áreas citrícolas de México (Felipe-Victoriano *et al.*, 2019; Cancino *et al.*, 2019; Arredondo y Rodríguez, 2020; Zelaya-Molina *et al.*, 2022). El control químico es el más utiliza para controlar el insecto *B. cockerelli* mediante aplicaciones de insecticidas organosintéticos lo que resulta en gastos excesivos en la producción de solanáceas (Greenway, 2014). Los insecticidas más

utilizados son; Cipermetrina, Profenofos, Abamectina, Imidacloprid, Spinetoram, Tolfenpyrad, Endosulfan, fenpropatrín, abamectina, cyfluthrín, dimetoato, esfenvalerato y pyriproxifen, existen otros factores que hacen ineficiente los efectos de los insecticidas como la calibración del equipo de aplicación, el mal estado de los mismos, una baja cobertura de la aspersion al follaje y el uso de dosis alteradas de los productos químicos, lo que provoca la resistencias de las plagas (Vega-Gutiérrez *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2012; Cerna *et al.*, 2013; Luna-Cruz *et al.*, 2015; Vega-Chávez *et al.*, 2020)

La falta de control se puede deber a factores como deficiente calibración del equipo de aplicación, uso de equipo de aplicación en mal estado, baja cobertura de la aspersion en el follaje y expresión fenotípica de la resistencia a insecticidas del salerillo (Vega-Gutiérrez *et al.*, 2008)

Las aplicaciones excesivas de insecticidas en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luís Potosí oscilan entre 12 y 30 aplicaciones por temporada en el cultivo de tomate y papa, motivo por el cual los productores se encuentran desconcertados por la ineficacia de los efectos de los insecticidas para el control de *B. cockerelli*, lo que genera el uso irracional de pesticidas y con esto dicha plaga ha desarrollado resistencia a los insecticidas que se han utilizado para el control, incrementado así los costos de producción, el daño al medio ambiente, daño a la salud de los agricultores (Vega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Mayo-Hernández *et al.*, 2018). En México se ha reportado resistencia en poblaciones de *B. cockerelli* en los estados de Coahuila y Nuevo León en los insecticidas imidacloprid, endosulfan y abamectina (Cerna *et al.* 2018).

#### **Menadiona bisulfito de sodio**

La menadiona bisulfito de sodio (MBS), estudiada por primera vez como regulador de crecimiento en plantas, ha demostrado que tiene la capacidad para inducir resistencia a diversos patógenos (Rao *et al.*, 1985; West *et al.*, 2001; Borges *et al.*, 2009), también se presenta como un activador efectivo, al reforzar el mecanismo natural de defensa en la planta, su capacidad para inducir una reducción en la tasa de crecimiento de insectos (Walters y Fountaine, 2009; Borges y Borges, 2013).

La función fisiológica de la MBS en las plantas se asocia directamente a sus propiedades redox, que la hacen reactiva en sistemas biológicos (Walters y Fountaine, 2009; Borges *et al.*, 2014).

Los organismos aerobios son susceptibles al daño por ROS, la respuesta al estrés oxidativo protege a los organismos de los efectos nocivos de las ROS es un rasgo cuantitativo con variación poblacional atribuible a la interacción entre factores genéticos y ambientales (Weber *et al.*, 2012; Shao *et al.*, 2019).

La MBS estimula la expresión de factores clave de transcripción de una de las proteínas clave (fosfatasa, serina/treonina kinasas, 3- nitrotirosina), que participan en una red de señalización dependiente de especies reactivas de oxígeno (ROS) contra el estrés abiótico, se somete rápidamente a la reducción de electrones mediada por células, el mecanismo principal de la menadiona parece ser la producción de peróxido de hidrógeno y la alteración en la homeostasis del  $\text{Ca}^{2+}$  intracelular (Arriaga *et al.*, 1994; McCormick *et al.*, 2000; Carvajal, 219).

Las ROS, se forman como producto del metabolismo de los radicales libres y son moléculas altamente oxidantes y se define como una o más moléculas derivadas de la captación de un electrón por el oxígeno, quedando el electrón en un orbital desapareado. La captación de un electrón por el  $\text{O}_2$  produce anión superóxido ( $\text{O}_2^-$ ); la captación de dos electrones más, junto con dos protones  $\text{H}^+$  por el  $\text{O}_2^-$  produce  $\text{H}_2\text{O}_2$  (peróxido de hidrógeno); este peróxido de hidrógeno puede captar un electrón más, generando  $\text{OH}$  (radical hidroxilo) y  $\text{OH}^-$  (ion hidroxilo) (Shao *et al.*, 2019).

La generación excesiva de ROS desencadena una serie de sucesos como, altas concentraciones de calcio intracelular generando alteraciones en la homeostasis celular, daño a los transportadores de membranas, neurodegeneración, daño en los componentes celulares ejemplo la muerte celular (Shao *et al.*, 2019). Este estrés oxidativo produce cambios en las biomoléculas de enzimas, hormonas, proteína, lípidos y ADN con la inactivación de sus funciones como interrumpir las vías de señalización celular críticas (Valko *et al.*, 2007).

Por todos los efectos mencionados anteriormente la MBS cuenta con efectos tóxicos y efecto fungicidas en diferentes hongos, por ejemplo; *Botrytis cinérea*, *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternata*, *Fusarium graminearum* y *Ustilago maydis* (Borges *et al.*, 2004; Fernández-Falcón *et al.*, 2009; Nikolaou *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2016; García-Machado *et al.*, 2022). De igual manera se reporta que cuenta con efecto bactericidas en bacterias fitopatógenas como; *Ralstonia solanacearum*, *Xanthomonas oryzae pv. Oryzae*, *Xanthomonas campestris pv. Phaseoli*, (Mongkolsuk *et al.*, 1996; Vattanaviboon *et al.*, 2003; Hong *et al.*, 2016). También se le atribuye un efecto insecticida ante diferentes especies de insectos como; *Bactericera cockerelli*, *Dysdercus koenigii*, *Dysdercus cingulatus*, *Drosophila melanogaster*, *Trioza erytraeae*, *Delia platura*, *Leptosphaeria maculans* y *Coptotermes formosanus* reportando también una serie de efectos negativos en el desarrollo de los insectos como, infertilidad, deformidades en las alas y efectos antialimentarios (Magdum *et al.*, 2001; Magdum y Banerjee, 2009; Sujata y Smita 2009; Borges & Borges-Pérez, 2010; Weber *et al.*, 2012; Lushchak, *et al.*, 2014; Singh-Gupta *et al.*, 2015; Erazo-García *et al.*, 2021; Ngo *et al.*, 2021; Ortiz *et al.*, 2022).

## REFERENCIAS

- ABAD, J. A., BANDLA, M., FRENCH-MONAR, R. D., LIEFTING, L. W., & CLOVER, G. R. G. (2009). First report of the detection of '*Candidatus Liberibacter*' species in zebra chip disease-infected potato plants in the United States. *Plant Disease*, 93(1), 108-108.
- ARREDONDO, H. C., TAMAYO, F., & RODRÍGUEZ, L. A. (2020). Fundamento y practica del control biológico de plagas y enfermedades.
- ARRIAGA, E., FROLOV, A., TARR, M., & VALENZENO, D. P. (1994). Membrane ionic current photomodification by rose bengal and menadione: role of singlet oxygen. *Photochemistry and photobiology*, 59(6), 637-642.
- ASCENCIO-ÁLVAREZ, A., LÓPEZ-BENÍTEZ, A., BORREGO-ESCALANTE, F., RODRÍGUEZ-HERRERA, S. A., FLORES-OLIVAS, A., JIMÉNEZ-DÍAZ, F., & GÁMEZ-VÁZQUEZ, A. J. (2008). Marchitez vascular del tomate: I. Presencia de razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici (Sacc.) Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 26(2), 114-120.
- BARRIOS-DÍAZ, B., ARELLANO-FUENTES, M. E., VÁZQUEZ-HUERTA, G., BARRIOS-DÍAZ, J. M., BERDEJA-ARBEU, R., & HERNÁNDEZ-TAPIA, M. D. R. (2016). Control alternativo de paratíozia (*Bactericera cockerelli* Sulc.) en chile serrano (*Capsicum annum* L.). *Entomología mexicana*, 3 (2014), 146-152.
- BELTRÁN-BEACHE, M., DELGADO-ORTÍZ, J. C., OCHOA-FUENTES, Y. M., & CHÁVEZ, E. C. (2022). Genetic variation of *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) suggests new haplotype in México. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(2).
- BEN OTHMEN, S., MORÁN, F. E., NAVARRO, I., BARBÉ, S., MARTÍNEZ, C., MARCO-NOALES, E., & LÓPEZ, M. M. (2018). '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' haplotypes D and E in carrot plants and seeds in Tunisia. *Journal of Plant Pathology*, 100, 197-207.
- BORGES, A. A., BORGES-PÉREZ, A., & FERNÁNDEZ-FALCÓN, M. (2004). Induced resistance to Fusarial wilt of banana by menadione sodium bisulphite treatments. *Crop Protection*, 23(12), 1245-1247.
- BORGES, A. A., y A. BORGES-PÉREZ. (2010). Composiciones para controlar los psílicos *Trioza erytrae* y *Diaphorina citri*, vectores de las bacterias del género *Candidatus Liberibacter* que causan la más grave enfermedad de los cítricos conocida como Huanglongbing.
- BORGES, A. y BORGES, A. (2013). Composiciones Para Controlar Los Psílicos *Trioza erytrae* y *Diaphorina citri*, Vectores De Las Bacterias Del Genero *Candidatus*

liberibacter Que Causan La más grave enfermedad de los Cítricos Conocida Como Huanglongbing (HLB). Madrid, España: Oficina Española de Patentes y Marcas.

- BORGES, A., DOBON, A., EXPÓSITO-RODRÍGUEZ, M. (2009). Molecular analysis of menadione-induced resistance against biotic stress in *Arabidopsis*. *Plant Biotechnol. 7*: 744–762.
- BROWN, J. K., REHMAN, M., ROGAN, D., MARTIN, R. R., & IDRIS, A. M. (2010). First report of “*Candidatus Liberibacter psyllaurosus*”(synonym “*Ca. L. solanacearum*”) associated with ‘tomato vein-greening’ and ‘tomato psyllid yellows’ diseases in commercial greenhouses in Arizona. *Plant Disease*, 94(3), 376-376.
- CALDERON ORDOÑEZ, D. A. N. G. L. I. (2013). PARÁMETROS POBLACIONALES DE (*Bactericera cockerelli*(Sulc)(Hemiptera: Triozidae) PROCEDENTES DE SAN LUIS POTOSÍ Y COAHUILA-NUEVO LEON (No. SB933. 3. C34 2013.).
- CANCINO, J., RUIZ, L., LÓPEZ, E., AGUILAR, E., GALVEZ, C., MONTOYA, P., & LIEDO, P. (2019). Suppression of *Ceratitis capitata* (Wied.)(Diptera: Tephritidae) populations in coffee in the Mexico–Guatemala border region through the augmentative releases of *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead)(Hymenoptera: Braconidae). *Biocontrol Science and Technology*, 29(8), 822-826.
- CARVAJAL CARVAJAL, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91-100.
- CASTEEL, C. L., HANSEN, A. K., WALLING, L. L., & PAINE, T. D. (2012). Manipulation of plant defense responses by the tomato psyllid (*Bactericera cockerelli*) and its associated endosymbiont *Candidatus Liberibacter psyllaurosus*. *PloS one*, 7(4), e35191.
- CASTILLO CARRILLO, C., & LLUMIQUINGA HORMAZA, P. (2021). Manual para reconocer e identificar al psílido de la papa (*Bactericera cockerelli* Šulc) en campo y laboratorio.
- CERNA, E., OCHOA, Y., AGUIRRE, L. A., FLORES, M., & LANDEROS, J. (2013). Determinación de la resistencia a insecticidas en cuatro poblaciones del psílido de la papa *Bactericera cockerelli*(Sulc.) (Hemiptera: Triozidae). *PHYTON (Buenos Aires)*, 82(1), 63-68.
- CORREA-PACHECO, Z. N., GARCÍA-PANIAGUA, K. D., BAUTISTA-BAÑOS, S., y CORONA-RANGEL, M. L. (2019). Efecto de nanorecubrimientos de quitosano-aceite esencial de tomillo sobre la calidad postcosecha en frutos de jitomate. *Rev. Mex. Fitopatol*, 37, 29-36.

- CROSSLIN, J. M., & MUNYANEZA, J. E. (2009). Evidence that the zebra chip disease and the putative causal agent can be maintained in potatoes by grafting and in vitro. *American Journal of Potato Research*, 86, 183-187.
- CROSSLIN, J. M., MUNYANEZA, J. E., BROWN, J. K., & LIEFTING, L. W. (2010). A history in the making: potato zebra chip disease associated with a new psyllid-borne bacterium a tale of striped potatoes.
- DAHAN, J., WENNINGER, E. J., THOMPSON, B. D., EID, S., OLSEN, N., & KARASEV, A. V. (2019). Prevalence of 'Candidatus Liberibacter solanacearum' haplotypes in potato tubers and psyllid vectors in Idaho from 2012 to 2018. *Plant disease*, 103(10), 2587-2591.
- DELGADO-ORTIZ, J. C., BELTRÁN-BEACHE, M., CERNA-CHÁVEZ, E., AGUIRRE-URIBE, L. A., LANDERO-FLORES, J., RODRÍGUEZ-PAGAZA, Y., & OCHOA-FUENTES, Y. M. (2019). *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22.
- DIAZ, G. O., TEJEDA, E. I. M., & AVALOS, A. L. (2005). Efecto de insecticidas biorracionales y mezclas de hongos sobre *Bactericera cockerelli*(Sulc)(Homoptera: Psyllidae). *Entomol. Mex*, 5, 539-541.
- ERAZO-GARCIA, M. P., SOTELO-PROAÑO, A. R., RAMIREZ-VILLACIS, D. X., GARCÉS-CARRERA, S., & LEON-REYES, A. (2021). Methyl jasmonate-induced resistance to *Delia platura* (Diptera: Anthomyiidae) in *Lupinus mutabilis*. *Pest Management Science*, 77(12), 5382-5395.
- ESPINOZA, M., SANTOS, M. E., MÉNDEZ, J., y LEYVA, N. (2009). Diversidad genómica de *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* y *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* en cultivos de tomates en Sinaloa, México. *Fitosanidad*.
- FAGEN, J. R., LEONARD, M. T., COYLE, J. F., MCCULLOUGH, C. M., DAVIS-RICHARDSON, A. G., DAVIS, M. J., & TRIPLETT, E. W. (2014). *Liberibacter crescens* gen. nov., sp. nov., the first cultured member of the genus *Liberibacter*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 64(Pt\_7), 2461-2466.
- FAO (2023). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consulta 17 de mayo del 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- FAO. Resistencia a los antiparasitarios: estado actual con énfasis en América Latina. Roma: Dirección de producción y sanidad animal de la FAO, 2003. p. 33-35.

- FASIO, J. A. C., RODRÍGUEZ, T. D. J. M., ESTRADA, R. S. G., ORTEGA, J. E. C., ZEQUERA, I. M., & BARAJAS, A. J. S. (2003). Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici Snyder y Hansen, en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2), 123-127.
- FELIPE-VICTORIANO, M., TALAMAS, E. J., & SÁNCHEZ-PEÑA, S. R. (2019). Scelionidae (Hymenoptera) parasitizing eggs of *Bagrada hilaris* (Hemiptera, Pentatomidae) in Mexico. *Journal of Hymenoptera Research*, 73, 143-152.
- FERNÁNDEZ-FALCÓN, M., ALVAREZ, C. E., GORRÍN, R., HERNÁNDEZ, M. M., & BORGES, A. A. (2009). Influence of a menadione derivative on banana panama disease development and yield enhancement. *The Open Horticulture Journal*, 2(1).
- FERNÁNDEZ-HERRERA, E., RUIZ, J. G., PUENTE, E. R., y RAMOS, M. A. (2013). Patógenos y síntomas asociados a la marchitez del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Texcoco México. *Biotecnia*, 15(3), 46-50.
- FONSECA, J. Y., CASTAÑEDA, A. E., ESCARRAGA, J. O., & CUBILLOS, D. D. (2019). Caracterización de enfermedades fitopatógenas en el cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en la finca el reposo en el municipio Facatativá, Cundinamarca. *Ciencias agropecuarias*, 5(1), 24-31.
- GARCÍA-MACHADO, F. J., GARCÍA-GARCÍA, A. L., BORGES, A. A., & JIMÉNEZ-ARIAS, D. (2022). Root treatment with a vitamin k3 derivative: A promising alternative to synthetic fungicides against botrytis cinerea in tomato plants. *Pest Management Science*, 78(3), 974-981.
- GARZÓN, T. J. A. 2003. El pulgón Saltador o la Paratrioza, una amenaza para la horticultura de Sinaloa. In: Memoria del Taller sobre Paratrioza cockerelli Sulc. como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa. México. pp: 9–12.
- GARZÓN-TIZNADO, J. A. 1984. Enfermedad del “permanente” del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Celaya, Guanajuato XI Congreso Nacional de Fitopatología. San Luis Potosí, S. L. P. *Resúmenes Sociedad Mexicana de Fitopatología*, A. C. p 138.
- GARZÓN-TIZNADO, J. A., CÁRDENAS-VALENZUELA, O. G., BUJANOS-MUÑIZ, R., MARÍN-JARILLO, A., BECERRA-FLORA, A., VELARDE-FELIX, S., ... & MARTÍNEZ-CARRILLO, J. L. (2009). Asociación de Hemiptera: Triozidae con la enfermedad'permanente del tomate'en México. *Agricultura técnica en México*, 35(1), 61-72.
- GÓMEZ GUERRERO, C. I. (2023). Evaluación de la eficacia biológica de *Bacillus velezensis* 83 contra *Botrytis cinerea* en hojas y frutos de tomate.



- GOYKOVIC CORTÉS, V., y SAAVEDRA DEL REAL, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (arica)*, 25(3), 47-58.
- GREENWAY, G. (2014). Economic impact of zebra chip control costs on grower returns in seven US states. *American journal of potato research*, 91, 714-719.
- GUPTA, S. K., SHARMA, M., & MUKHERJEE, S. (2022). Buckeye rot of tomato in India: Present status, challenges, and future research perspectives. *Plant Disease*, 106(4), 1085-1095.
- HANSEN, A. K., TRUMBLE, J. T., STOUTHAMER, R., & PAINE, T. D. (2008). A new huanglongbing species, "*Candidatus Liberibacter psyllauros*," found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli*(Sulc). *Applied and environmental microbiology*, 74(18), 5862-5865.
- HONG, J. K., KIM, H. J., JUNG, H., YANG, H. J., KIM, D. H., SUNG, C. H., ... & CHANG, S. W. (2016). Differential control efficacies of vitamin treatments against bacterial wilt and grey mould diseases in tomato plants. *The plant pathology journal*, 32(5), 469.
- 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 Liberibacter*) en solanáceas, en los andes centrales ecuatorianos. *Revista Investigación Agraria*, 4(1), 26-37.
- JIRÓN-ROJAS, R. L., NAVA-CAMBEROS, U., JIMÉNEZ-DÍAZ, F., ALVARADO-GÓMEZ, O. G., ÁVILA-RODRÍGUEZ, V., & GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L. (2016). Densidades de *Bactericera cockerelli*(Sulc) 1 e Incidencia del "Permanente del Tomate" en Diferentes Condiciones de Producción del Tomate. *Southwestern entomologist*, 41(4), 1085-1094.
- LEVY, J. G., GROSS, R., MENDOZA-HERRERA, A., TANG, X., BABILONIA, K., SHAN, L., ... & TAMBORINDEGUY, C. (2020). Lso-HPE1, an effector of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*', can repress plant immune response. *Phytopathology*, 110(3), 648-655.
- LEYVA-MIR, S. G., GONZÁLEZ-SOLANO, C. M., RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. E., & MONTALVO-HERNÁNDEZ, D. (2013). Comportamiento de líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a fitopatógenos en Chapingo, México. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 19(3), 301-313.
- LIEFTING, L. W., PEREZ-EGUSQUIZA, Z. C., CLOVER, G. R. G., & ANDERSON, J. A. D. (2008). A new '*Candidatus Liberibacter*' species in *Solanum tuberosum* in New Zealand. *Plant Disease*, 92(10), 1474-1474.

- LIEFTING, L. W., WEIR, B. S., PENNYCOOK, S. R., & CLOVER, G. R. (2009). 'Candidatus Liberibacter solanacearum', associated with plants in the family Solanaceae. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 59(9), 2274-2276.
- LIU, T. X., ZHANG, Y. M., PENG, L. N., ROJAS, P., & TRUMBLE, J. T. (2012). Risk assessment of selected insecticides on *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *Journal of Economic Entomology*, 105(2), 490-496.
- LÓPEZ, M. M., GASTÉLUM, L. R., OLIVAS, O. M. C., & CORRALES, M. J. L. (2003). Experiencia Con Paratrioza Cockerelli Sulc. (Homoptera: Psyllidae) En Tomate Grape Variedad 'Santa' Y Berenjena Solanum Melongena (670-675). En: Memorias VI Congreso Internacional En Ciencias Agrícolas. UABC-Ica, Cesvbc, Fundación Produce B.C, Sagarpa. Mexicali, B.
- LOPEZ-LLORCA, L. V., & JANSSON, H. B. (2001). Biodiversidad del suelo: control biológico de nemátodos fitopatógenos por hongos nematófagos. *Cuadernos de biodiversidad*, nº 6 (feb. 2001); pp. 12-15.
- LUNA-CRUZ, A., RODRÍGUEZ-LEYVA, E., LOMELI-FLORES, J. R., ORTEGA-ARENAS, L. D., BAUTISTA-MARTÍNEZ, N., & PINEDA, S. (2015). Toxicity and residual activity of insecticides against *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *Journal of economic entomology*, 108(5), 2289-2295.
- LUSHCHAK, O. V., D.V. GOSPODARYOV, B.M. ROVENKO, I.S. YURKEVYCH, N.V. PERKHULYN AND V. I. LUSHCHAK. (2014). Specific Dietary Carbohydrates Differentially Influence the Life Span and Fecundity of *Drosophila melanogaster*. *J. Ger. Biol. Med. Sci.* 69 (1): 3-12.
- MAGDUM S AND S. BANERJEE. 2009. Effect of menadione on growth and metamorphosis in *Dysdercus koenigii* (Pyrrhocoridae: Heteroptera). *National Journal of Life Sciences*. 6 (1):109-112.
- MAGDUM, S., S. BANERJEE, G.P. KALENA, & A. BANERJI. (2001). Chemosterilant activity of naturally occurring quinones and their analogues in the red cotton bug, *Dysdercus koenigii* (Het., Pyrrhocoridae). *Journal of applied entomology*, 125: 589-596.
- MARÍN, J. A., GARZÓN, J. A., BECERRA, A., MEJÍA, C., BUJANOS, R., & BYERLY, K. F. (2002). Ciclo biológico y morfología del salerillo *Paratrioza cockerelli* (Sulc)(Homoptera: Psyllidae), como vector de la enfermedad "permanente del jitomate" en el Bajío. *Memoria del Taller sobre Paratrioza cockerelli*, 37-45.
- MARTÍNEZ-RUIZ, F. E., CERVANTES-DÍAZ, L., AÍL-CATZÍM, C. E., HERNÁNDEZ-MONTIEL, L. G., SÁNCHEZ, C. L. D. T., y RUEDA-PUENTE, E. O. (2016).

- Hongos fitopatógenos asociados al tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en la zona árida del noroeste de México: la importancia de su diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18).
- MCCORMICK, M. L., DENNING, G. M., RESZKA, K. J., BILSKI, P., BUETTNER, G. R., RASMUSSEN, G. T. & BRITIGAN, B. E. (2000). Biological effects of menadione photochemistry: effects of menadione on biological systems may not involve classical oxidant production. *Biochemical Journal*, 350(3), 797-804.
- 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.
- 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.
- MENDOZA-HERRERA, A., LEVY, J., HARRISON, K., YAO, J., IBANEZ, F., & TAMBORINDEGUY, C. (2018). Infection by *Candidatus Liberibacter solanacearum* 'haplotypes A and B in *Solanum lycopersicum* 'Moneymaker'. *Plant Disease*, 102(10).
- MICHEL-ACEVES, A. C., OTERO-SÁNCHEZ, M. A., MARTÍNEZ-ROJERO, R. D., ARIZA-FLORES, R., BARRIOS-AYALA, A., & REBOLLEDO-MARTÍNEZ, A. (2008). Control biológico in vitro de enfermedades fungosas en tomate *Lycopersicum esculentum* Mill. *Avances en investigación Agropecuaria*, 12(3), 55-68.
- MONGKOLSUK, S., LOPRASERT, S., VATTANAVIBOON, P., CHANVANICHAYACHAI, C., CHAMNONGPOL, S., & SUPSAMRAN, N. (1996). Heterologous growth phase-and temperature-dependent expression and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> toxicity protection of a superoxide-inducible monofunctional catalase gene from *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Journal of bacteriology*, 178(12), 3578-3584.
- MOTTA-DELGADO, P. A., & MURCIA-ORDOÑEZ, B. (2011). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 77-90.
- MUNYANEZA, J. E., CROSSLIN, J. M., & UPTON, J. E. (2007). Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with "zebra chip," a new potato disease in southwestern United States and Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 100(3), 656-663.

- NAVA-PÉREZ, E., GARCÍA-GUTIÉRREZ, C., CAMACHO-BÁEZ, J. R., y VÁZQUEZ-MONTOYA, E. L. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3), 17-29.
- NGO, K., CASTILLO, P., LAINE, R. A., & SUN, Q. (2021). Effects of Menadione on Survival, Feeding, and Tunneling Activity of the Formosan Subterranean Termite. *Insects*, 12(12), 1109.
- NIKOLAOU, E., AGRAFIOTI, I., STUMPF, M., QUINN, J., STANSFIELD, I., & BROWN, A. J. (2009). Phylogenetic diversity of stress signalling pathways in fungi. *BMC Evolutionary Biology*, 9, 1-18.
- OBREGÓN, V. (2014). Guía para la identificación de las enfermedades de tomate en invernadero. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- ORTIZ, J. C. D., ENRIQUEZ, A. R., BEACHE, M. B., FUENTES, Y. M. O., CHÁVEZ, E. C., AGUILAR, R. D. J. D., & FLORES, J. L. (2022). Insecticidal Effect of Menadione on Whitefly, *Bemisia tabaci*, and Tomato Psyllid, *Bactericera cockerelli*. *Southwestern Entomologist*, 47(1), 83-88.
- PEREA SOTO, J. M., GARCÍA ESTRADA, R. S., ALLENDE MOLAR, R., CARRILLO FASIO, J. A., LEÓN FÉLIX, J., VALDEZ TORRES, B., y LÓPEZ SOTO, F. S. M. (2011). Identificación de razas y biovares de *Ralstonia solanacearum* aisladas de plantas de tomate. *Revista mexicana de fitopatología*, 29(2), 98-108.
- PLETSCH, D. J. (1947). The potato psyllid, *Paratrioza cockerelli* (Sulc), its biology and control. *Bull. Mont. agric. Exp. Stn.*, 446.
- PUCHETA DÍAZ, M., FLORES MACÍAS, A., RODRÍGUEZ NAVARRO, S., & DE LA TORRE, M. (2006). Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia*, 31(12), 856-860.
- RAO, A.R., RAVICHANDRAN, K., DAVID, S.B. RANADE, S. 1985. Menadione sodium bisulphite: a promising plant growth regulator. *Plant Growth Regul* 3:111–118.
- REHMAN, M., MELGAR, J. C., RIVERA C, J. M., IDRIS, A. M., & BROWN, J. K. (2010). First report of “*Candidatus Liberibacter psyllaeus*” or “*Ca. Liberibacter solanacearum*” associated with severe foliar chlorosis, curling, and necrosis and tuber discoloration of potato plants in Honduras. *Plant Disease*, 94(3), 376-376.
- RICHARDS, B. L., & BLOOD, H. L. (1933). Psyllid yellows of the potato. *Journal of Agricultural Research*, 46(3).
- RIVERA-MARTÍNEZ, R., RAMÍREZ-DÁVILA, J. F., & ACOSTA-GUADARRAMA, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*, 28(5), 24-33.

- RODRÍGUEZ, A., LÓPEZ, M. M., SIVERIO, F., & DE LEÓN GUERRA, L. J. (2009). Control químico del chancro bacteriano del tomate en invernadero. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (214), 28-35.
- ROJAS-MARTÍNEZ, R. I., CAMACHO-TAPIA, M., ZAVALA-MEJIA, E., & LEVY, J. (2016). First report of the presence of haplotypes A and B of *Candidatus Liberibacter solanacearum* in chili (*Capsicum annum* L.) in the Central Region of Mexico. *Journal of Plant Pathology*, 111-115.
- ROQUE-ENRIQUEZ, A., DELGADO-ORTIZ, J. C., BELTRÁN-BEACHE, M., OCHOA-FUENTES, Y. M., & CERNA-CHÁVEZ, E. (2021). Parámetros agronómicos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado con "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" y tratados con fosfitos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(1).
- SECOR, G. A., & RIVERA-VARAS, V. V. (2004). Emerging diseases of cultivated potato and their impact on Latin America. *Revista Latinoamericana de la Papa (Suplemento)*, 1, 1-8.
- SECOR, G. A., RIVERA, V. V., ABAD, J. A., LEE, I. M., CLOVER, G. R. G., LIEFTING, L. W., ... & DE BOER, S. H. (2009). Association of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' with zebra chip disease of potato established by graft and psyllid transmission, electron microscopy, and PCR. *Plant Disease*, 93(6), 574-583.
- SENGODA, V. G., MUNYANEZA, J. E., CROSSLIN, J. M., BUCHMAN, J. L., & PAPPU, H. R. (2010). Phenotypic and etiological differences between psyllid yellows and zebra chip diseases of potato. *American Journal of Potato Research*, 87, 41-49.
- SHAO, H., TU, Y., WANG, Y., JIANG, C., MA, L., HU, Z., ... & HE, B. (2019). Oxidative stress response of *Aspergillus oryzae* induced by hydrogen peroxide and menadione sodium bisulfite. *Microorganisms*, 7(8), 225.
- SIAP (2023) Expectativas de Producción Agropecuaria y pesquera. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/documentos/expectativas-de-produccion-agropecuaria-pesquera>. Fecha de consulta: 17 de mayo 2023.
- SINGH-GUPTA S.; S. MAGDUM AND A. S. SHERE-KHARWAR. 2015. Effectiveness of menadione, a synthetic analogue of a natural plant derived compound plumbagin (bio-pesticides), as insecticide on red cotton bug *Dysdercus cingulatus* Fab. Hemiptera: *Pyrhocoridae*, 20, 11-122.
- STEVENS, M., A. Health Management of Tomato. introduction. Davis, R. M., Ken P. y Broome J., C. (2017). *The American Phytopathological Society*. pag. 1-6. ISBN: 978-0-89054-488-4.

- SUJATA, M., & SMITA, B. (2009). Effect of menadione on growth and metamorphosis in *Dysdercus koenigii* (Pyrrhocoridae: Heteroptera). *National Journal of Life Sciences*, 6(1), 109-112.
- SWISHER GRIMM, K. D., MUSTAFA, T., COOPER, W. R., & MUNYANEZA, J. E. (2020). Growth and yield performance of *Solanum tuberosum* grown from seed potatoes infected with 'Candidatus *Liberibacter solanacearum*' haplotypes A and B. *Plant disease*, 104(3), 688-693.
- SWISHER, K. D., ARP, A. P., BEXTINE, B. R., ÁLVAREZ, E. A., CROSSLIN, J. M., & MUNYANEZA, J. E. (2013). Haplotyping the potato psyllid, *Bactericera cockerelli*, in Mexico and Central America. *Southwestern Entomologist*, 38(2), 201-208.
- SWISHER, K. D., HENNE, D. C., & CROSSLIN, J. M. (2014). Identification of a fourth haplotype of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in the United States. *Journal of Insect Science*, 14(1).
- SWISHER, K. D., MUNYANEZA, J. E., & CROSSLIN, J. M. (2012). High resolution melting analysis of the cytochrome oxidase I gene identifies three haplotypes of the potato psyllid in the United States. *Environmental Entomology*, 41(4), 1019-1028.
- TESTEN, A. L., NAHSON, J., MAMIRO, D. P., & MILLER, S. A. (2015). First report of tomato pith necrosis caused by *Pseudomonas cichorii* in Tanzania. *Plant Disease*, 99(7), 1035-1035.
- TEULON, D. A. J., WORKMAN, P. J., THOMAS, K. L., & NIELSEN, M. C. (2009). *Bactericera cockerelli* cursion dispersal and current distribution on vegetable crops in New Zealand. *New Zealand Plant Protection*, 62, 136-144.
- TOLEDO, M. (2021). Manejo de la paratrioza (*Bactericera cockerelli*) en el cultivo de la papa. Fertilización del cultivo de papa en las zonas altas de Honduras.
- TORRES, G. L., COOPER, W. R., HORTON, D. R., SWISHER, K. D., GARCZYNSKI, S. F., MUNYANEZA, J. E., & BARCENAS, N. M. (2015). Horizontal Transmission of " *Candidatus Liberibacter solanacearum*" by *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) on *Convolvulus* and *Ipomoea* (Solanales: Convolvulaceae). *PLoS One*, 10(11), e0142734.
- VALKO, M., LEIBFRITZ, D., MONCOL, J., CRONIN, M. T., MAZUR, M., & TELSER, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 39(1), 44-84.
- VATTANAVIBOON, P., WHANGSUK, W., & MONGKOLSUK, S. (2003). A suppressor of the menadione-hypersensitive phenotype of a *Xanthomonas campestris* pv.

- phaseoli oxyR mutant reveals a novel mechanism of toxicity and the protective role of alkyl hydroperoxide reductase. *Journal of bacteriology*, 185(5), 1734-1738.
- VEGA-CHÁVEZ, J. L., CERNA-CHÁVEZ, E., OCHOA-FUENTES, Y. M., ALVARADO-CEPEDA, Y. A., MAYO HERNÁNDEZ, J., y HERNÁNDEZ-BAUTISTA, O. (2020). Selectividad de insecticidas con el parasitoide *Tamarixia triozae* (Hymenoptera: Eulophidae) para el control de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *Nova scientia*, 12(25).
- VEGA-GUTIÉRREZ, M. T., RODRÍGUEZ-MACIEL, J. C., DÍAZ-GÓMEZ, O., BUJANOS-MUÑIZ, R., MOTA-SÁNCHEZ, D., MARTÍNEZ-CARRILLO, J. L., ... & GARZÓN-TIZNADO, J. A. (2008). Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli*(Sulc)(Hemiptera: Triozidae). *Agrociencia*, 42(4), 463-471.
- WALTERS, D.R. & FOUNTAINE, J.M. (2009). Practical application of induced resistance to *plant diseases*: an appraisal of effectiveness under field conditions. *J Agric Sci*. 147: 523–535.
- WEBER, A. L., KHAN, G. F., MAGWIRE, M. M., TABOR, C. L., MACKAY, T. F., & ANHOLT, R. R. (2012). Genome-wide association analysis of oxidative stress resistance in *Drosophila melanogaster*. *PloS one*, 7(4), e34745.
- WEST, J.S. KHARBANDA, PD. BARBETTI, MJ. & FITT, BDL. 2001. Epidemiology and management of *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker) in Australia, Canada and Europe. *Plant Pathol*. 50: 10–27.
- YU, P. L., CHEN, L. H., & CHUNG, K. R. (2016). How the pathogenic fungus *Alternaria alternata* copes with stress via the response regulators SSK1 and SHO1. *PloS one*, 11(2), e0149153.
- ZAMORANO, R. Á., & SÁNCHEZ, F. D. Enfermedades del tomate y chile Bell.
- ZELAYA-MOLINA, L. X., CHÁVEZ-DÍAZ, I. F., DE LOS SANTOS-VILLALOBOS, S., CRUZ-CÁRDENAS, C. I., RUÍZ-RAMÍREZ, S., & ROJAS-ANAYA, E. (2022). Control biológico de plagas en la agricultura mexicana. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE27), 69-79.

## ARTÍCULOS

## Insecticidal Effect of Menadione on Whitefly, *Bemisia tabaci*, and Tomato Psyllid, *Bactericera cockerelli*.

VOL. 47, NO. 1

SOUTHWESTERN ENTOMOLOGIST

MAR. 2022

### Insecticidal Effect of Menadione on Whitefly, *Bemisia tabaci*, and Tomato Psyllid, *Bactericera cockerelli*

Juan Carlos Delgado Ortiz<sup>1</sup>, Alberto Roque Enriquez<sup>2</sup>, Mariana Beltrán Beache<sup>3</sup>, Yisa María Ochoa Fuentes<sup>4</sup>, Ernesto Cerna Chávez<sup>4</sup>, Rocío de Jesús Díaz Aguilar<sup>2</sup>, and Jerónimo Landeros Flores<sup>4</sup>

**Abstract.** Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants have developed or adapted over time efficient defense mechanisms against insect attack. Because the mechanisms often fail to be effective enough, alternatives are needed to help counteract attacks by pests. Sodium menadione bisulfite (MBS), a compound derived from vitamin K3, possesses insecticidal properties. In this work, bioassays were done to verify insecticidal effect of MBS on *Bactericera cockerelli* (Sulc) and *Bemisia tabaci* (Gennadius). MBS killed more than 80 and 60% of the insects evaluated, with LC<sub>50</sub> of 54.79 and 521.72 ppm, respectively. MBS also deformed *B. cockerelli* adults hatched from nymphs exposed to concentrations of MBS tested under *in vitro* conditions. Therefore, menadione can be considered an alternative for integrated management of *B. cockerelli* and *B. tabaci*.

**Resumen.** Las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el paso del tiempo han desarrollado o adaptado mecanismos de defensa muy eficientes al ataque de insectos; aunque muchas veces estos mecanismos no logran ser lo suficientemente eficaces, por lo que se necesitan alternativas que ayuden a contrarrestar estos ataques. La menadiona bisulfito de sodio (MBS) es un compuesto derivado de la vitamina K3, que ha demostrado poseer propiedades insecticidas. En el presente trabajo se realizaron bioensayos para comprobar el efecto insecticida sobre *Bactericera cockerelli* (Sulc) y *Bemisia tabaci* (Gennadius) de la MBS; donde mostró mortalidad superior al 80 y 60% en los insectos evaluados, con una CL<sub>50</sub> de 54.79 y 521.72 ppm, respectivamente. Adicionalmente, la MBS mostró un efecto deformante sobre los adultos de *B. cockerelli* eclosionados de ninfas expuestas a las concentraciones de MBS evaluadas bajo condiciones *in vitro*. Por lo anterior se puede considerar la menadiona como una alternativa para el manejo integrado de *B. cockerelli* y *B. tabaci*.

<sup>1</sup>Catedrático CONACYT-UAAAN, Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315; jdelgado@conacyt.mx, Orcid: 0000-0003-4899-9995.

<sup>2</sup>Postgraduate student, Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315; roque\_doko@hotmail.com, Orcid: 0000-0002-2816-9831; rociodiazag@hotmail.com, Orcid:0000-0002-6709-6540.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, Depto. de Ciencias Agronómicas, Centro de Ciencias Agropecuarias. Jesús María, Aguascalientes, México. C.P. 20900; beltránmariana89@gmail.com, Orcid: 0000-0002-3109-9360.

<sup>4</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315; jabaly1@yahoo.com, Orcid: 0000-0003-2263-4322; yisa8a@yahoo.com, Orcid: org/0000-0001-7859-8434; jianflo@hotmail.com, Orcid: 0000-0001-7924-4443

\*Corresponding author



## Introduction

Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) are one of the most economically important vegetables worldwide (FAOSTAT 2019), because they are cultivated for fresh consumption or industry in more than 100 countries. Countries producing the most tomatoes are China, India, Turkey, the United States, and Mexico. Mexico, with tomato being the main export crop, is in ninth place worldwide in production of tomatoes; in 2019, 3,441,639.37 tons were produced on 47,372.94 ha. The states producing the most tomatoes in Mexico are Sinaloa with 22.2%, San Luis Potosí 11.3%, Michoacán 8.1%, Zacatecas 5.2%, and Jalisco 5.1% (FAO 2017, SIAP 2021).

Solanaceous crops are affected by several phytophagous agents, including insect vectors, that cause great losses in productivity of many horticultural crops. The most important insect pests of tomato are tomato psyllid, *B. cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Trioizidae), and whitefly, *B. tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) (Nava-Camberos et al. 2017).

The tomato psyllid is a serious pest of the solanaceous family, and is distributed in the United States, Mexico, and Central America. It seriously restricts production of chili, potato, and tomato (Delgado-Ortiz et al. 2019). The tomato psyllid causes direct damage by feeding on the lower part of the leaves, foliar chlorosis, and indirect damage by transmitting diseases such as phytoplasmas and bacteria (*Candidatus Liberibacter solanacearum*) (Sengoda et al. 2010, Jirón-Rojas et al. 2016, Olaniyan et al. 2020).

The whitefly causes as much as 50% reduction in yield potential of Solanaceae crops in the field and in greenhouses. It causes damage by feeding on the sap of plants and excreting sugary substances on leaves and fruits, decreasing fruit quality, and promoting development of phytopathogenic fungi. It also causes indirect damage by being a vector of more than 100 phytopathogenic viruses (Horowitz and Ishaaya 2014, Gangwar and Gangwar 2018, Berdúo-Sandoval et al. 2020, Gamboa et al. 2020, GISD 2020, Avilés et al. 2021).

Continuous application of chemical insecticides for control of *B. cockerelli* and *B. tabaci* generated constant selection pressure in the species (Ahmad et al. 2010, Carnero et al. 2021). In the case of *B. cockerelli*, rates of resistance to the insecticides endosulfan and imidacloprid have been recorded in chili- and potato-producing areas at San Luis Potosí, Aguascalientes, and Coahuila-Nuevo León, Mexico (Cerna et al. 2015). For *B. tabaci*, as many as 64 active ingredients from different toxicological groups have been reported, among which organophosphates, neonicotinoids, carbamates, avermectins, and chlorinates, stand out (APRD 2020). Recently, large levels of biochemical resistance have been determined for this pest by quantifying detoxifying enzymes ( $\alpha$ -esterases,  $\beta$ -esterases, oxidases, and glutathione S-transferases) in populations from the State of Sinaloa, Mexico (Carnero et al. 2021).

The cost of insecticides and their intensive use have had a negative impact on soils, terrestrial and aquatic ecosystems, as well as human health. Implementation of new pest insect management strategies such as biological control organisms, insecticides of botanical origin, entomopathogenic fungi, and low-impact chemical insecticides favor production of better-quality food with less residue by chemical pollutants (Carvalho 2017).

Sodium menadione bisulfite (MBS) is a compound derived from vitamin K3, or provitamin K (Borges et al. 2009). According to previous studies, it is able to induce resistance to various pathogens. It is an effective activator of natural defense

mechanisms in the plant, in addition to reducing the growth rate of pest insects (Walters and Fountaine 2009, Borges et al. 2014). MBS has insecticidal effect on *Trioza erythrae*, *Dysdercus koenigii*, *Dysdercus cingulatus*, and mollusks (Magdum et al. 2001, Sujata and Smita 2009, Borges and Borges-Pérez 2010, Singh-Gupta et al. 2015, Carrillo-Perdomo et al. 2016). The objective of this research was to learn the insecticidal effect of MBS on *B. cockerelli* and *B. tabaci* insects.

### Materials and Methods

A breeding colony of *B. cockerelli* was established in the greenhouse of the Toxicology Laboratory of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). The colony is kept in an entomological cage (60 cm x 60 cm x 70 cm) in 'Rio Grande'-variety tomato plants 30 days old, at 22°C with a photoperiod of 14:10 light:dark hours (Levy et al. 2013).

A vacuum cleaner was used to help collect adults of *B. tabaci* from chili plants at Cadereyta, Nuevo León. The insects were taken to a greenhouse where they were put into entomological cages (60 cm x 60 cm x 70 cm) with tomato plants of the Rio Grande variety with 30 days of development, at 28°C, 30-50% relative humidity, and a photoperiod of 14:10 light:dark hours (Polston and Capobianco 2013).

Bioassays were done according to the technique of the Susceptibility Test Method of IRAC 032 (version 1.0, 2014). Leaves with nymphs of *B. cockerelli* and *B. tabaci* were taken from the middle layers of tomato plants from which were selected 15 nymphs of fourth and fifth stages. The leaves were immersed for 5 seconds in concentrations of the active ingredient. The treated leaves were left to dry on brown paper and later put with wet paper in Petri dishes. The bioassay was done at laboratory conditions (24 ± 2°C temperature, 60% relative humidity, and photoperiod of 14:10 light:dark hours). The evaluated concentrations of MBS (Chem Cruz®) were 50, 100, 250, 500, 1,000, 2,000, 3,000, and 5,000 ppm (Borges and Borges-Pérez, 2010). Tween 20 was used as an emulsifier (1 ml per liter) in different concentrations. Each treatment had five replications and a check (water/tween 20). The number of dead insects was evaluated every 24 hours with the aid of a dissecting microscope (Carl Zeiss, Stemi DV4, Germany), with a nymph considered to be dead when the appendages were attached to the body, was dehydrated, or did not react to physical stimulation with a brush. Bioassays were done in a completely randomized design, while dose-mortality response lines (LC<sub>50</sub>) were obtained through linear regression and Probit statistical analysis. Mortality data were analyzed by analysis of variance (ANOVA), and means were compared using a test of minimum significant difference at a level of  $\alpha = 0.05$  using SAS statistical software V.9.1.

### Results and Discussion

The menadione treatment of 500 ppm killed more than 80% of *B. cockerelli*, while more than 60% of *B. tabaci* were killed with 3,000 ppm (Table 1). MBS had an insecticidal effect against *B. cockerelli* and *B. tabaci*, obtaining mean lethal concentration (LC<sub>50</sub>) of 54.79 and 521.72 ppm, respectively (Table 2). Borges and Borges-Pérez (2010) reported 100% repellency to attack by *Trioza erythrae* that vectors Huanglongbing in orange (*Citrus sinensis* L.), mandarin (*Citrus reticulata* L.), and lemon (*Citrus limon* L.) plants treated with 80 ppm of MBS that killed nymphs. *B. cockerelli* nymphs of the fifth instar that survived and hatched into adults after

treatment with MBS had difficulty moving, and the terminal part of the wing was underdeveloped.

Sujata and Smita (2009) reported that MBS killed 80% of *Dysdercus koenigii* and had an LC<sub>50</sub> of 1.22 µg. They also observed effects of deformity, with the fifth-instar nymphs smaller, with pale body color, flat abdomen, and abnormally developed wing pads. The numbers of treated nymphs and adults of *Dysdercus cingulatus* killed by MBS was 56% in both cases, with LC<sub>50</sub> values of 1.36 and 1.42 µg, respectively. Singh-Gupta et al. (2015) also recorded deformations such as flattened abdomen and wing deformities in molted adults of *Dysdercus cingulatus*. Magdum et al. (2001) reported sterility in *Dysdercus koenigii* insects treated with MBS.

Table 1. Mortality from *in vitro* Tests of *B. cockerelli* and *B. tabaci* 48 Hours after Exposure to Sodium Menadione Bisulfite

Dose (ppm)	% killed ± standard deviation	
	<i>B. cockerelli</i>	<i>B. tabaci</i>
5000	95.055 ± 4.291 a	63.370 ± 7.317 a
3000	92.857 ± 7.143 a	60.805 ± 15.505 a b
2000	90.293 ± 10.855 a b	53.846 ± 9.767 a b
1000	85.348 ± 14.299 a b c	53.846 ± 9.767 a b
500	85.348 ± 14.299 a b c	48.901 ± 5.576 a b
250	60.806 ± 9.346 b c d	43.956 ± 7.392 a b
100	56.410 ± 13.202 c d	41.208 ± 9.721 a b
50	53.297 ± 13.335 d	36.446 ± 6.077 b

Means followed by the same letter in a column are not statistically different (DSM test,  $p > 0.05$ ).

Table 2. Estimation of the LC<sub>50</sub> for *B. cockerelli* and *B. tabaci* Treated with Sodium Menadione Bisulfite

Species	CL <sub>50</sub>	Fiducial limits		Prediction equation	R <sup>2</sup> *
		Lower	Higher		
<i>B. cockerelli</i>	54.792	82.131	31.592	$y = -1.4538 + 0.8361x$	0.9002
<i>B. tabaci</i>	521.718	269.796	957.692	$y = -0.9424 + 0.3467x$	0.8180

\*Correlation coefficient

Carrillo-Perdomo et al. (2016) found that MBS at a concentration of 80 ppm compared to the check applied to 'Roma' variety of tomato plants pre-infestation or post-infestation reduced the percentage of area consumed by snails. The authors recommended application of MBS before infestation; no snails were killed in the antibiosis tests.

According to the results, MBS had an insecticidal effect on *B. cockerelli* and *B. tabaci*, killing 80% or more of *B. cockerelli*, while more than 60% of *B. tabaci* were killed. With an LC<sub>50</sub> of 54.792 ppm for *B. cockerelli* and 521.718 ppm for *B. tabaci*, the results indicated that MBS can be used to control the afore-mentioned insects.

## References Cited

- Ahmad, M., M. I. Arif, and M. J. Naveed. 2010. Dynamics of resistance to organophosphate and carbamate insecticides in the cotton whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: *Aleyrodidae*) from Pakistan. *J. Pest Sci.* 83: 409-420.
- APRD. 2020. Arthropod pesticide resistance database. [www.pesticideresistance.com](http://www.pesticideresistance.com).
- Berdúo-Sandoval, J. E., J. A. Ruiz-Chután, L. Méndez, L. Mejía, D. Maxwell, and A. Sánchez-Pérez. 2020. Detección de patógenos asociados a la enfermedad punta morada en los cultivos de pape y tomate en Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud* 7: 205-217.
- Borges, A. A., and A. Borges-Pérez. 2010. Composiciones para controlar los psílidos *Trioza erythrae* y *Diaphorina citri*, vectores de las bacterias del género *Candidatus Liberibacter* que causan la más grave enfermedad de los cítricos conocida como Huanglongbing.
- Borges, A., D. Jiménez, and M. Rodríguez. 2014. Priming crops against biotic and abiotic stresses: MSB as a tool for studying mechanisms. *Front. Plant Sci.* 5: 1-4.
- Borges, A. A., A. Dobon, M. Expósito-Rodríguez, D. Jiménez-Arias, A. Borges-Pérez, V. Casañas-Sánchez, and P. Tornero. 2009. Molecular analysis of menadione-induced resistance against biotic stress in *Arabidopsis*. *Plant Biotechnology Journal* 7: 744-762.
- Carnero, L. A., E. C. Cerna, J. F. R. Rodríguez, M. B. Beltrán, Y. M. F. Ochoa, y S. F. Velarde. 2021. Cuantificación de enzimas relacionadas a la resistencia de insecticidas en *Bemisia tabaci* del estado de Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12: 77-88.
- Carrillo-Perdomo, E., D. Jiménez-Arias, Á. Aller, and A. A. Borges. 2016. Menadione sodium bisulphite (MSB) enhances the resistance response of tomato, leading to repel mollusc pests. *Pest Management Science* 72: 950-960.
- Carvalho, F. P. 2017. Plaguicidas, medio ambiente y seguridad alimentaria. *Seguridad Alimentaria y Energética* 6: 48-60.
- Cerna, C. E., B. O. Hernández, F. J. Landeros, U. L. Aguirre, and Y. M. F. Ochoa. 2015. Insecticide-resistance ratios of three populations of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: *Psylloidea: Triozidae*) in regions of northern Mexico. *Fla. Entomol.* 98: 950-953.
- Delgado-Ortiz, J. C., M. Beltrán-Beache, E. Cerna-Chávez, L. A. Aguirre-Urbe, J. Landero-Flores, Y. Rodríguez-Pagaza, and Y. M. Ochoa-Fuentes. 2019. *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control. TIP. *Revista Especial. Cienc. Químico-Biológicas* 22: 1-12.
- FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FOSTAT. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Gamboa, C. D. J. G., E. R. Sánchez, H. S. B. Gómez, and A. D. S. G. Moreno. 2020. Effect of biorational insecticides and neonicotinoids on the population density of *Bemisia tabaci* and fruit yield in tomato. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23.
- Gangwar, R. K., and C. Gangwar. 2018. Lifecycle, distribution, nature of damage and economic importance of whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Acta Scientific Agriculture* 2: 36-39.

- GISD. 2020. Global Invasive Species Database. <http://www.issg.org/database>.
- Horowitz, A. R., and I. Ishaaya. 2014. Dynamics of biotypes B and Q of the whitefly *Bemisia tabaci* and its impact on insecticide resistance. *Pest. Manag. Sci.* 70: 1568-1572.
- Jirón-Rojas, R. L., U. Nava-Camberos, F. Jiménez-Díaz, O. G. Alvarado-Gómez, V. Ávila-Rodríguez, y J. L. García-Hernández. 2016. Densidades de *Bactericera cockerelli* (Sulc) e incidencia del "permanente del tomate" en diferentes condiciones de producción del tomate. *Southwest. Entomol.* 41: 1085-1094.
- Lévy, J., J. Hancock, A. Ravindran, D. Gross, C. Tamborindeguy, and E. Pierson. 2013. Methods for rapid and effective PCR-based detection of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' from the insect vector *Bactericera cockerelli*: streamlining the DNA extraction/purification process. *J. Econ. Entomol.* 106: 1440-1445.
- Magdum, S., S. Banerjee, G. P. Kalena, and A. Banerji. 2001. Chemosterilant activity of naturally occurring quinones and their analogues in the red cotton bug, *Dysdercus koenigii* (Het., *Pyrrhocoridae*). *J. Appl. Entomol.* 125: 589-596.
- Nava-Camberos, U., V. Ávila-Rodríguez, O. G. Alvarado-Gómez, y F. J. Díaz. 2017. Densidades de insectos vectores, incidencia de enfermedades y detección molecular de fitopatógenos asociados en tomate. *Southwest. Entomol.* 42: 531-544.
- Olaniyan, O., N. Rodríguez-Gasol, N. Cayla, E. Michaud, and S. D. Wratten. 2020. *Bactericera cockerelli* (Sulc), a potential threat to China's potato industry. *J. Integrative Agric.* 19: 338-349.
- Polston, J. E., and H. Capobianco. 2013. Transmitting plant viruses using whiteflies. *J. Vis. Exp.* 81: 4332.
- Sengoda, V. G., J. E. Munyaneza, J. M. Crosslin, J. L. Buchman, and H. R. Pappu. 2010. Phenotypic and etiological differences between psyllid yellows and zebra chip diseases of potato. *Am. J. Potato Res.* 87: 41-49.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Expectativas de Producción Agropecuaria y pesquera. <https://www.gob.mx/siap/documentos/expectativas-de-produccion-agropecuaria-pesquera> Fecha de consulta 28 de enero 2021.
- Singh-Gupta, S., S. Magdum, and A. S. Shere-Kharwar. 2015. Effectiveness of menadione, a synthetic analogue of a natural plant derived compound-plumbagin (bio-pesticides), as insecticide on red cotton bug *Dysdercus cingulatus* Fab. (Hemiptera: Pyrrhocoridae) 20: 11-122.
- Sujata, M., and B. Smita. 2009. Effect of menadione on growth and metamorphosis in *Dysdercus koenigii* (Heteroptera: Pyrrhocoridae). *National Journal of Life Sciences* 6: 109-112.
- Walters, D. R., and J. M. Fountaine. 2009. Practical application of induced resistance to plant diseases: an appraisal of effectiveness under field conditions. *J. Agric. Sci.* 147: 523-535.

## **Efecto De La Menadiona En El Desarrollo y Supervivencia De *Bactericera Cockerelli*.**

Alberto Roque Enriquez<sup>1</sup>, Juan Carlos Delgado Ortiz<sup>2\*</sup>, Mariana Beltrán Beache<sup>3</sup>, Yisa María Ochoa Fuentes<sup>4</sup>, Ernesto Cerna Chávez<sup>4</sup>, Jerónimo Landeros Flores<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Estudiante de Posgrado, Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. e-mail:

[roque\\_doko@hotmail.com](mailto:roque_doko@hotmail.com). Orcid: 0000-0002-2816-9831

<sup>2\*</sup> Catedrático Conacyt-UAAAN, Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma

Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. e-mail:

[jdelgado@conacyt.mx](mailto:jdelgado@conacyt.mx). Orcid: 0000-0003-4899-9995

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Aguascalientes, Departamento de Agronomía. Carretera Jesús

María, Posta Zootecnica S/N, C.P. 20920, Aguascalientes, México. e-mail:

[beltránmariana89@gmail.com](mailto:beltránmariana89@gmail.com). Orcid: [0000-0002-3109-9360](https://orcid.org/0000-0002-3109-9360)

<sup>4</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P.

25315. e-mail: [jabaly1@yahoo.com](mailto:jabaly1@yahoo.com), Orcid: 0000-0003-2263-4322, [yisa8a@yahoo.com](mailto:yisa8a@yahoo.com), Orcid:

[org/0000-0001-7859-8434](https://orcid.org/0000-0001-7859-8434), [jlanflo@hotmail.com](mailto:jlanflo@hotmail.com), [org/0000-0001-7924-4443](https://orcid.org/0000-0001-7924-4443)

### Resumen

El insecto *Bactericera cockerelli* genera muchos daños a los cultivos de solanáceas en México causando pérdidas millonarias a los productores, el uso excesivo de los pesticidas químicos comerciales con el paso del tiempo ha generado resistencia para los insectos causando que las poblaciones año con años sean más resistentes a las aplicaciones químicas, por ellos se buscan nuevas alternativas para el control del insecto, dentro de lo que destaca el uso de inductores de resistencia que sean efectivos y amigables con el medio ambiente, la menadiona bisulfito de sodio es una alternativa eficaz y de bajo impacto ambiental que ha demostrado ser un activador de las defensas de las plantas y cuenta con efectos insecticidas. En el presente trabajo se realizaron ensayos en la Universidad Autónoma Antonio Narro, Para determinar los parámetros

poblacionales se establecieron cohortes con huevecillos de *B. cockerelli*, utilizando en cada una de las jaulas entomológicas tres plantas de tomate de la variedad "Río Grande". para comprobar el efecto de la menadiona sobre desarrollo y supervivencia del insecto *Bactericera cockerelli*, de acuerdo a los datos obtenidos no se encontró diferencia significativa en los días de desarrollo en las etapas inmaduras del insecto, mientras que es los datos de supervivencia los tratamientos de MBS tuvieron las mortalidades más altas de un 42 a 80 %, demostrado que la MBS tiene un efecto positivo en las mortalidades de ninfas de *B. cockerelli*.

Palabras clave: Desarrollo, Supervivencia, Psílido.

#### Abstract

The *Bactericera cockerelli* insect causes a lot of damage to solanaceous crops in Mexico, causing millions in losses to producers, the excessive use of commercial chemical pesticides over time has generated resistance to insects, causing populations to be more resistant year after year. to chemical applications, for which new alternatives are sought for the control of the insect, within which the use of resistance inducers that are effective and friendly to the environment stands out, menadione sodium bisulfite is an effective and low-cost alternative. environmental impact that has been shown to be an activator of plant defenses and has insecticidal effects. In the present work, tests were carried out at the Antonio Narro Autonomous University. To determine the population parameters, cohorts with *B. cockerelli* eggs were established, using three tomato plants of the "Río Grande" variety in each of the entomological cages. to verify the effect of menadione on the development and survival of the insect *Bactericera cockerelli*, according to the data obtained, no significant difference was found in the days of development in the immature stages of the insect, while the survival data is the MBS treatments. they had the highest mortalities from 42 to 80 %, demonstrating that the MBS has a positive effect on the mortality of *B. cockerelli* nymphs.

Keywords: Development, Survival,

## Introducción

En México, a la constante problemática que se enfrentan los productores de solanáceas en cada ciclo son las plagas y enfermedades; dentro de las que destacan los insectos vectores de virus, bacterias y fitoplasmas, como el psílido de las solanáceas *Bactericera cockerelli*(Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) (Almeyda 2004; Casteel, 2006; Bluter 2011; Rivera Martínez 2018), la cual es una de las plagas más importantes por los daños directos que causa al succionar la savia de la planta; como es el amarillamiento de las hojas causado por una toxina salival, esto de acuerdo a las variantes genéticas del insecto el cual está relacionado a la capacidad que tiene de fungir como vector (Melgoza Villagómez 2018; Berduo-Sandoval 2020; Cerna *et al.* , 2021), también se le atribuye daños indirectos como la transmisión de patógenos asociados a la enfermedad conocida como fitoplasmas BLTV-A y la transmisión de la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, que ocasiona enfermedades como: permanente del tomate, manchado del tubérculo o zebra chip, en la papa se observa tuberización aérea, el enrollamiento en las puntas de las hojas con una marcada coloración morada, decaimiento temprano de la planta y brotes cloróticos con síntomas como el aborto de flor, oscurecimiento de tejido vascular en la base del tallo y raíz de la planta (Garzón *et al.*, 2004; Hansen *et al.*, 2008; Berduo-Sandoval 2020; Cerna *et al.*, 2021).

Los métodos empleados para el control de *B. cockerelli* está basado generalmente en el uso de insecticidas a base de principios activos químicos, enfocado principalmente a los diferentes estadios ninfales y adultos, se ha reportado que los productores de solanáceas en México realizan más de 30 aplicaciones de insecticidas por ciclo del cultivo; incrementado así los costos de producción, el daño al medio ambiente, daño a la salud de los agricultores y la aparición de resistencia a los principios activos químicos por el uso irracional Mayo-Hernández *et al.*, (2018). En cultivos de papa expuestos al psílido se han reportado pérdidas en rendimiento de hasta el 93% (Munyaneza *et al.*, 2008) y en tomate se han reportado pérdidas del 50 al 80% (Liu, 2006), lo que orilla a los productores al abandonar los campos de producción (Flores *et al.* 2004).



La libre selección del insecto se relaciona con la morfometría de adultos y ninfas de *B. cockerelli* que puede verse afectada por las variedades de tomate en que se desarrolla (Vargas *et al.*, 2014). Las plantas cuentan con mecanismo de resistencia naturales que se activan cuando se ven amenazadas por varios factores físicos o biológicos. La antibiosis es un antagonismo regulado por metabolitos (específicos o no específicos), enzimas, compuestos volátiles y otras sustancias tóxicas, que genera un biocontrol de las plantas contra plagas y patógenos que reducen su crecimiento o sobrevivencia (Fravel, 1988). Los insectos escogen una planta hospedera alterna en menor aceptación debido a las características morfológicas (capas epidérmicas gruesas, presencia de cera, densidad de tricomas) y químicas (fitoquímicos de repelencia, tóxicos), alterando el comportamiento de los insectos, esta interacción entre plantas e insecto se conoce como antixenosis (Díaz *et al.*, 2013). El insecto *B. cockerelli* ha mostrado afinidad por las plantas de tomate variedad Rio Grande (*Solanum lycopersicum* L.) que a otras variedades de tomate silvestres e injertadas (Cortez-Madrigal, 2010).

Los cambios climáticos han provocado un cambio en las temperaturas generando cambios en el comportamiento de las poblaciones de insectos con una alteración del voltinismo; y puede ser más benéfico para las especies multivoltinas, generando cambios en la distribución geográfica de los insectos (Useche *et al.*, 2019).

El uso excesivo de los pesticidas, ha puesto en peligro el suelo, medio ambiente, plantas, animales y personas; ha obligado a los investigadores a plantearse nuevas estrategias de protección para los cultivos. La menadiona bisulfito de sodio (MSB), es una estrategia viable debido a su composición, ya que activa los mecanismos naturales de defensa de las plantas y la subsiguiente inducción de resistencia a los ataques de patógenos y plagas; además de contar con propiedades anti alimentarias. La MSB es un compuesto sistémico, biodegradable, no tóxico e inócuo desde el punto de vista medioambiental, no es fitotóxico para las plantas, los animales y los seres humanos (Borges & Borges, 2010; Borges y Pérez, 2011; Borges & Borges, 2012).

En relación a las características descritas de la MBS diferentes autores reportan efectos positivos al usar el principio activo como inductor de resistencia a varios insectos, por ejemplo, Carrillo-Perdomo., *et al* (2016), reportan el uso de la MBS contra la plaga del molusco, es una herramienta útil para el control de las infestaciones de caracoles, destacando que se puede usar en bajas concentraciones y es compatible con el control biológico de plagas. Borges, (2012), utilizo la MBS para la enfermedad de los cítricos más grave conocida, el huanglongbing (HLB), capaz de controlar a los vectores los psílidos *Trioza erytreae* y *Diaphorina citri*. Por lo anterior y en base a lo citado en este trabajo el objetivo de la presente investigación fue conocer los efectos de la MBS en el ciclo de vida del insecto *B. cockerelli*.

### Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en condiciones de invernadero en el Departamento de Parasitología de la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Ubicada en Saltillo, Coahuila, México.

**Cría de *B. cockerelli*.** La colonia fue establecida bajo condiciones de invernadero, la cual se mantuvo dentro de una jaula entomológica (60 cm × 60 cm × 70cm), en plantas de tomate de la variedad Rio Grande de 30 días de crecimiento, a temperatura de 25±2°C con fotoperiodo 14:10h (luz/oscuridad) (Levy *et al.*, 2013).

**Establecimiento del experimento.** Para evaluar el efecto de la MBS sobre el desarrollo de *B. cockerelli* se evaluaron los siguientes tratamientos: 55 ppm, 80 ppm, 100 ppm y 500 ppm, se determinaron de acuerdo Borges (2012) y Ortiz *et al.* (2022), los cuales fueron asperjados en cuatro aplicaciones por cada tratamiento, la primera aplicación se realizó antes de colocar los insectos para las oviposturas y posteriormente se realizaron aplicaciones con intervalos de ocho días (se aplicó en toda la planta menos en las hojas donde se encontraban las ninfas).

Para determinar los parámetros poblacionales se establecieron cohortes con huevecillos de *B. cockerelli*, utilizando en cada una de las jaulas entomológicas tres plantas de tomate de la variedad "Río Grande" de 30 días de edad. Con ayuda de una trampa entomológica se colocaron los adultos (5 hembras y cinco machos) se dejó ovipositar al adulto, por un periodo de 24 h, posteriormente se retiraron los adultos para que las jaulas quedaran bajo condiciones de invernadero. Con una lupa de (10x) se contaron 30 huevecillos por planta y se seleccionaron para los conteos diarios, registrando la eclosión y supervivencia hasta la emergencia del adulto.

Análisis de resultados. Se analizó el periodo de desarrollo, la supervivencia, la pre-ovoposición (PO), el período de incubación (PI), el período de la etapa inmadura (PEI), el "período de desarrollo total (PDT) y el desarrollo total" más el "período previo a la ovoposición" se utilizó para calcular la duración del ciclo de vida total (CVT). A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), con el software SAS 9.1.

La diferenciación de estadios y desarrollo de los insectos, se determinó mediante la observación de las características morfológicas y comportamiento de *B. cockerelli* sobre las plantas infestadas. *B. cockerelli* consta de cinco estadios ninfales, una de sus principales características más relevantes en las ninfas es que su cuerpo es aplanado, de forma elíptica. El primer estadio no es evidente la división de cabeza, tórax y abdomen, son amarillo-anaranjadas similares a los inmaduros del trips, pero más redondeadas. En el segundo estadio se vuelven de color verde pálido, son más evidentes las divisiones. En el tercer estadio son ninfas de color verde claro, se pueden ver los ojos rojos y prominentes, las alas vestigiales o rudimentarias de un largo menor que la mitad del cuerpo. En el cuarto estadio su coloración sigue siendo verde claro y se presentan las antenas bien formadas con setas censorsas visibles; en quinto estadio la segmentación de antenas y patas están bien definidas, así como los paquetes alares, las ninfas se ubican en las partes inferiores de las hojas, pero se pueden encontrar en toda la planta (Castillo & Llumiquinga, 2021).

## Resultados

En el cuadro 1, se observa que las etapas del periodo de desarrollo de *B. cockerelli*, se alteraron mínimamente con la aplicación de MBS, por lo tanto, no hay diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, en el PO el testigo presentó la primera ovoposición a los 4 días, mientras que en los tratamientos se presentó al quinto día. En el PI los tratamientos de 80 y 500 ppm registraron menos días para la eclosión del primer estadio. En el caso del PDT el tratamiento de 55 ppm necesitó 26 días para el desarrollo y el tratamiento de 500 ppm 29 días. Para el PEI el testigo y 55 ppm mostraron un menor desarrollo en la etapa inmadura con 22.66 y 22.33 días, los tratamientos con dosis más altas presentaron un letargo de un día en el ciclo. Para el caso del CVT el tratamiento a 55 ppm obtuvo el menor ciclo de vida con 31.66 días, el resto de los tratamientos necesitaron 2 días más (33.3 días) para terminar su ciclo. Cerna *et al.* (2018), determinó los parámetros poblacionales de *B. cockerelli* de tres poblaciones de campo del noreste de México bajo condiciones controladas de  $25 \pm 2$  °C, los resultados mostraron que la población de San Luis Potosí fue la colonia más longeva para completar su ciclo de vida con 31.75 días, mientras que la población de Coahuila-Nuevo León registro un desarrollo de 24.25 días. Abdulla, (2007), reporta el estudio de parámetros poblacionales de *B. cockerelli* en un invernadero comercial determinando los parámetros a 26-27 °C, reportando un promedio en la ovoposición de 6.9 días, el periodo de incubación de 6.7 días, el periodo de etapa inmadura lo registro de 21.9 días, con un desarrollo total del insecto de 28 días y el ciclo de vida total de insecto fue de 34.7 días, datos muy similares a los reportados en este trabajo; ya que el desarrollo del insecto no se vio afectado por los tratamientos con la MBS en comparación con el testigo. El clima óptimo para el desarrollo de *B. cockerelli* oscila entre 25-28 °C para que tenga un desarrollo de 19 a 21 del ciclo completo, mientras que los cambios de temperatura 5 °C se demostró una reducción drástica, a 15 °C del ciclo de vida del insecto mostro una duración superior a los 40 días y se reduce la población a 32°C y cesa su reproducción a 35°C (Tran *et al.*, 2012; Cabrera & Díaz, 2022).

Cuadro 1. Período de desarrollo de *B. cockerelli* en cada etapa de desarrollo.

	Periodo (días $\pm$ S.D.)*				
	PO	PI	PDT	PEI	CVT
Testigo	4.00 $\pm$ 1.0a	6.00 $\pm$ 1.00 a	28.00 $\pm$ 1.00 a	22.66 $\pm$ 6.51 a	33.0 $\pm$ 1.00 a
55 ppm	5.00 $\pm$ 1.0a	6.00 $\pm$ 1.00 a	26.66 $\pm$ 1.52 a	22.33 $\pm$ 0.57 a	31.66 $\pm$ 1.52 a
80 ppm	5.00 $\pm$ 1.0a	5.33 $\pm$ 0.57 a	28.33 $\pm$ 0.57 a	23.33 $\pm$ 0.57 a	33.33 $\pm$ 0.57 a
100 ppm	5.00 $\pm$ 1.0a	6.33 $\pm$ 1.52 a	28.00 $\pm$ 0.00 a	23.66 $\pm$ 0.57 a	33.33 $\pm$ 1.00 a
500 ppm	5.0 $\pm$ 1.0a	5.66 $\pm$ 0.57 a	29.0 $\pm$ 1.0 a	23.66 $\pm$ 0.57 a	33.00 $\pm$ 1.00 a
p- valor	0.5801	0.7818	0.1277	0.7239	0.0339

S. D.: desviación estándar. \* Las medias en las mismas columnas con diferente letra son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ).

La supervivencia mostró diferencias significativas entre los tratamientos y los instares; el tratamiento de 100 ppm tuvo la menor eclosión de huevecillos con un 58.89% de viabilidad. Para el primer estadio el tratamiento de 100 ppm presentó el 47.78% de supervivencia mientras que los demás tratamientos mostraron un comportamiento similar, para los instar 2, 3 y 4 presentaron un comportamiento con altos índices de muertes entre los instar, el porcentaje de supervivencias más bajo lo presentó el tratamiento de 500 ppm con un 80% de supervivencia menos que el testigo.

Varios autores destacan que la mayor muerte de las ninfas son en los primeros estadios, en este trabajo se presentó en todos los estadios la muerte progresiva en todos los instar, esta respuesta se atribuyen los efectos generados por la MBS; el primer atributo es por el efecto de inducción de resistencia que genera en las plantas, activando varias rutas de defensa en el metabolismo de las plantas, el segundo es por el efecto anti alimentario que genera la MBS en los insectos causando la muerte inminente en todos los estadios ninfales del insecto. Los porcentajes de supervivencia que reportaron coinciden con lo reportado por Cerna *et al.* (2018), mencionando que la población de Coahuila-Nuevo registró un 6% de supervivencia, también que la mayor mortalidad se presentó en los primero estadios ninfales primero y tercer instar. Vargas-Madrid *et al.* (2020) y Abdulla, (2008), en un estudio sobre el estado de desarrollo de *B. cockerelli*, menciona que los altos índices de mortalidad se registran en las etapas inmaduras entre los tres primeros estadios ninfales,

reportando también que los índices de mortalidad para todas las etapas fueron por debajo del 50% para todos los estadios y adultos. Ortiz *et al.* (2022) reporta mortalidades por encima del 60% en ninfas de *B. cockerelli* en bioensayos *in vitro*.

Cuadro 2. Supervivencia para los estadios inmaduros de *B. cockerelli*\*.

Estadios	Supervivencia (% $\pm$ S.D)				Testigo	p-valor
	55 ppm	80 ppm	100 ppm	500 ppm		
Huevo	85.56 $\pm$ 25.01 a	78.89 $\pm$ 28.34 a	58.89 $\pm$ 10.71 a	75.46 $\pm$ 16.44 a	100.0 $\pm$ 0.0 a	0.0010
1er instar	74.44 $\pm$ 21.17 a	70.00 $\pm$ 6.67 a	47.78 $\pm$ 8.39 a	70.00 $\pm$ 17.32 b	96.66 $\pm$ 3.33 a	0.0129
2do instar	53.33 $\pm$ 5.77 b	60.00 $\pm$ 10.00 b	42.22 $\pm$ 6.93 b	60.00 $\pm$ 16.67 b	88.89 $\pm$ 6.9 a	0.0026
3er instar	50.00 $\pm$ 3.33 bc	54.44 $\pm$ 8.38 b	33.33 $\pm$ 3.33 c	54.44 $\pm$ 11.70 b	88.89 $\pm$ 6.94 a	0.0001
4to instar	45.55 $\pm$ 3.85 b	51.11 $\pm$ 8.39 b	33.33 $\pm$ 3.33 b	35.55 $\pm$ 5.09 b	76.66 $\pm$ 17.64 a	0.0014
5to instar	41.11 $\pm$ 5.09 b	46.66 $\pm$ 6.66 b	26.67 $\pm$ 10.00 b	30.00 $\pm$ 3.33 b	73.33 $\pm$ 20.27 a	0.0027
Adulto	37.77 $\pm$ 5.09 b	22.22 $\pm$ 20.36 b	16.66 $\pm$ 14.53 b	14.44 $\pm$ 12.61 b	72.22 $\pm$ 21.43 a	0.0067

S. D.: desviación estándar. \* Las medias en las mismas filas con diferente letra son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ).

En el tiempo de desarrollo de los estadios inmaduros no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos de 55, 80, 100 y 500 ppm, requiriendo 5.33-6.66 días para su eclosión; entre los estadios 1-3 no se obtuvo diferencias significativas en el tiempo de duración de cada instar en los diferentes tratamientos. Los tratamientos 80 y 500 ppm requirieron de 8.33 días para desarrollarse como instar 4; siendo que no se registró diferencias significativas para el desarrollo del instar 5 entre los tratamientos. Los porcentajes de supervivencia que reportaron coinciden con lo reportado por Cerna *et al.* (2018), mencionando que la población de Coahuila-Nuevo registró un 6% de supervivencia, también que la mayor mortalidad se presentó en los primeros estadios ninfales primero y tercer instar. Vargas-Madrid *et al.* (2020) y Abdulla, (2008), en un estudio sobre el estado de desarrollo de *B. cockerelli*, menciona que los altos índices de mortalidad se registran en las etapas inmaduras entre los tres primeros estadios ninfales, reportando también que los índices de mortalidad para todas las etapas fueron por debajo del 50% para todos los estadios

y adultos. Ortiz *et al.* (2022) reporta mortalidades por encima del 60% en ninfas de *B. cockerelli* en bioensayos *in vitro*. Para el tiempo de desarrollo de los estadios inmaduros Vargas-Madrid *et al.* (2020), no reporto diferencias significativas entre los ciclos de los instares. Tran *et al.* (2012), reportan en un estudio de estimaciones y requisitos térmicos para el ciclo de vida de *B. cockerelli*, que el desarrollo de los huevos, ninfas y adultos se ven afectados a temperaturas de 8 °C. Cerna *et al.* (2018), reporta una etapa de desarrollo similar a la reportada en este trabajo, donde menciona que el tiempo de desarrollo entre los estadios para la población de Coahuila-Nuevo León van de 3 a 4 días en los primeros tres estadios y para los huevecillos va de 5 a 6 días, difiriendo un poco en los estadios 4 y 5 donde reporta 5 días para el desarrollo y la eclosión, en el presente trabajo se registró un aumento de más de 2 días a los reportados.

Carrillo-Perdomo, *et al* (2016), reportan que la MBS tiene propiedades anti alimentarias en moluscos al reducir el 50% la tasa de crecimiento. Borges & Borges, 2010; 2012), reportan a la MBS como un bioestimulante de los mecanismos naturales de las plantas y que originan el desarrollo por si mismas de propiedades anti alimentarias frente a los ataques de patógenos y plagas. Ortiz *et al.* (2022), reportan que la MBS tiene efecto insecticida sobre *B. cockerelli*.

Cuadro 3. Tiempo de desarrollo para los estadios inmaduros de *B. cockerelli*.

Estadios	Desarrollo (Días $\pm$ S.D)				Testigo	P-valor
	55 ppm	80 ppm	100 ppm	500 ppm		
Huevo	5.33 $\pm$ 0.57 ab	6.66 $\pm$ 1.15 a	5.66 $\pm$ 0.57 ab	6.00 $\pm$ 1.0 ab	4.00 $\pm$ 1.0 b	0.0435
1er instar	4.00 $\pm$ 0.00 a	3.00 $\pm$ 1.00 a	4.33 $\pm$ 0.57 a	4.33 $\pm$ 0.57 a	4.00 $\pm$ 1.00 a	0.02287
2do instar	4.00 $\pm$ 0.00 a	4.66 $\pm$ 1.15 a	3.33 $\pm$ 0.57 a	3.33 $\pm$ 0.57 a	4.00 $\pm$ 0.00 a	0.1264
3er instar	4.00 $\pm$ 0.00 a	4.33 $\pm$ 1.52 a	5.33 $\pm$ 1.52 a	4.00 $\pm$ 0.00 a	5.00 $\pm$ 1.00 a	0.4651
4to instar	7.00 $\pm$ 0.00 b	8.33 $\pm$ 0.57 a	7.66 $\pm$ 0.57 ab	8.33 $\pm$ 0.57 a	7.00 $\pm$ 0.00 b	0.0070
5to instar	8.33 $\pm$ 1.54 a	8.33 $\pm$ 0.57 a	7.66 $\pm$ 0.57 a	9.00 $\pm$ 1.00 a	7.00 $\pm$ 0.00 a	0.0791

S. D.: desviación estándar. \* Las medias en las mismas filas con diferente letra son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ).

### **Conclusión**

La aplicación de MBS no tuvo un efecto en las etapas de desarrollo del insecto por lo tanto no se mostró diferencias significativas. No obstante, se presentaron diferencias significativas en la supervivencia en los estadios ninfales, los tratamientos de MBS tuvieron las mortalidades más altas de un 42 a 80 %, demostrado que la MBS tiene un efecto positivo en las mortalidades de ninfas de *B. cockerelli*.



### Literatura Citada

Abdullah, N. M. 2008. Life history of the potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) in controlled environment agriculture in Arizona. *African Journal of Agricultural Research*. 3 (1): 060-067.

Almeyda-León, I. H.; Sánchez-Salas, J. A. y Garzón-Tiznado, J. A. 2008. Vectores causantes de punta morada de la papa en Coahuila y Nuevo León. México. *Agricultura técnica en México*. 34 (2): 141-150.

Berdúo-Sandoval, J. E.; Ruiz-Chután, J. A.; Méndez, L.; Mejía, L.; Maxwell, D. y 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. DOI: <https://doi.org/10.36829/63CTS.v7i2.794>

Borges-Pérez, A. y Borges, A. A. 2010. Uso de composiciones que contienen menadiona y/o alguno (s) de sus derivados hidrosolubles para bioestimular los mecanismos naturales de defensa de las plantas, a fin de desarrollar sus propiedades antialimentarias frente a los ataques de patógenos y plagas. URI: <http://hdl.handle.net/10261/29263>

Borges, A. A. and Borges-Pérez, A. 2012. Compositions for controlling the psyllids trioza erytreae and diaphorina c/tri, vectors of bacteria of the genus *candidatus liberibacter*, which cause the most serious known disease of citrus, namel y huanglongbing (hlb).

Borges-Pérez, A.; Jiménez Arias, D.; Expósito Rodríguez, M.; Luis Jorge, J. C. y Martín Rodríguez, V. 2011. Uso de menadiona para aumentar la tolerancia al estrés salino de las plantas. URI: <http://hdl.handle.net/10261/41006>

Butler, C. D.; Gonzalez, B.; Manjunath, K. L.; Lee, R. F.; Novy, R. G.; Miller, J. C. and Trumble, J. T. 2011. Behavioral responses of adult potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera:

Triozidae), to potato germplasm and transmission of *Candidatus Liberibacter psyllaeus*. *Crop Protection*. 30 (9): 1233-1238. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.05.006>.

Cabrera, I. M.; Ortiz, D. M. y Díaz, H. L. B. 2022. Influencia de la temperatura y agentes de control biológico sobre *Bactericera cockerelli*(Sulcer) (Hemiptera: Psyllidae). *Revista de Protección Vegetal*. 37 (2): 1-6. URI: <https://cu-id.com/2247/v37n2e03> 2.

Carrillo-Perdomo, E.; Jiménez-Arias, D.; Aller, Á. and Borges, A. A. 2016. Menadione sodium bisulphite (MSB) enhances the resistance response of tomato, leading to repel mollusc pests. *Pest Management Science*. 72 (5): 950-960. <https://doi.org/10.1002/ps.4074>

Casteel, C. L.; Walling, L. L. and Paine, T. D. 2006. Behavior and biology of the tomato psyllid, *Bactericera cockerelli*, in response to the Mi-1.2 gene. *Entomologia experimentalis et applicata*. 121 (1): 67-72. <https://doi.org/10.1111/j.1570-8703.2006.00458.x>.

Castillo Carrillo, C. y Llumiquinga Hormaza, P. 2021. Manual para reconocer e identificar al psílido de la papa (*Bactericera cockerelli* Šulc) en campo y laboratorio. Manual Técnico No.121. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 40 pp. URI: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5781>.

Chávez, E. C.; Beache, M. B.; Fuentes, Y. M. O.; Bautista, O. H. y Ortiz, J. C. D. 2021. *Bactericera cockerelli* vector de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, morfometría y haplotipos en poblaciones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (26): 81-94. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2939>

Cortez-Madrigal, H. 2010. Resistencia a insectos de tomate injertado en parientes silvestres, con énfasis en *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Psyllidae). *Bioagro*. 22 (1): 11-16.

Diaz-Montano, J.; Vindiola, B. G.; Drew, N.; Novy, R. G.; Miller, J. C. and Trumble, J. T. 2014. Resistance of selected potato genotypes to the potato psyllid (Hemiptera: Triozidae). *American Journal of Potato Research*, 91(4): 363-367.

Falconez Portilla, J. E. 2020. Ciclo Biológico de (*bactericera cockerelli*) bajo condiciones controladas, en tres localidades Salache, *Cotopaxi 2020. UTC. Latacunga*. 154 p.

Flores, O., A.; Gallegos, G., y García O. 2004. Memorias del simposio punta morada de la papa. Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro, Saltillo, Coahuila, México.

Fravel, D. R. 1988. Role of antibiosis in the biocontrol of *plant diseases*. *Annual review of phytopathology*, 26(1): 75-91.

Garzón, T. J. A.; Bujanos, M. R.; Velarde, F. S.; Marín, J. A.; Parga, T. V. M.; Aviles, G. M. C. y Garzón C. J. A. 2004. *Bactericera* (Paratrioza) *cockerelli* Sulc., vector de fitoplasmas en México. En O. A., Flores, M. G. Gallegos y M. O. García (Eds.). *Memorias del Simposio Punta Morada de la Papa*. 64-83. Coahuila, México.

Hansen A. K; Trumble J. T.; Stouthamer R.; y Paine T. D. 2008. Una nueva especie de huanglongbing, "*Candidatus Liberibacter psyllauros*", que infecta el tomate y la papa, es vectorizada por el psílido *Bactericera cockerelli*(Sulc). *Microbiología Aplicada y Ambiental*. 74(18): 5862-5865. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01268-08>.

Liefting, L. W.; Pérez, E. Z. C.; Clover, G. R. G. and Anderson, J. A. D. 2008. A new '*Candidatus Liberibacter*' species in *Solanum tuberosum* in New Zealand. *Plant Disease*. 92 (10): 1474 p. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-10-1474A>.

Liu D.; Trumble J. T. and Stouthamer, R. 2006. Genetic differentiation between eastern populations and recent introductions of potato psyllid (*Bactericera cockerelli*) into western North

America. *Entomologia experimentalis et applicata*. 118(3): 177-183.  
<https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00383.x>.

Mayo-Hernández J.; Molina-Padilla, J.; Corrales-Reynaga, J.; García-Martínez, O. y Terrazas-Portillo, J. C. 2018. efecto ovicida de spirotetramat y flupyradifurone en *Bactericera cockerelli*Sulc (HEMIPTERA: TRIOZIDAE). In: I Congreso Nacional de Entomología Aplicada.132-136.

Melgoza Villagómez, C. M.; León Sicairos, C. D. R.; López Valenzuela, J. Á.; Hernández Espinal L. A.; Velarde Félix, S., y Garzón Tiznado, J. A. 2018. Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Bactericera cockerelli*Sulc asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 9 (3): 499-509.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.267>.

Munyanza, J. E.; Buchman, J. L.; Upton, J. E.; Goolsby, J. A.; Crosslin, J. M.; Bester, G. and Sengoda, V. G. 2008. Impact of different potato psyllid populations on zebra chip disease incidence, severity, and potato yield. *Subtropical plant Science*. 60: 27-37.

Ortiz, J. C. D.; Enriquez, A. R.; Beache, M. B.; Fuentes, Y. M. O.; Chávez, E. C.; Aguilar, R. D. J. D. and Flores, J. L. 2022. Insecticidal Effect of Menadione on Whitefly, *Bemisia tabaci*, and Tomato Psyllid, *Bactericera cockerelli*. *Southwestern Entomologist*, 47 (1): 83-88.  
<https://doi.org/10.3958/059.047.0106>.

Rivera-Martínez, R.; Ramírez-Dávila, J. F. y Acosta-Guadarrama, A. D. 2018. Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli*Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*. 28 (5): 24-33.

Tran, L. T.; Worner, S. P.; Hale, R. J. and Teulon, D. A. J. 2012. Estimating development rate and thermal requirements of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) reared on potato and

tomato by using linear and nonlinear models. *Environmental entomology*. 41(5): 1190-1198.  
<https://doi.org/10.1603/EN12124>.

Useche, D. C.; Durán-Prieto, J.; Caballero, I. A. Z.; Moreno-Echeverry, D. L.; Velásquez, L., y Camargo, P. A. 2019. Clima, ciudades y biodiversidad: revisión de producción científica. *Biodiversidad en la Práctica*. 4 (1): 212-237.

Vargas-Madríz, H.; Bautista-Martínez, N.; Vera-Graziano, J.; García-Gutiérrez, C. and Chavarín-Palacio, C. 2013. Morphometrics of eggs, nymphs, and adults of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), grown on two varieties of tomato under greenhouse conditions. *The Florida Entomologist*. 96 (1): 71-79.

**EFFECTO BIOESTIMULANTE DE MENADIONA EN EL CONTROL DE  
*CANDIDATUS LIBERIBACTER SOLANACEARUM* EN PLANTAS DE  
TOMATE**

**BIOSTIMULANT EFFECT OF MENADIONE IN THE CONTROL OF  
*CANDIDATUS LIBERIBACTER SOLANACEARUM* IN TOMATO PLANTS**

Alberto Roque-Enriquez<sup>1</sup>, Yisa M. Ochoa-Fuentes<sup>1</sup>, Mariana Beltrán-Beache<sup>2</sup>, Ernesto Cerna-Chávez<sup>1</sup>, Juan C. Delgado-Ortiz<sup>1,2\*</sup>.

1 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315. 2 Universidad Autónoma de Aguascalientes. Centro de Ciencias Agropecuarias-Departamento de Fitotecnia. Posta Zootécnica, Jesús María, Aguascalientes, México. C.P. 20700. 3 Catedrático CONAHCYT-UAAAN, Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315.

\*Autor de correspondencia (jdelgado@conacyt.mx, moe\_788@hotmail.com)

## RESUMEN

El cultivo del tomate es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial, ocupando los primeros lugares en exportación en México, el alto índice de plagas y enfermedades que atacan el cultivo de tomate obliga a los productores a usar altas cantidades de pesticidas, causando una grave contaminación ambiental. Debido a esto en la actualidad se buscan nuevos productos que sean más amigables con el medio ambiente, pero que tenga una gran efectividad para el control de plagas y enfermedades; una opción viable es la menadiona bisulfito de sodio (MBS). El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto bioestimulante de la MBS en plantas de tomate infectadas con *CaLso*, así como evaluar la incidencia y severidad de la enfermedad. El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero con plantas de tomate de la variedad Floradade, las cuales se pre-trataron con las concentraciones de menadiona (55, 80, 100 y 500 ppm) y posteriormente se realizó la inoculación de la bacteria, los tratamientos fueron aplicados con intervalos de 15 días desde la inoculación. Se evaluaron parámetros agronómicos, incidencia y severidad de la enfermedad. La MBS logró reducir la severidad de 23.5-41.7 % en plantas de tomate inoculadas con la bacteria *CaLso*, así como también destaco en los parámetros agronómicos como altura de planta, peso fresco y seco de la planta y raíz, firmeza y grados Brix. Los resultados muestran que la MBS puede ser integrado para el manejo de la enfermedad causada por *CaLso* en el cultivo del tomate.

**Palabras clave:** Control, efectividad, menadiona bisulfito de sodio y *Candidatus Liberibacter solanacearum*

## SUMMARY

The tomato crop is one of the vegetables with the highest consumption worldwide, occupying the first places in exports in Mexico, the high rate of pests and diseases that attack the tomato crop forces producers to use high amounts of pesticides, causing serious environmental pollution. Due to this, new products are currently being sought that are more friendly to the environment, but that are highly effective for the control of pests and diseases; a viable option is menadione sodium bisulfite (MBS). The objective of the present investigation was to determine the biostimulant effect of MBS in tomato plants infected with *CaLso*, as well as to evaluate the incidence and severity of the disease. The experiment was carried out under greenhouse conditions with tomato plants of the Floradade variety, which were pre-treated with concentrations of menadione (55, 80, 100 and 500 ppm) and subsequently inoculated with the bacteria, the treatments were applied with intervals of 15 days, since inoculation. Agronomic parameters, incidence and severity of the disease were evaluated. The MBS reduced the severity of 23.5-41.7 % in tomato plants inoculated with the *CaLso* bacterium, as well as highlighting the agronomic parameters such as plant height, fresh and dry weight of the plant and root, firmness and degrees Brix. The results show that the MBS can be integrated for the management of the disease caused by *CaLso* in the tomato crop.

**Keywords:** Control, effectiveness, menadione sodium bisulfite and *Candidatus* *Liberibacter solanacearum*



## INTRODUCCIÓN

México ocupa el décimo lugar a nivel mundial, entre las regiones más productoras de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) hortaliza más sembrada y consumida a nivel nacional y mundial (López *et al.*, 2017; Roque-Enriquez *et al.*, 2021), por ello el cultivo de tomate se ve afectado por problemas inducidos por plagas y enfermedades causando la disminución de superficies sembradas, aunado a esto en la actualidad no hay registros de variedades comerciales resistentes de tomate a enfermedades por ejemplo a *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) (Rojas *et al.*, 2016; Arellano *et al.*, 2021).

CaLso es un fitopatógeno que afectan a varios cultivos de las familias Solanaceae y Apiaceae en diferentes partes del mundo, es transmitida por diferentes especies de psílidos (Mendoza-Herrera *et al.*, 2018; Levi *et al.*, 2020). Sus principales características de CaLso es una bacteria gramnegativa, limitada al floema del Phylum  $\alpha$ -Proteobacteria y que hasta la fecha ha sido incultivable (Fagen *et al.* 2014). Las regiones productoras de solanáceas en México son susceptibles a las enfermedades ocasionadas por CaLso responsable de grandes pérdidas en la producción que oscilan entre el 60 y 100 % en cada ciclo del cultivo (Roque-Enriquez *et al.*, 2021; Hidalgo-Gómez *et al.*, 2022). Los síntomas característicos de estas enfermedades varían de acuerdo con la planta, los más frecuentes son: deformación del ápice foliar, aborto floral, entrenudos cortos, oscurecimiento de tejido vascular en la base del tallo y raíz de la planta, brotes cloróticos, color púrpura de las hojas, el enrollamiento de las hojas, el acortamiento de brotes y raíces y la proliferación de raíces secundarias (Hansen *et al.*, 2008; Munyaneza *et al.*, 2009; Delgado-Ortiz *et al.*, 2019).

En la actualidad, aun con el crecimiento de la tecnología, no existen métodos específicos para el control directamente de *CaLso*; esta bacteria es causante de las enfermedades conocidas como zebra chip, permanente de tomate y variegado del chile; para mitigar los efectos nocivos de esta enfermedad, se realiza un manejo con insecticidas químicos para controlar las poblaciones del insecto vector *Bactericera cockerelli*. El uso indiscriminado de los ingredientes activos para el control del insecto ha llevado a los productores en las regiones de Oregón, Washington y Texas, a reportar gastos anualmente aproximadamente de 11 y 26 millones de dólares, respectivamente, en México se ha reportado hasta 30 aplicaciones por ciclo de los cultivos para el control del psílido (CNAS, 2006; Munyaneza, 2015; Mayo-Hernández *et al.*, 2018; Greenway & Rondón, 2018).

En la actualidad *CaLso* y sus haplotipos se han distribuido globalmente en diferentes variedades de plantas y vectores, hasta la fecha se han reportados doce haplotipos a nivel mundial, en los Estados Unidos, México, América Central y Nueva Zelanda se han reportados solo tres haplotipos A, B y F asociados con la infección de cultivos de solanáceas y son transmitidos por el psílido *B. cockerelli* (Swisher *et al.*, 2020). Las diferencias en el desarrollo de sintomatologías entre los haplotipos son: el haplotipo B tiende a ser más virulento que el haplotipo A, generando síntomas más severos y una pérdida mayor en el rendimiento (Swisher *et al.*, 2020; Levi *et al.*, 2020). El haplotipo F, descubierto en tubérculos de papa en el sur de Oregón, aún falta por determinar que este haplotipo sea el causante de los brotes de zebra chip en los tubérculos. El resto de los haplotipos (C, D, E y U) se encuentran distribuidos en diferentes partes de mundo (Europa y Norte de África) en diferentes cultivos (Swisher Grimm & Garczynski, 2019).

Las plantas pueden protegerse contra el ataque de patógenos, si han sobrevivido a una infección inicial por virus, bacterias u hongos, la primera infección inmuniza la planta contra infecciones posteriores por patógeno homólogo, esta respuesta se conoce como resistencia sistémica adquirida se refiere a distintas vías de transducción de señales que juegan un rol importante en la habilidad de la planta para defenderse contra patógenos (Camarena-Gutiérrez, 2007). La síntesis de estos compuestos se puede activar por la acción de elicitores o inductores exógenos; producidos por patógenos, agentes químicos, daños mecánicos (Mateos-Leal, 2003).

Los avances en los últimos años que se han generado sobre la comprensión fisiológica y bioquímica de la resistencia de las plantas, se debe a la identificación de los elicitores o inductores químicos un ejemplo de estas son las vitaminas se ha venido reportando como promotores de resistencia a las enfermedades, recibiendo así la atención debido a los bajos costos y seguridad (Hoyos *et al.*, 2008; Boubakri *et al.*, 2016), la menadiona bisulfito de sodio (MBS) es un derivado de la Vitamina K3, soluble en agua (Rama Raó *et al.*, 1985; Borges *et al.*, 2004; Askari *et al.*, 2021), induce resistencia a los ataques de patógenos y plagas (Borges & Borges, 2010), también contrarresta los efectos nocivos sobre los cultivos afectados por estrés abióticos (Borges, 2003). Su mecanismo de acción se le atribuye expresión de proteínas relacionadas con la patogenicidad y la expresión sistémica de la enzima ascorbato peroxidasa, produciendo un ligero estado oxidativo que genera una red de señalización que incrementa las especies reactivas de oxígeno (ROS), induciendo a la acumulación de proteínas de defensa, como factores de transcripción y eliminación de ROS, ayudando a que la planta se prepare y tenga una respuesta mejorada al estrés ya sea biótico o abiótico. Por último, refuerza los mecanismos de defensa

mediante la acumulación de fitoalexinas en la planta biosintetizadas durante la patogénesis (Borges *et al.*, 2004; 2014). El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto bioestimulante de la MBS en plantas de tomate infectadas con *CaLso*, así como evaluar la incidencia y severidad de la enfermedad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación llevó a cabo bajo condiciones de invernadero perteneciente al laboratorio de toxicología del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Saltillo, Coahuila, México.

**Cría de *B. cockerelli*.** La colonia se mantiene establecida bajo condiciones de invernadero desde el año 2018, los insectos se confinaron dentro de una jaula entomológica (60 cm × 60 cm × 70cm), en plantas de tomate de la variedad Rio Grande de 30 días de crecimiento, a temperatura de 25±2°C con fotoperiodo 14:10h (luz/oscuridad) (Roque-Enriquez *et al.*, 2021).

**Confirmación de la bacteria en el insecto.** A los insectos se les realizó una extracción de ADN a partir de 15 insectos, para confirmar la presencia de la bacteria *CaLso*, siguiendo la metodología de desarrollada por Roque-Enriquez, (2021).

Se procedió a la detección de *CaLso* por PCR, utilizando los cebadores CL514F (5'-CTCTAAGATTTCGGTTGGTT -3') y CL514R (5'- TATATCTATCGTTGCACCAG -3') que amplifican una región de 669 pb (Liefiting *et al.*, 2009). La reacción de PCR para *CaLso* se realizó con 6 µl de Taq & Go Mastermix, 1,0 µl de cada cebador (CL514F/CL514R) a 10 µM y 1 µl de ADN, 50 ng para las reacciones con ADN vegetal, ajustándose a una reacción final volumen de 15µl con agua destilada estéril. El programa

del termociclador fue desnaturalización inicial de 94 °C por 3 min, seguido de 40 ciclos de 94 °C por 45 s, 53 °C por 45 s como temperatura de alineamiento de los cebadores y 72 °C por 60 s, seguido por una extensión final de 72 °C por 10 min en un termociclador. Los productos se corrieron en gel de agarosa al 1.0 %.

**Establecimiento del experimento.** La obtención de la plántula de tomate de la variedad Floradade, se desarrolló en charolas de 200 cavidades que contenían peat moss y perlita en relación 2:1, a los 30 días las plántulas se sembraron en bolsas de polietileno de 8 L con una mezcla de peat-moss y perlita en relación 1:1 y regadas desde la emergencia de la plántula hasta el final del ciclo del cultivo con solución Steiner (1961) de acuerdo con la etapa fenológica de la planta.

Para la inoculación de la bacteria en las plantas de tomate, se colocaron ocho insectos de *B. cockerelli* en trampas entomológicas los cuales se dejaron por 24 horas en las plantas de tomate para su alimentación; pasado el tiempo se procedió a retirar los insectos, así como también los huevecillos que ovipositaron en las hojas. Los tratamientos utilizados fueron; 55, 80, 100 y 500 ppm de MBS de acuerdo con lo reportado por la literatura Borges (2012) y Delgado *et al.* (2022), así como el Acibenzolar s-metil (ASM) a 30 g/ha como tratamiento químico, un testigo con 500 ppm MBS -sin inocular (MBS/sin-inoc), un testigo inoculado *B. cockerelli*-CaLso (TCaLso), y un testigo absoluto sin inocular (TABS). Para cada tratamiento se realizaron cuatro aplicaciones, la primera aplicación se realizó un día antes de la inoculación del insecto, las siguientes aplicaciones se realizarán a los 15, 30 y 45 días después del trasplante (ddt). El diseño experimental fue completamente al azar con 8 tratamientos y 9 repeticiones por tratamiento, la unidad experimental una planta por maceta.

**Variables evaluadas.** La incidencia y severidad de *CaLso* en las plantas de tomate se determinó en base a la escala implementada por Roque-Enriquez, (2021); donde 0: planta sana hasta 10: planta muerta. El cálculo del área debajo de la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) se realizó mediante la fórmula de Shaner y Finney (1977), para lo cual se determinó la severidad de la enfermedad cada semana desde la aparición de los primeros síntomas de *CaLso*.

Los parámetros agronómicos que se tomaron en cuenta en el experimento fueron: Altura de planta (ALTP), diámetro del tallo (DT), peso fresco de la planta (PFP), peso seco de la planta (PSP), peso fresco de raíz (PFR), Peso seco de raíz (PSR), peso del fruto (PF), diámetro polar del fruto (DP); diámetro ecuatorial del fruto (DE), grados brix (°B) y firmeza del fruto (FF).

**Confirmación de la bacteria en la planta.** Transcurridas cuatro semanas post-inoculación se confirmó la presencia de la bacteria *CaLso* en las plantas haciendo extracciones de ADN por la metodología antes mencionada, a partir de 5 gr de muestra. Utilizando los indicadores Lso-SSR-1F (5'-TTATTTTGAGATGGTTTGTTAAATG-3') y Lso-SSR-1R (5'-TATTATCATTCATTGCCTATTTCG-3') se realizó la amplificación por PCR para *CaLso* y la determinación de haplotipos, que amplifican una región de 240 pb para el haplotipo A y 180 pb para el haplotipo B (Lin *et al.* 2012). La reacción de PCR para determinar el haplotipo de *CaLso* se realizó con 10 µl de Taq & Go Mastermix, 1,0 µl de cada cebador (Lso-SSR-1F/Lso-SSR-1R) a 10 µM y 1 µl de ADN, 50 ng para las reacciones con ADN vegetal, ajustándose a una reacción final volumen de 20 µl con agua destilada estéril. Con un programa de amplificación de un ciclo de desnaturalización de 94 °C por 5 min, 35 ciclos de 94 °C por 30 s, 58 °C por 30 s y 72 °C

por 45 s, con una extensión final de 72 °C por 10 min. Los productos de la reacción fueron visualizados en gel de agarosa al 3.5 %.

### **Análisis estadístico**

Para cada uno de los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ); así como un análisis de correlación de Pearson con el programa estadístico del SAS versión 9.1.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se confirmó presencia de la bacteria en el insecto con los indicadores de PCR CL514F/CL514R con una amplificación de una región de 669 pb, con un marcador de pesos molecular de 100 pb. Para la confirmación de *CaLso* en las plantas se realizó a los 18 ddt con los indicadores Lso-SSR-1F y Lso-SSR- 1R con una amplificación de 240 pb una región para el haplotipo A y 180 pb para el haplotipo B, obteniendo el 100 % de plantas inoculadas positivas a *CaLso*.

En el cuadro 1, se muestra el ABCPE que registró a los 86 después de trasplante (ddt), los tratamientos que presentaron los primeros síntomas de la bacteria fueron el testigo inoculado y el ASM a los 30 ddt, presentando un ligero enroscamiento y una clorosis ligera en el ápice de las plantas; cabe destacar que dichos tratamientos de igual manera fueron los que registraron muerte en las plantas. Sin embargo, los tratamientos de MBS mostraron las primeras clorosis a los 37 ddt, presentando una menor severidad en la sintomatología causada por *CaLso* disminuyendo de un 23.5-41.7 % de daño en comparación con el T*CaLso* y ASM, destacando el tratamiento de 500 ppm MBS que mostró la menor ABCPE (211.11).

**Cuadro 1. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad en plantas de tomate de la variedad Floradade inoculados con *CaLso***

Tratamientos	ABCPE*
55 ppm MBS	267.50 ± 81.16 b
80 ppm MBS	271.17 ± 73.67 b
100 ppm MBS	277.56 ± 75.89 b
500 ppm MBS	211.11 ± 51.88 b
ASM	397.56 ± 41.03 a
TCaLso	362.39 ± 26.85 a
TAbs	0 c
MBS/Sin-inoc	0 c

\* Medias letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). MSB: menadiona bisulfito de sodio, ASM: Acibenzolar s-metil, TCaLso: testigo inoculado con la bacteria, TAbs: Testigo absoluto, MBS/Sin-inoc: 500 ppm MBS sin inocular.

Estos resultados concuerdan con los ya reportado por García-Machado *et al* (2022), en la aplicación de vitamina K3 0.6 mM en plantas de tomate infectadas con el hongo *B. cinérea* las cuales redujeron la severidad en las hojas en un 30 %. Zhang *et al.* (2018) redujeron la enfermedad de Pierce de la vid en un 54-59 % de los síntomas en plantas tratadas a 500 ppm de MBS. Zhang *et al.* (2021), realizo un estudio para ver el efecto antibacteriano de la MBS en bacterias Gram-negativo *Escherichia coli* y *Listeria innocua* (Gram positiva), a una concentración de 20 µM de MBS, reportando que la MBS logro inhibir el 99.99 % a *E. coli* y *L. innocua*, demostrado así el efecto inhibitorio de la MBS sobre las bacterias.



**Cuadro 2. Parámetros agronómicos en tomate variedad Floradade infectados con *CaLso***

Tratamientos	Parámetros agronómicos		
	ALTP (cm)	LR (gr)	DT (mm)
55 ppm MBS	66.77±9.07 b	48.0±11.81 cd	11.41±0.57 d
80 ppm MBS	71±18.14 b	44.11±5.92 cd	12.22±0.80 bdc
100 ppm MBS	70.22±9.79 b	57.44±19.09 bdc	11.66±0.98 dc
500 ppm MBS	127.11±33.93 a	82.27±23.71 ab	13.94±0.84 ab
ASM	60.44±15.37 b	41.22±11.87cd	10.11±1.35 d
T <i>CaLso</i>	64.89±10.99 b	40.11±12.51 d	10.26±0.72 d
T <i>Abs</i>	120.77± 21.51 a	87.88±45.25 a	13.79±2.94 abc
MBS/Sin-inoc	142.22±30.89 a	69.55±13.69 abc	14.46±2.53 a

\*Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). MSB: Menadiona bisulfito de sodio, ASM: Acibenzolar s-metil, T*CaLso*: testigo inoculado con *CaLso*, T*Abs*: Testigo absoluto, MBS/Sin-inoc: 500 ppm MBS sin inocular.

En el cuadro 2, se puede observar que las variables agronómicas; siendo que para la altura de planta el mejor comportamiento fue obtenido en 500 ppm MBS mostrando un incremento del 50 % en comparación con el T*CaLso* y ASM. Askari *et al.* (2021), en plantas de trigo bajo toxicidad de cromo mostraron un incremento en la altura de las plantas al ser tratadas con MBS. Lo resultados anteriores fueron superiores a lo reportado por García-Machado *et al* (2022) quienes lograron incrementar en un 28 % la altura de plantas de tomate infectadas con *B. cinérea* y tratadas con MBS a una concentración de 0.6 mM. Jiménez-Arias, (2019), menciona que en la aplicación de 100 mM de MBS en

plantas de tomate logro un incremento por encima del 47 % en el crecimiento de la planta bajo estrés abiótico.

Al igual que la longitud de raíz en el tratamiento de 500 ppm MBS, mostró un mejor comportamiento en un 2.05 veces más en comparación con el TCaLso y ASM, los cuales obtuvieron los valores más bajos mostrando una disminución de la longitud por debajo del 50 % en comparación con el TAbs. Los tratamientos con MBS mostraron un mayor diámetro del tallo en comparación con el TCaLso y ASM, mientras que el TAbs y MBS/Sin-inoc mostraron los mejores valores.

**Cuadro 3. Parámetros de los pesos en la variedad Floradade infectados con CaLso**

Tratamientos	Variables Agronómicas			
	PFP (gr)	PSP (gr)	PFR (gr)	PSR (gr)
<b>55 ppm MBS</b>	249.22±60.60 b	62.55±6.98 d	43.17±13.28 dc	18.23±3.41 a
<b>80 ppm MBS</b>	231.67±88.63 b	72.11±12.03 bcd	49.28±24.32 bdc	18.66±3.63 a
<b>100 ppm MBS</b>	362.56±116.57 b	71.44±10.15 dc	45.72±17.89 bcd	17.57±2.53 a
<b>500 ppm MBS</b>	544.22±171.89 a	95.77±18.37 ab	99.33±52.70 abc	26.61±6.61 a
<b>ASM</b>	194.0±72.39 b	52.66±10.63 d	34.44±26.73 d	13.98±3.16 a
<b>TCaLso</b>	207.67±44.01 b	58.22±6.37 d	57.33±16.14 bdc	15.71±2.17 a
<b>Tabs</b>	550.11±161.41 a	95.22±25.19 abc	122.28±52.49 a	26.85±7.66 a
<b>MBS/sin-inoc</b>	677.22±199.45 a	110.22±25.55 a	103.11±48.03 ab	31.61±7.92 a

\*Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). MSB: Menadiona bisulfito de sodio, ASM: Acibenzolar s-metil, TCaLso: Testigo inoculado con CaLso, TAbs: Testigo absoluto, MBS/Sin-inoc: 500 ppm MBS sin inocular.

En el cuadro 3, se observan los pesos frescos y secos de los tratamientos evaluados; el cual se puede observar que el peso fresco de la planta con 500 ppm MBS destaco entre los tratamientos inoculados con *CaLso*, superando al *TCaLso* por 2.62 veces más e igualando al *TAbs* y *MBS/Sin-inoc*. Mientras que en el peso seco de las plantas en los tratamientos de *TCaLso* y *ASM* fueron los más bajos mostrando una pérdida del 40 al 55 % en relación con el *TAbs*, destacando el tratamiento de 500 ppm MBS inoculado, el cual mostró un comportamiento similar a *TAbs* y siendo superado solo por el tratamiento *MBS/Sin-inoc*. Akbar *et al.* (2021), reportaron un incremento en el crecimiento en plantas de trigo y cebada tratadas con diferentes dosis de MBS (5, 10, 20 y 30 mM), bajo estrés salino, destacando que también se registraron mejorías en el peso fresco de planta y raíz.

En cuanto a las variables del peso fresco de raíz se observó que los tratamientos de *TAbs* y la *MBS/Sin-inoc* mostraron los mejores valores para estas variables, pero también se destaca el comportamiento del tratamiento 500 ppm de MBS, el cual supero al *TCaLso* en un 73 % y solamente superado por el *TAbs*. Para el peso seco de la raíz el mejor tratamiento fue el de 500 ppm MBS mostrando un comportamiento similar al *TAbs* y *MBS/Sin-inoc*, superando al tratamiento *TCaLso* y al *ASM* los cuales mostraron los valores más bajos. Yaseen *et al.* (2021), reportaron en planta de calabaza tratadas con 10 mM de MSB aumentaron sustancialmente (108 %) el peso fresco de la raíz en condiciones de estrés por Cadmio. Jiménez-Arias (2019) reportó que en plantas de tomate bajo estrés salino y tratadas con 100 mM de MBS, las plantas registraron un incremento en el peso seco del 42 %.

**Cuadro 4. Parámetros de calidad de los frutos de tomate tratados con MBS.**

Tratamientos	Variables de calidad				
	DP	DE	PF	FF (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grados Brix
<b>55 ppm MBS</b>	21.82±21.82 bc	17.00±17.08 bc	115.2±153.4 b	0.75±0.72 cd	1.66±1.73 bdc
<b>80 ppm MBS</b>	21.43±21.07 bc	17.46±17.41 bc	134.0±211.16 b	0.65±0.62 d	1.66±1.58 bdc
<b>100 ppm MBS</b>	16.08±19.68 c	12.95±16.43 c	59.9±109.57 b	0.66±0.81 d	1.33±1.65 cd
<b>500 ppm MBS</b>	47.55±20.03 ab	38.70±16.88 ab	821.5±574.06 a	1.80±0.85 bc	3.44±1.50 ab
<b>ASM</b>	21.87±20.94 bc	19.09±19.00 bc	39.8±50.67 b	0.81±0.78 dc	1.55±1.58 bdc
<b>TCaLso</b>	10.97±16.72 c	9.24±14.30 c	9.3±20.12 b	0.42±0.64 d	0.72±1.09 d
<b>TAbs</b>	57.66±6.03 a	46.31±3.36 a	851.5±453.93 a	2.97±0.64 a	3.77±0.66 a
<b>MBS/Sin-inoc</b>	47.53±6.9 ab	42.60±16.18 a	1142.3±792.29 a	2.65±1.17 ab	3.11±1.36 abc

\*Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). MSB: Menadiona bisulfito de sodio, ASM: Acibenzolar s-metil, TCaLso: Testigo inoculado con CaLso, TAbs: Testigo absoluto, MBS/Sin-inoc: 500 ppm MBS sin inocular.

En el cuadro 4, se muestran los resultados de las variables de calidad como es el PF, en el cual destacan el TAbs y MBS/Sin-inoc; sin embargo, el tratamiento de 500 ppm MBS inoculado mostró valores muy similares a los tratamientos antes mencionado, pero siendo superior al TCaLso y ASM los cuales mostraron los valores bajo con una pérdida por debajo del 95 %. Yaseen *et al.* (2021), reportó un incremento de producción del 100 % en el número de frutos del cultivo de calabaza, tratadas a 10 mM de MBS. Pushpalatha *et al.* (2007) en trabajos realizados para el control de mildiú vellosa causado por *Sclerospora graminicola*, lograron aumentar el peso del grano de forrajero mijo perla en un 13 % al ser tratados con MBS. Fernández-Falcón *et al.* (2009), lograron un aumento del 30 % en

la producción de banano al aplicar menadiona (2-metil-1,4-naftoquinona), para el control de la enfermedad de panamá del banano.

Los frutos recolectados de todos los tratamientos se evaluaron el DP y DE cada uno de ellos, de los cuales destacaron el Tabs, el tratamiento de MBS/Sin-inoc fueron los que presentaron los diámetros más altos, muy por encima de los demás tratamientos a excepción del tratamiento de 500 ppm MBS el cual mostro un comportamiento muy similar a los dos antes mencionados, destacando así que aun con la infección de la bacteria este tratamiento mostro resultados muy favorables en la calidad del fruto.

Los mejores tratamientos en cuanto al contenido de azucares totales fueron el Tabs, 500 ppm MBS y el tratamiento de MBS/Sin-inoc con una media por encima de 3° Brix, mientras que el TCaLso y ASM fueron los tratamientos que presentaron registros por debajo de 1° Brix. El tratamiento de 500 ppm MBS mostro un incremento en la firmeza de 3 a 6 veces en comparación con el TCaLso que presentó el valor más bajo (0.42 Kg/cm<sup>2</sup>). Borges *et al.* (2010) reportaron que las plantas de fresón tratadas con MBS a 60 ppm aumentan significativamente la firmeza del fruto por encima del 175 %, en relación con los testigos tratados con agua.

## CONCLUSIÓN

Las plantas de tomate infectadas con la bacteria *CaLso* y tratadas con la MBS mostraron una respuesta favorable a los síntomas de la bacteria, los cuales se presentaron a los 37 ddt, destacando 500 ppm MBS como el mejor tratamiento, el cual presentó una menor ABCPE (211.11) a los demás tratamientos y una reducción del daño en un 41.7 %. En los parámetros agronómicos (ALTP, PFP, PFR, PSP, PSR, L.R y D.T) y calidad del fruto (DP, DE, PF, Ff y °B) los tratamientos más afectados fueron TCaLso y ASM, siendo superados por todos los tratamientos con MBS.

**BIBLIOGRAFÍA**

**Akbar A., M. A. Ashraf, R. Rasheed, S. Ali and m. Rizwan (2021)** Menadione sodium bisulphite regulates physiological and biochemical responses to lessen salinity effects on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(5): 1135-1152, <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01001-6>

**Arellano-Aburto D. A., J. Á. López-Valenzuela, R. Gutierrez-Dorado, K. V. Pineda-Hidalgo, J. E. Retes-Manjarrez y J. A. Garzón-Tiznado (2021)** Análisis de resistencia a *Candidatus* Liberibacter solanacearum en genotipos de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44(3): 425-425, <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.425>

**Askari, S.H., M.A. Ashraf, S. Ali, M. Rizwan and R. Rasheed, (2021)** Menadione sodium bisulfite alleviated chromium effects on wheat by regulating oxidative defense, chromium speciation, and ion homeostasis. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 36205-36225, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13221-0>

**Borges A. A., D. Jiménez-Arias, M. Expósito-Rodríguez, M.L. Sandalio and J.A. Pérez (2014)** Priming crops against biotic and abiotic stresses: MSB as a tool for studying mechanisms. *Frontiers in Plant Science* 5: 642, <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00642>.

**Borges A.A., A. Borges-Pérez and M. Fernández-Falcón (2004)** Induced resistance to Fusarial wilt of banana by menadione sodium bisulphite treatments. *Crop Protection* 23 (12): 1245-1247, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.05.010>.

**Borges A.A., H.J. Cools y J.A. Lucas (2003)** Bisulfito de sodio de menadiona: un nuevo activador de defensa vegetal que mejora la resistencia local y sistémica a la infección por *Leptosphaeria maculans* en la colza. *Patología vegetal* 52 (4): 429-436.

**Borges, A. A., and A. Borges-Pérez (2012)** Compositions for controlling the psyllids *Trioza erythrae* and *Diaphorina citri*, vectors of bacteria of the genus *Candidatus liberibacter*, which cause the most serious known disease of citrus, namely huanglongbing (HLB).

**Borges-Pérez A y A.A. Borges (2010)** Uso de composiciones que contienen menadiona y/o alguno (s) de sus derivados hidrosolubles para bioestimular los mecanismos naturales de defensa de las plantas, a fin de desarrollar sus propiedades antialimentarias frente a los ataques de patógenos y plagas <http://hdl.handle.net/10261/29263>

**Boubakri H., M. Gargouri, A. Mliki, F. Brini, J. Chong and M. Jbara (2016)** Vitamins for enhancing plant resistance. *Planta* 244: 529–543, <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2552-0>

**Camarena-Gutiérrez G y R. De la Torre-Almaráz (2007)** Resistencia sistémica adquirida en plantas: estado actual. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(2): 157-162.

**CNAS (2006)** Impactos económicos del chip de cebrá en la industria de la papa de Texas. Centro de Estudios de América del Norte, <http://cnas.tamu.edu/zebra%20chip%20impacts%20final.pdf>

**Delgado-Ortiz J. C., M. Beltrán-Beache, E. Cerna-Chávez, L.A. Aguirre-Uribe, J. Landero-Flores, Y. Rodríguez-Pagaza y Y.M. Ochoa-Fuentes (2019)** *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 22, <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.177>

**Fernández-Falcó, M., C.E. Álvarez, R. Gorrín, M.M. Hernández and A.A. Borges (2009)** Influence of a menadione derivative on banana panama disease development and

yield enhancement. *The Open Horticulture Journal* 2 (1): 49-53,  
<https://doi.org/10.2174/1874840600902010049>

**Fagen J. R., M. L. Leonard, J. F. Coyle, C. M. McCullough, A. G. Davis-Richardson, M. J. Davis, and E. W. Triplett (2014).** *Liberibacter crescens* gen. nov., sp. nov., the first cultured member of the genus *Liberibacter*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 64(Pt\_7): 2461-2466, <https://doi.org/10.1099/ijs.0.063255-0>

**García-Machado F. J., A. L. García-García, A. A. Borges and D. Jiménez-Arias (2022)** Root treatment with a vitamin k3 derivative: A promising alternative to synthetic fungicides against *Botrytis cinerea* in tomato plants. *Pest Management Science*, 78(3): 974-981, <https://doi.org/10.1002/ps.6707>.

**Greenway Gina A and Silvia Rondon (2018)** Economic impacts of zebra chip in Idaho, Oregon, and Washington. *American Journal of Potato Research* 95: 362-367, <https://doi.org/10.1007/s12230-018-9636-2>

**Hansen A. K., J. T. Trumble, R. Stouthamer and T. D. Paine (2008)** A new huanglongbing species. *Candidatus Liberibacter psyllaurosus*,” found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli*(Sulc). *Applied and environmental microbiology* 74(18): 5862-5865, <https://doi.org/10.1128/AEM.01268-08>

**Hidalgo-Gómez Y., J. A. Carrillo-Salazar, R. I. Rojas-Martínez, A. Rivera-Peña y O. J. Ayala-Garay (2022)** Síntomas foliares, biomasa y calidad de tubérculo de genotipos de papa inoculados con *Candidatus Liberibacter solanacearum*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3): 323-323, <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.323>

**Hoyos L. F. P. (2008)** Resistencia inducida mediante sustancias químicas a enfermedades en plantas causadas por hongos. *Revista Politécnica*, 4(7): 103-115, <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/116>



**Jiménez-Arias D., F. J. García-Machado, S. Morales-Sierra, E. Suárez, J. A. Pérez, J. C. Luis, JC and A. A. Borges (2019)** Menadione sodium bisulphite (MSB): Beyond seed-soaking. Root pretreatment with MSB primes salt stress tolerance in tomato plants. *Environmental and experimental botany* 157: 161-170, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.009>

**Levy J. G., R. Gross, A. Mendoza-Herrera, X. Tang, K. Babilonia, L. Shan and C. Tamborindeguy (2020)** Lso-HPE1, an effector of ‘*Candidatus* Liberibacter solanacearum’, can repress plant immune response. *Phytopathology*, 110(3): 648-655, <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-19-0252-R>

**Liefting L. W., P. W. Sutherland, L. I. Ward, K. L. Paice, B. S. Weir and G. R. G. Clover (2009)** A new ‘*Candidatus* Liberibacter’ species associated with diseases of solanaceous crops. *Plant Disease* 93: 208-214, <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-3-0208>

**Lin H., M. S. Islam, Y. Bai, A. Wen, S. Lan, N. C. Gudmesta and E. L. Civerolo (2012)** Genetic diversity of ‘*Candidatus* Liberibacter’ strains in the United States and Mexico revealed by simple sequence repeat markers. *European Journal of Plant Pathology* 132: 297-308, <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9874-3>

**López Marín L. M. (2017)** Manual técnico del cultivo del tomate *Solanum lycopersicum*. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/3143>

**Mateos R. G y R. P. Leal (2003)** Fitoalexinas: mecanismo de defensa de las plantas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 9(1): 5-10.

**Mayo-Hernández J., J. Molina-Padilla, J. Corrales-Reynaga, O. García-Martínez y J. C. Terrazas-Portillo (2018)** Efecto ovicida de spirotetramat y flupyradifurone en *Bactericera cockerelli*Sulc (Hemiptera: Triozidae). In: I Congreso Nacional de

Entomología Aplicada. *Dr. Néstor Bautista Martínez*, junio del 2018. León, Guanajuato, México: 132-136.

**Mendoza-Herrera A., J. Levy, K. Harrison, J. Yao, F. Ibanez and C. Tamborindeguy, (2018)** Infection by *Candidatus Liberibacter solanacearum*'haplotypes A and B in *Solanum lycopersicum* 'Moneymaker'. *Plant Disease*, 102(10): 2009-2015, <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-17-1982-RE>

**Munyanza J. E. (2015)** " Zebra chip disease, *Candidatus Liberibacter*, and potato psyllid: A global threat to the potato industry. *American Journal of Potato Research* 92: 230-235, <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9448-6>

**Munyanza J. E., V. G. Sengoda, J. M. Crosslin, G. De la Rosa-Lozano and A. Sanchez (2009)** First report of '*Candidatus Liberibacter psyllaurosus*' in potato tubers with zebra chip disease in Mexico. *Plant Disease* 93 (5): 552-552, <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-5-0552A>

**Delgado O. J. C., A. R. Enriquez, M. B. Beache, Y. M. O. Fuentes, E. C. Chávez, R. D. J. D. Aguilar and J. F. Flores (2022)** Insecticidal Effect of Menadione on Whitefly, *Bemisia tabaci*, and Tomato Psyllid, *Bactericera cockerelli*. *Southwestern Entomologist* 47(1): 83-88, <https://doi.org/10.3958/059.047.0106>

**Paz-Lago D., A. A. Borges, A. Gutiérrez, A. Borges, G. Cabrera, M. A. Ramírez and A. Falcón (2000)** Tomato-*Fusarium oxysporum* interactions: II. Chitosan and MSB induced resistance against fol in young tomato plants, <http://hdl.handle.net/10261/21366>

**Pushpalatha H. G., S. R. Mythrashree, R. Shetty, N. P. Geetha, R. G. Sharathchandra, K. N. Amruthesh and H. S. Shetty (2007)** Ability of vitamins to induce downy mildew disease resistance and growth promotion in pearl millet. *Crop Protection* 26 (11): 1674-1681, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.02.012>

**Rama Rao A. V., K. Ravichandran, S. B. David and S. Ranade (1985)** Menadione sodium bisulphite: a promising plant growth regulator. *Plant growth regulation*, 3: 111-118, <http://doi.org/10.1007/BF01806050>

**Rojas-Martínez R. I., E. Zavaleta-Mejía, D. L. Ochoa-Martínez, I. Alanís-Martínez, and F. García-Tapia (2016)** Association of *Candidatus* Liberibacter solanacearum with the decline of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Plant Pathology* 191-196, <http://www.jstor.org/stable/44280436>

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

**Swisher Grimm K. D and S. F Garczynski (2019)** Identification of a new haplotype of '*Candidatus* Liberibacter solanacearum' in *Solanum tuberosum*. *Plant disease* 103(3): 468-474, <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-0937-RE>

**Swisher Grimm K. D., T. Mustafa, W. R. Cooper and J. E. Munyaneza (2020)** Growth and yield performance of *Solanum tuberosum* grown from seed potatoes infected with '*Candidatus* Liberibacter solanacearum' haplotypes A and B. *Plant disease* 104(3): 688-693, <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-19-1125-RE>

**Swisher K. D., D. C. Henne and J. M. Crosslin (2014)** Identification of a fourth haplotype of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Trioziidae) in the United States. *Journal of Insect Science* 14(1), <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu023>

**Yaseen W., M. Iqbal, I. Hussain, S. Khaliq and M. A. Ashraf (2021)** Exogenous Menadione Sodium Bisulphite Increases Pigments, Osmoprotectants and Alters

Metabolism to Attenuate Cadmium Toxicity on Growth and Yield in Summer Squash (*Cucurbita pepo*): <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1794>

**Zhang Z., N. Wisuthiphaet, N. Nitin, L. Wang, R. Kawakita, T. Jeoh and G. Sun (2021)** Photoactive Water-Soluble Vitamin K: A Novel Amphiphilic Photoinduced Antibacterial Agent. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 9, (24): 8280–8294, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c02690>

**Zhang S., M. Jain, L. A. Fleites, P. A. Rayside, and D. W. Gabriel (2019)** Identification and characterization of menadione and benzethonium chloride as potential treatments of Pierce's disease of grapevines. *Phytopathology*, 109(2): 233-239, <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0244-FI>

## CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo a los datos obtenidos en los diferentes bioensayos podemos concluir que la MBS cuenta con un efecto insecticida en el insecto *B. cockerelli*, al lograr bajar las poblaciones hasta en un 80%, también se presentaron efectos degenerativos en los insectos como deformidades en las alas; también se observaron altas mortalidades en las diferentes dosis de MBS al ser aplicadas a las ninfas de *B. cockerelli*, en donde la mayor mortalidad se presentó en los tres primeros estadios, demostrando que la MBS tiene diversos efectos, pero que se necesita estudiar más a fondo en el insecto *B. cockerelli* para un mejor entendimiento.

En cuanto al ensayo en invernadero se logró reducir la incidencia y severidad en las plantas de tomate infectadas con la bacteria CaLso y tratadas con MBS, reduciendo la severidad por encima del 40% en la dosis más alta de 500 ppm, de igual manera esa misma dosis presento los mejores valores en los parámetros agronómicos la MBS; mostrando efectos positivos en variables como altura de planta, mejorando hasta en un 50% en comparación con el tratamiento químico y testigo inoculado con la bacteria; en el pesos del fruto la MBS a 500 ppm obtuvo el mejor rendimiento por encima del 90% en comparación con el tratamiento químico, con estos resultados podemos concluir que la MBS induce una respuesta positiva en plantas de tomate.