

Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

Informe final

Factores que afectan la proporción sexual y comportamiento poblacional de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae)

Equipo de investigación

Claudia Elizabeth Toledo Perdomo
Coordinador

Guatemala, 27 de noviembre de 2019

Instituto de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador del Programa de Investigación de Ciencias Básicas

Claudia Elizabeth Toledo Perdomo
Coordinadora del proyecto

Walter Antonio Reyes
Auxiliar de Investigación I

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2019. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.4.50. durante el año 2019 en el Programa Universitario de Investigación de Ciencias Básicas.

Financiamiento aprobado por Digi: Q. 249,977.54 Financiamiento ejecutado: Q. 146,777.54

Índice

	Contenido	Pag.
	Índice de contenido	4
1	Resumen.....	6
1.1	Abstract.....	7
2	Introducción.....	8
3	Planteamiento del problema.....	11
4.	Preguntas de investigación.....	13
5	Delimitación en tiempo y espacio.....	13
6	Marco teórico.....	14
6.1	Biología y comportamiento de la paratrioza <i>B. cockerelli</i>	14
6.2	Importancia económica de la paratrioza.....	15
6.3	El cultivo de la papa y sus principales plagas y enfermedades.....	16
6.4	<i>Tamarixia triozae</i> Biología y Ciclo de vida	17
6.5	Interacción <i>T. triozae</i> con <i>B. cockerelli</i>	18
7.	Estado del arte.....	19
7.1	Otros estudios realizados de <i>B. cockerelli</i> , otros Psylloidea y <i>Wolbachia</i>	19
8.	Objetivos.....	22
8.1	Objetivo General.....	22
8.2	Objetivos específicos.....	22
9	Hipótesis.....	22
10	Materiales y métodos.....	23
10.1	Enfoque y tipo de investigación.....	23
10.2	Método.....	23
10.3	Técnicas e instrumentos.....	24
10.3.1	Establecimiento de las parcelas y muestreo.....	24
10.3.2	Identificación en laboratorio de los especímenes colectados y determinación de sexos.....	25
11	Operacionalización de las variables o unidades de análisis.....	26
12	Procesamiento y análisis de la información.....	28
13	Vinculación, difusión y divulgación.....	28
14	Resultados.....	29
15	Análisis y discusión de resultados.....	33
16	Conclusiones.....	35
17	Impacto esperado.....	35
18	Referencias.....	36

Tabla	Índice de tablas	
1.	<i>Operacionalización de las variables o unidades de análisis</i>	26
2.	<i>Prueba de DCG para ninfas, adultos machos y hembras de Bactericera cockerelli, en el cultivo de papa, por estrato y desarrollo de la plantación. Tecpán, Chimaltenango. 2019</i>	31
3.	<i>Análisis de Correlación de Pearson para adultos, ninfas, machos y hembras de Bactericera cocckerelli con las variables climáticas en el cultivo de papa, Tecpán, Chimaltenango, 2019</i>	32
Figura	Índice de Figuras	
1.	<i>Población de adultos y ninfas de Bactericera cockerelli durante el periodo de muestreos en el cultivo de la papa en Tecpan, Chimaltenago. 2019</i>	30
2.	<i>Factores climáticos en Tecpán, Chimaltenango, durante el periodo de muestreos en el cultivo de la papa. 2019</i>	30
3.	<i>Muestreo en las parcelas del proyecto en el cultivo de la papa, Tecpán, Chimaltenango, 2019</i>	45
4.	<i>Parcelas del proyecto de las plantaciones del cultivo de la papa en Tecpán, Chimaltenango, 2019</i>	45
5.	<i>Trampas de plantas amarillos para el monitoreo y captura de Tamarixia triozae en el cultivo de la papa. Tecpán, Chimaltenango, 2019</i>	46
6.	<i>Adultos de B.cockerelli colectados en las parcelas experimentales del cultivo de la papa, Tecpán Chimaltenango, 2019</i>	46
	Apéndice	45

Factores que afectan la proporción sexual y comportamiento poblacional de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae)

1. Resumen

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es una de las principales hortalizas en Guatemala y una de sus principales plagas es *Bactericera cockerelli* siendo vector de las enfermedades zebra chip y punta morada. La investigación tuvo por objetivo determinar el comportamiento poblacional y proporción sexual de *B. cockerelli*, se estableció su relación con la distribución en las fases fenológicas del cultivo de la papa, su distribución vertical. Se relacionó la proporción sexual con factores climáticos (temperatura: máxima, media y mínima, precipitación pluvial). Para el estudio se establecieron 3 parcelas de 500 m², se realizaron muestreos semanales. Se muestrearon las plantas divididas en tres estratos (alto, medio y bajo), y en cada fase fenológica del cultivo. Se capturaron adultos para ser sexados y determinar el tipo de reproducción. Todos los datos se correlacionaron con las poblaciones y con datos climáticos, se evaluaron con la prueba de ANOVA, utilizando la correlacionaron de Pearson. Los resultados demostraron que las temperaturas mínimas y precipitación pluvial tienen un efecto sobre las poblaciones de *B. cockerelli*. La distribución de las poblaciones en la planta por estratos se determinó que los adultos pueden encontrarse en cualquiera de los 3 estratos ($p = .2333$) y las ninfas mostraron una preferencia por el estrato medio ($p = .0182$). La proporción sexual fue del 48% hembras y 52% machos y el tipo de reproducción fue sexual. Con estos resultados se aporta información del comportamiento de *B. cockerelli* para establecer estrategias de manejo en el cultivo de la papa.

Palabras clave: dinámica poblacional, distribución vertical, proporción sexual

1.1 Abstract

Potato crop (*Solanum tuberosum* L.) is one of the main vegetables in Guatemala and one of its main pests is *Bactericera cockerelli* as a vector of the zebra chip and purple tip diseases. The objective of the investigation was to determine the population behavior and sexual proportion of *B. cockerelli*, to establish its relationship with the distribution in the phenological phases of the potato crop, its vertical distribution. The sexual proportion was related to climatic factors (temperature: maximum, average and minimum, rainfall). For the study 3 plots of 500 m² were established, weekly samples were analyzed. Plants were sampled divided into three strata (high, medium and low), and in each phenological phase of the crop. Adults were captured to be sexed and determine the type of reproduction. All data are correlated with populations and with climatic data, evaluated with the ANOVA test, correlated with Pearson. The results showed that minimum temperatures and rainfall have an effect on *B. cockerelli* populations. The distribution of populations in the plant by strata determines that adults can be found in any of the 3 strata ($p = .2333$) and nymphs have a preference for the middle stratum ($p = .0182$). The sexual proportion was 48% females and 52% males and the type of reproduction was sexual. These results provide information on the behavior of *B. cockerelli* to establish management strategies in potato crop.

Key Words: population dynamics, vertical distribution, sexual proportion

2. Introducción

El cultivo de la papa en Guatemala es una de las principales hortalizas ocupando el tercer lugar de importancia, después del maíz y el frijol. A nivel mundial está catalogado como el cuarto cultivo de importancia, después del trigo, arroz y maíz (Chávez & Ramírez, 2013).

Para el año 2013 en Guatemala se cultivaron 20,860 Ha del cultivo de la papa, con una extensión promedio de 0.26 Ha por unidad productiva y reportándose una producción total de 521,849 TM. Esta producción agrícola generó 3.6 millones de jornales al año, equivalente a más de once mil empleos permanentes y beneficiando a 83,000 familia rurales que participaron en el proceso productivo (Argueta, 2014; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2010).

La paratrioza (*Bactericera cockerelli* (Sulc)), es una de las principales plagas en el cultivo de la papa y causa daños directos a la planta cuando se alimenta, además es vector de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, enfermedad conocida como papa rayada o zebra chip (Bujanos & Ramos, 2015). *B. cockerelli* se encuentra ampliamente distribuida en Guatemala, cuyo origen es nativo de la región (European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2014; Munyaneza, 2012).

Los síntomas de la enfermedad conocida como papa rayada o zebra chip en los tubérculos de la papa (*Solanum tuberosum*) presentan marcas de rayas necróticas las cuales se vuelven más visibles cuando las papas se fríen para su cocción. Las plantas presentan una senescencia precoz, rendimiento del 60% menor al esperado y menor materia seca que lo normal (Liefiting, Perez-Egusquiza, Clover, & Anderson, 2008; Munyaneza, Sengoda, Sundheim, & Meadow, 2012).

La enfermedad papa rayada o zebra chip ha sido identificada (Munyaneza, Crosslin, & Upton, 2007; Secor, Lee, Bottner, Rivera-Varas, & Gudmestad, 2006) y reportada por primera vez en México en 1994, también se ha reportado en Guatemala, México y el suroeste de los

Estados Unidos, causando daños económicos (Liefting, Perez-Egusquiza, Clover, & Anderson, 2008).

Para el control de la paratrioza (*B. cockerelli*), se ha empleado principalmente el control químico, debido al desconocimiento de algunos aspectos de su biología y del comportamiento de la plaga en las zonas productoras de papa en Guatemala y para realizar aplicaciones químicas en el momento adecuado o aplicar cualquier otro método de control, ha contribuido al mal manejo de las poblaciones, las cuales se ha incrementado afectado el cultivo de la papa. Asimismo, se ha observado que algunos plaguicidas no han sido eficaces y se ha reportado la resistencia a varios grupos de insecticidas provocando un incremento en las poblaciones de *B. cockerelli*, haciendo más difícil el control de la plaga (Vega et al., 2008).

Estudios realizados en *B. cockerelli* han demostrado que tanto el adulto como las ninfas son vectores de la enfermedad Candidatus *L. solanacearum*, siendo el adulto un vector más eficiente para la transmisión de la enfermedad (Buchman, Sengoda, & Munyaneza, 2011). Otros estudios del comportamiento de la distribución poblacional de *B. cockerelli* en México permitieron la identificación de las áreas que se encuentran infestadas y áreas libres para el control de la plaga (Ramírez & Figueroa, 2013).

Conocer el comportamiento poblacional de *B. cockerelli* en la planta en cada una de las etapas de desarrollo del cultivo de la papa, la distribución vertical en la planta de adultos y son factores que podrán aportar información para la toma de decisiones para establecer los planes de manejo de *B. cockerelli*. También se evaluó la presencia de su parasitoide *Tamarixia triozae* en el área de estudio.

El propósito de esta investigación también fue evaluar la proporción sexual de *B. cockerelli*, el tipo de reproducción y la presencia de la bacteria *Wolbachia*. Se evaluó la distribución vertical de la población en la planta de los adultos, así como el comportamiento poblacional en cada uno de los estados de desarrollo de la planta de la papa. Se evaluó cuantitativamente las poblaciones de *B. cockerelli*, se determinó el sexo para conocer su proporción sexual y tipo de reproducción

que presentan en el área de estudio y la presencia de la bacteria *Wolbachia*, la cual, según estudios realizados afecta la reproducción de *B. cockerelli* (Rossi et al., 2015).

Para el establecimiento del análisis estadístico se realizó la prueba de ANOVA, se empleó un diseño anidado con medidas repetidas a un nivel de significancia de .05, también se realizó la prueba de DCG. Se realizó el análisis de correlación de Pearson. Los factores que se analizaron para el análisis estadístico fueron: los climáticos (temperaturas máxima y mínima, precipitación pluvial), los estados de desarrollo de la planta (vegetativa y producción), los estratos en la planta (alto, medio y bajo) y la presencia de *Tamarixia triozae*.

Con estos resultados se aporta información del comportamiento poblacional y biología de *B. cockerelli* que puedan ser considerados para la toma de decisiones dentro de los programas de manejo integrado de plagas.

3. Planteamiento del problema

En Guatemala, el cultivo de la papa es una fuente de empleo en el área rural de las familias guatemaltecas, es un cultivo con alto valor nutricional, el cual está dentro de los alimentos importantes para la seguridad alimentaria por su valor nutritivo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2010; Argueta, 2014).

B. cockerelli es una de las principales plagas que atacan al cultivo de la papa (*S. tuberosum*), chile (*Capsicum annuum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y otras hortalizas, ocasionando daños de importancia económica debido a que es vector de las enfermedades Zebra chip y punta morada (Buchman, Sengoda, & Munyaneza, 2011).

En la actualidad, los productores de papa en Guatemala basan el control de *B. cockerelli* principalmente en aplicaciones de productos agroquímicos, los cuales son aplicados sin tener conocimiento del comportamiento de la plaga en el cultivo, esto puede llevar a un mal manejo de la plaga ocasionando una resistencia a los agroquímicos. Según estudios realizados en México en los plaguicidas imidacloprid, pimetrozine y buprofezin, se reportaron controles inferiores al 50% en las poblaciones de *B. cockerelli*, debido a la resistencia adquirida (Berry, Walker, & Butler, 2009).

Se han sido realizados estudios poblacionales de diversas plagas con la finalidad de facilitar la toma de decisiones para el manejo. Estudio de la distribución espacial de *B. cockerelli* en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* mil) en México se realizaron con la finalidad de obtener información para realizar los muestreos de la plaga (Crespo-Herrera et al., 2012).

Estudios de las densidades poblacionales de *B. cockerelli* y la incidencia de la enfermedad permanente del tomate también fueron realizados en el cultivo del tomate, determinado la relación de *B. cockerelli* con la enfermedad (Jirón-Rojas et al., 2016). Estudios de la distribución poblacional de otras plagas como los trips y modelos predictivos fueron realizados por Porras,

Jiménez, Figueroa, Santos y Sistachs (2007) en el cultivo de la cebolla en Cuba. Otros estudios realizados donde se tomaron en cuenta la fenología del cultivo con la distribución de la plaga también ha sido realizados en las especies *Zulia carbonaria* (Castro, Morales, & Peck, 2005), las plagas *Plutella xylostella*, *Brevicoryne brassicae*, *Copitarsia consueta*, *Trichoplusia ni*, *Estigmene acraea*, *Murgantia histrionica*, *Lygus* sp., *Hylemya* sp., y *Liriomyza* sp. los cultivos de la col también fueron evaluadas para conocer su incidencia según la etapa fenológica del cultivo (Barrios-Díaz et al. 2004).

Uno de los principales factores del cambio climático que ha tenido un impacto en la agricultura ha sido el efecto en la biología y comportamiento de los insectos plaga. Los cambios climáticos provocados por este fenómeno podrían además aumentar el riesgo del movimiento de insectos plaga, insectos invasores, aumentando la incertidumbre para la toma de decisiones para manejo de estas plagas y la aplicación de las estrategias para su control. Es importante realizar estudios relacionados con el efecto del cambio climático sobre las plagas, así como estudios del comportamiento y fluctuación de las plagas para desarrollar modelos predictivos de análisis de las dinámicas poblacionales y su relación con el clima (Rivas, 2015).

Es importante realizar estudios del comportamiento poblacional de *B. cockerelli* en Guatemala, el desarrollo de un modelo predictivo de la población y el estudio algunos aspectos de su biología como la proporción sexual y tipo de reproducción, debido a que este puede ser influido por las condiciones del clima lo cuales pueden aportar información para el establecimiento de planes de manejo adecuados dentro de un manejo integrado de plagas, evitando las pérdidas económicas por la aplicación de técnicas de manejo inadecuados, evitando también favorecer la inducción a la resistencia de los plaguicidas por un mal uso.

Así también, el estudio de la presencia de la bacteria *Wolbachia* en las poblaciones de *B. cockerelli* es importante debido a que esta puede influir en la reproducción de los insectos y podría ser una herramienta para el control biológico de las plagas (Sawyers-Kenton, Sawyers-Kenton, & Pinto-Tomas, 2017). El primer paso para estudios de la bacteria *Wolbachia* como posible herramienta para control de plagas es conocer si está presente la bacteria en los

especímenes y especialmente especímenes de la región. Confirmando su presencia esto podría dar paso a futuros estudios con la bacteria.

4. Preguntas de investigación

¿Cuál es el comportamiento poblacional y proporción sexual de la paratrioza (*B. cockerelli*)?

Los factores de distribución poblacional en la planta de *B. cockerelli* (según etapas fenológicas y en distribución vertical dentro de la plantación del cultivo de la papa) aportarán información útil para establecer técnicas de manejo de las poblaciones de *B. cockerelli*

los factores del comportamiento poblacional de *B. cockerelli* son afectados por las condiciones del clima y la presencia de *Tamarixia triozae*, estos: ¿aportarán información para desarrollar un modelo predictivo de la población de *B. cockerelli*?

¿Estará presente la bacteria *Wolbachia* en algunos especímenes colectados de *B. cockerelli*?

¿la proporción de sexos de *B. cockerelli* y la presencia de la bacteria *Wolbachia* aportarán información para establecer el tipo de reproducción que presenta la población?

5. Delimitación en tiempo y espacio

La evaluación se realizó durante los meses de abril a diciembre del 2019. Las parcelas se establecieron en el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, se encuentra ubicado a 88 km de distancia de la ciudad capital de Guatemala, a una altitud de 2,286 msnm, a una latitud 14°45'37'', longitud 90°59'30''. El clima es frío en la mayoría de los meses del año (Municipalidad de Tecpán, 2019). Posteriormente a las colectas, durante los meses de marzo a octubre el material de los especímenes colectados serán trasladados a los laboratorios de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

6. Marco teórico

6.1. Biología y comportamiento de la paratrioza *B. cockerelli*

La especie *Bactericera cockerelli* (Sulc), pertenece al orden Hemiptera, suborden Homoptera, superfamilia Psylloidea, familia Triozidae y Género *Bactericera*(=Paratrioza). También esta reportado el sinónimo *Paratrioza cockerelli* (Sulc) (Bejanus & Ramos, 2015). Las hembras pueden ovipositar hasta 1,500 huevecillos en un período de 21 días. Estos son ovipositados en el envés y bordes de las hojas y flores. Estos son de forma ovoide, color anaranjado-amarillo, se adhieren al tejido vegetal con la ayuda de un pequeño filamento.

Las ninfas se encuentran principalmente en el envés de las hojas, las ninfas de los primeros instar son poco activas. En total se presentan cinco estadíos ninfales. Las hembras adultas presentan cinco segmentos visibles y el segmento donde se encuentra la genitalia, en la parte media del dorso del abdomen se presenta una mancha en forma de “Y”. El macho presenta seis segmentos visibles más la genitalia, lateralmente se observa en el extremo distal del abdomen la genitalia en forma de pinza (Becerra, 1989; Garzón–Tiznado et al., 2009; Marín et al., 1995).

Se han identificado varias plantas cultivadas y silvestres para *B. cockerelli*. Dentro de los principales cultivos están las plantas pertenecientes a la familia solanaceae: tomate (*S. lycopersicum* L.), papa (*S. tuberosum* L.), chile (*C. annum* L.), berenjena (*S. melongena* L.), tabaco (*Nicotiana tabacum*) y dentro de las plantas silvestres esta la hierba mora (*S. nigrum* L.) (Martin, 2008).

6.2 Importancia Económica de la Paratrioza *B. cockerelli*

B. cockerelli en su estado adulto e inmadura (ninfas) se alimentan principalmente de las hojas, succionan la savia de las plantas, provocando daños directos e indirectos en las plantas. Al momento de la alimentación la paratrioza inyecta en la planta sustancias que dañan las células que impiden la normal producción de la clorofila provocando síntomas como el amarillamiento y debilitamiento en los tejidos dañados. Los daños indirectos están relacionados a que este es vector de fitoplasmas que provocan enfermedades conocidas como permanente del tomate, punta morada de la papa, zebra chip (Garzón, 1984; Munyaneza, 2012).

La paratrioza es el vector de la papa rayada o “Zibra chip”, es llamada así por los síntomas que causan en la papa infectada. La papa rayada ha sido identificada en Estados Unidos, México y Centroamérica y ha causado a los productores de papa millones de pérdidas (Munyaneza, Crosslin, & Upton, 2007). La enfermedad provoca un patrón manchado al realizar un corte transversal en el tubérculo y freírlo. Se han reportado pérdidas en la producción de la papa entre el 70 y 90%, también ha sido reportada la enfermedad en Nueva Zelanda (Liefting, Pérez-Egusquiza, Clover, & Anderson, 2008).

En Texas la enfermedad zebra chip provocó una reducción del 20% con pérdidas de 25 millones de dólares durante el período 2004-2006). En Honduras y Guatemala, esta enfermedad provocó pérdidas del 80% hasta la totalidad de los campos cultivados de papa por la producción de tubérculos no aptos para la comercialización (Crosslin, Munyaneza, Brown, & Liefting, 2010; Secor & Rivera, 2004; Wen et al., 2009).

6.3 El cultivo de la papa y sus Principales plagas y enfermedades de la papa

El cultivo de la papa, pertenece a la familia de las solanáceas y al género *Solanum*, especie: *S. tuberosum* L. Es originaria de la región Andina, que comprende el altiplano de Perú y Bolivia. Se cultiva en más de 100 países, puede cultivarse en clima templado, subtropical y tropical, aunque los mejores rendimientos del cultivo se obtienen en clima templado dentro de los rangos de temperatura 10 °C como temperatura mínima y 30°C como temperatura máxima, superior a este rango se inhibe el desarrollo del tubérculo. El rango más recomendado para obtener mejor producción está a una temperatura diaria que se mantenga entre 18° a 20 °C.

El ciclo del cultivo oscila entre los 90 y 150 días, el cultivo de la papa requiere de un pH ideal dentro de un rango pH de 5.2 a 6.4 en el suelo (FAO, 2008). Los tubérculos son empleados para su propagación, la yema apical brota de un tubérculo donde inicia el crecimiento de la planta, se desarrolla solo un tallo el cual posteriormente nacerán ramas. La etapa vegetativa inicia con este crecimiento, posteriormente se dará en las ramas la floración en la planta. También se puede presentar una multiple brotación, esto dependerá del momento de la siembra, al pasar la fase de brotación multiple, sin no se siembra con forme pasa el tiempo el tubérculo ira perdiendo su calidad como semilla (Aldabe & Dogliotti, 2006).

El tubérculo que fue sembrado como medio de propagación de la papa desarrolla además de los brotes las raíces, siendo en esta etapa, la humedad del suelo necesaria para la formación de las raíces y el crecimiento vegetativo. El crecimiento de los tubérculos que serán cosechados en la plantación crecerán lentamente de 2 a 4 semanas después de la emergencia de los tallos y continuara su crecimiento hasta la cosecha (Contreras, 2009).

Dentro de las principales plagas del cultivo de la papa están la palomilla de la papa (*Tecia solanivora*), paratrioza (*Bactericera cockerelli*), pulga saltona (*Epitrix* sp.), pulgones (*Myzus* sp.). Las principales enfermedades identificadas en el cultivo de la papa

están: *Rhizoctonia* sp., *Phytophthora infestans*, *Alternaria solani*, *Fusarium* sp. y los fitoplasmas (Chávez & Ramírez, 2013).

6.4. *Tamarixia triozae*

Tamarixia triozae (Burks, 1943) pertenece al orden Hymenoptera, superfamilia Chalcidoidea, familia Eulophidae, Subfamilia Tetrastichinae y género *Tamarixia* (Barker et al., 2017).

Tamarixia triozae es un parasitoide del psílido de la papa *B. cockerelli*. Estudios realizados han definido algunos aspectos de la biología y definido la tabla de vida de *T. triozae* parasitando ninfas de *B. cockerelli* en condiciones de laboratorio. Las condiciones promedio y desviación estándar controladas del laboratorio fueron de 26 (2) °C, 60 (10)% de HR y 14:10 horas de luminosidad. Los tiempos de desarrollo de los parasitoides fueron de 1.5 días en el estado de huevo, 3.5 días para el desarrollo larval y de 5.7 días para las pupas y un promedio de 12 días desde la aparición del huevo hasta el adulto. Las hembras adultas vivieron en promedio (desviación estándar) 19.9 (4.5) días y tuvieron un período de preoviposición promedio (desviación estándar) de 1.9 (0.8) días. Cada hembra puso un promedio de 165.4 (45.2) huevos durante su vida (Rojas, Rodríguez-Leyva, Lomeli-Flores, & Liu, 2015).

Otros estudios han demostrado la efectividad de *T. triozae* para el control de ninfas *B. cockerelli*, donde en condiciones de campo se reporta un 80% de parasitismo. Además, que los parasita, las hembras de *T. triozae* también se alimentan de las ninfas de *B. cockerelli*, realizando de esta forma un mayor control sobre las poblaciones de *B. Cockerelli* (Bravo & López, 2007; Burge, Komany, Van, & Vet., 2005).

6.5. Interacción *T. triozae* con *B. cockerelli*

Estudios realizados en la relación y comportamiento del parasitismo y comportamiento en la alimentación de *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) en *Bactericera cockerelli* Sulc) (Hemiptera: Triozidae) en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller) demostraron que las hembras de *T. triozae* necesitaron aproximadamente 31.14 ± 4.39 minutos en buscar su primer huésped adecuado. El tiempo que necesito para identificar a *B. cockerelli* y ovipositar en promedio fue de 2.66 (0.18) y 4.26 (0.39) min, respectivamente. *T. triozae* parasitó 4,66 (0.61) ninfas en un período de 6 horas.

En cuanto al comportamiento previo a la ovoposición en caminar a lo largo de los márgenes de su cuerpo del huésped, luego introducía repetidamente el ovipositor debajo de la ninfa. Para la alimentación de *T. triozae* luego de la ovoposición se observó que consumió en promedio 1.00 (0.00) ninfa de *B. cockerelli* después de parasitar 3.3 (0.48) ninfas (Martínez et al., 2015).

7. Estado del arte

7.1. Otros estudios realizados de *B. cockerelli*, otros *Psylloidea* y *Wolbachia*

Estudios realizados sobre el comportamiento poblacional de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa demostraron la variación de su comportamiento poblacional durante los tres años que duró la investigación en las regiones productoras de papa. El número de adultos y ninfas muestreados se correlacionaron positivamente con la enfermedad zebra chip en los tubérculos. También se demostró la diferencia en la incidencia de la enfermedad en campos tratados para el control de *B. cockerelli* con los campos sin tratamiento (Goolsby et al., 2012).

También fue estudiado el desarrollo, la supervivencia y fecundidad de *B. cockerelli* en el cultivo del pimiento (*C. annuum* L.) y berenjena (*S. melongena* L.) bajo condiciones de laboratorio. Se encontró mayor preferencia y mejor desarrollo y supervivencia de *B. cockerelli* en el cultivo de la berenjena en comparación con las poblaciones estudiadas en el pimiento. Las evaluaciones en la pre ovoposición, ovoposición, fecundidad y proporción de sexos de las poblaciones en ambos cultivos estudiados no mostraron diferencias. Sin embargo, la duración de la fecundidad fue mayor en las hembras de las poblaciones presentes en el pimiento (Yang & Liu, 2009).

Liu y Trumble (2006), demostraron que *B. cockerelli* puede presentar preferencia por algunas variedades del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) para la ovoposición. Las variedades evaluadas fueron: Shady Lady, QualiT 21, 7718 VFN, Yellow Pear el cual es el preferido por los agricultores de la región y se evaluó una variedad silvestre PI 134417. Se demostró la preferencia de *B. cockerelli* por la variedad Yellow Pear, la variedad que menos

utilizó para ovipositar fue la variedad silvestre PI 134417. En la variedad Shady Lady se observó una preferencia para la ovoposición por plantas ya infestadas con *B. cockerelli* en estado adulto, esto puede deberse a que podrían presentarse cambios fisiológicos en las plantas después de haber sido fuente de alimento para *B. cockerelli*.

Guédot, Horton y Landolt (2010) estudiaron las señales químicas en la atracción sexual bajo condiciones de laboratorio. Los resultados demostraron como las machos son atraídos por los químicos producidos por las hembras, también se demostró que estos son atraídos también por otros machos, el cual fue el primer ejemplo de atracción macho-macho en Psylloidea, aunque se observó preferencia de machos hacia las hembras.

Estudios realizados en Lower Rio Grande Valley, Texas, demostraron que las fechas de siembra puede influir en la incidencia de la enfermedad chip zebra transmitida por el vector *B. cockerelli*. El estudio fue realizado durante los meses de diciembre, enero y febrero. El mes donde se observó que las plantaciones presentaban mayor incidencia de chip zebra fue en diciembre. Se estudió la dinámica poblacional de *B. cockerelli* demuestran que las mayores poblaciones durante todo el año fueron en marzo y abril (Munyaneza et al., 2012), también se realizó una modelización y mapeo de *B. cockerelli* en México y Argentina (Contreras-Rendón, Gutiérrez-Ibañez, Sánchez-Pale, Silva-Rojas, & Laguna-Cerda, 2017; Ramírez & Figueroa, 2013).

Estudios de la proporción de sexos de *Cacopsylla myrtilli* (Hemiptera: Psylloidea) concluyo que se presenta un cambio en la forma de su reproducción basado en las condiciones del hábitat en que se encuentre. Las poblaciones bisexuales son capaces de obtener mejor adaptación en condiciones ambientales más rigurosas debido a que poseen un alto nivel de variación genética que las poblaciones partenogénicas (Hodkinson, 2006). Otro estudio realizado en *Cacopsylla myrtilli* demostró que en algunas zonas del estudio se presentó una población bisexual y en otras zonas las poblaciones fueron de solo hembras (Labina, Nokkala, Maryañska-Nadachowska, & Kuznetsova, 2009).

Las anteriores investigaciones demuestran la importancia de realizar estudios en distintos aspectos de la biología y comportamiento poblacional de *B. cockerelli*, debido a que estos estudios aportaran información necesaria para establecer criterios en la toma de decisiones para establecer distintos métodos de control de *B. cockerelli* dentro de los programas de manejo integrado de plagas. Las decisiones acertadas para el manejo de *B. cockerelli* permitirá evitar pérdidas económicas en el proceso productivo del cultivo.

Estudios realizados en la bacteria *Wolbachia* (α -proteobacteria, Rickettsia), se transmite de generación en generación por la madre y se encuentran comúnmente en intestinos de insectos, glándulas salivales, ovarios y tórax. Esta bacteria afecta la capacidad reproductiva de sus huéspedes a través de diversos mecanismos, como la incompatibilidad citoplásmica, proceso donde los huevos fertilizados por espermias de machos infectados por la bacteria no llegarán a incubarse.

También provocan otros efectos como la muerte de los descendientes masculinos o la feminización, los cuales podrían ser estudiados para el control de plagas (Rossi et al., 2015; Blagrove, Arias-Goeta, Failloux, & Sinkins, 2012; Serbus, Casper-Lindley, Landmann, & Sullivan, 2008; Zabalou et al., 2004).

8. Objetivos

8.1 Objetivo general

Determinar el comportamiento poblacional, proporción sexual y tipo de reproducción de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa *S. tuberosum*.

8.2. Objetivos Específicos

- Determinar la distribución de las poblaciones de *B. cockerelli* con cada una de las etapas de desarrollo del cultivo de la papa *S. tuberosum* y su distribución vertical en la planta.
- Determinar la presencia del parasitoide de *B. cockerelli*: *T. triozae* en las parcelas de muestreo.
- Determinar la proporción sexual de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa *S. tuberosum* y su tipo de reproducción.

9. Hipótesis

Al menos uno de los factores de la distribución (etapas de desarrollo del cultivo y distribución vertical en la planta) de la paratrioza (*B. cockerelli*) está relacionado con su comportamiento poblacional.

Los factores climáticos temperatura y precipitación pluvial están relacionados con el comportamiento de las poblaciones de la aratrioza (*B. cockerelli*).

La proporción sexual de la paratrioza (*B. cockerelli*) sera 1:1.

10. Materiales y métodos

10.1 Enfoque y tipo de investigación

La propuesta de investigación presenta un enfoque cuantitativo para los estudios poblacionales de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa *S. tuberosum*, la presencia de *T. triozae* y con la proporción sexual de *B. cockerelli* y la presencia de *Wolbachia*.

La investigación es de tipo correlacional y predictiva, la cual pretende relacionar el comportamiento de las poblaciones de *B. cockerelli* con los estratos de la planta de la papa y sus estados de desarrollo, los factores climáticos, así como su proporción sexual con su tipo de reproducción. Así como establecer un modelo predictivo de las poblaciones de *B. cockerelli*. Es también de tipo exploratoria, determinar la presencia o ausencia del parasitoide *Tamarixia triozae* en el cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L. así como la presencia de la bacteria *Wolbachia* en las poblaciones estudiadas.

10. 2 Método

Para la realización de la investigación se realizaron muestreos de inspección directa y uso de trampas de bandejas amarillas. Los muestreos de las poblaciones de *B. cockerelli* se realizaron en adultos y ninfas. Los muestreos fueron estratificados en la planta del cultivo de la papa. Estos fueron por inspección directa a la planta en las parcelas de evaluación.

Las parcelas estaban ubicadas en el municipio de Tecpán, en las coordenadas a una latitud 14°45'2.26"N, longitud 90°59'27.77"O, en una zona productora de hortalizas para el comercio nacional, dentro de los cultivos que estaban muy cercanos a las parcelas de evaluación estaban: zanahoria, brócoli, repollo, coliflor, maíz, arveja china, ejote, cebolla y fresa.

Las respuestas esperadas fue número de adultos y ninfas en cada uno de los estratos de la planta (alto, medio y bajo) y en cada fase de desarrollo del cultivo. También se contaron los machos y hembras presentes en cada muestreo de cada parcela para poder establecer el tipo de reproducción y proporción sexual.

10.3. Técnicas e instrumentos

10.3.1. Establecimiento de las parcelas y muestreo

Se establecieron las parcelas del cultivo de la papa *S. tuberosum* variedad Loman para la realización de los muestreos.

Se establecieron por conveniencia 3 parcelas. Las parcelas fueron de 500 m² del cultivo de la papa, se tomaron en cada parcela 5 plantas al azar. Las plantas fueron divididas en 3 estratos: parte inferior de la planta, parte media de la planta y parte superior. En cada planta se muestrearon 2 hojas en cada estrato de la planta (alto, medio y bajo) para hacer un total de 30 muestras, donde se realizó el conteo de la paratrioza (adultos y ninfas).

Para la realización de los muestreos de *T. triozae* se colocaron trampas de bandejas amarillas, de aproximadamente 30 cm de diámetro con solución jabonosa. Se colocaron 6 trampas por parcela.

Todo el material colectado en campo fue identificado y preservado en etanol al 70% y en viales de 5 ml. para ser trasladado al laboratorio. Los viales fueron identificados indicando la localidad, parcela y fecha de colecta. Se realizaron boletas de campo para la toma de datos de las muestras de las poblaciones de la paratrioza en parcela. La boleta de campo llevó la siguiente información: Lugar y fecha, número de parcela, estrato de la planta, cantidad de adultos muestreados, cantidad de ninfas muestreadas. Numero de bandeja de muestreo, cantidad de especímenes colectados.

Se tomaron datos climatológicos: temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media y precipitación pluvial, estos fueron tomados con termómetro de máximas, medias y

mínimas. La precipitación pluvial fue tomada con un pluviómetro plástico. Estos datos fueron tomados antes de realizar los conteos de insectos en campo. Los muestreos de los insectos se realizaron cada 7 días durante todo el ciclo vegetativo del cultivo. Los conteos de los especímenes se realizaron de forma visual, directamente en campo. También fueron capturados manualmente y colocados en viales con etanol al 70% para ser trasladados a laboratorio.

10.3.2. Identificación en laboratorio de los especímenes colectados y determinación de sexos

Los especímenes colectados fueron observados en un estereoscopio con aumento 40X y un duplicador 2X. Los especímenes adultos colectados fueron sexados, para ello se examinaron individualmente para hacer el conteo de machos y hembras capturados. Esta separación de sexos se basó en las características morfológicas del abdomen de cada espécimen.

Para los especímenes colectados en las bandejas con solución jabonosa, fueron colocados en viales con alcohol al 70%. Los insectos fueron separados y los que pertenecen a la familia taxonómica Eulophidae fueron determinados por medio de claves taxonómicas.

Las claves taxonómicas y material de referencia que sirvieron para confirmar el género y especie de *Tamarixia* fueron: Zamora-Mejias y Hanson (2017), Zuparko, De Queiroz, y La Salle (2011), Yefremova, González-Santarosa, Lomeli-Flores y Bautista-Martínez (2014). Para la determinación de *B. cockerelli* fue empleada la clave taxonómica de Burckhardt y Lauterer (1997).

Los especímenes colectados fueron llevados a laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

11. Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Tabla 1. Operacionalización de las variables o unidades de análisis

Objetivos específicos	Variables o unidades de análisis que serán consideradas	Forma en que se medirán, clasificarán o cualificarán
<p>Determinar la distribución de las poblaciones de <i>B. cockerelli</i> con cada una de las etapas de desarrollo del cultivo de la papa <i>S. tuberosum</i> y su distribución vertical en la planta.</p>	<p>-Especímenes de <i>B. cockerelli</i>, ninfas y adultos.</p> <p>Fases del desarrollo de la papa <i>S. tuberosum</i>. Se realizaron muestreos cada 7 días desde el inicio de la germinación hasta la finalización del ciclo del cultivo, eso permitió el muestreo en todas las fases fenológicas del cultivo.</p> <p>-Especímenes de <i>B. cockerelli</i>, ninfas y adultos.</p> <p>Estratos (alto, medio, bajo) de la planta de papa <i>S. tuberosum</i>.</p> <p>-Datos climáticos: temperatura máxima, media, temperatura mínima y precipitación pluvial.</p>	<p>-Número de especímenes (adultos y ninfas) de <i>B. cockerelli</i> colectados en cada fase de desarrollo del cultivo de la papa <i>S. tuberosum</i>.</p> <p>-Número de especímenes (adultos y ninfas) de <i>B. cockerelli</i> colectados en cada estrato (alto, medio, bajo) de la planta de la papa <i>S. tuberosum</i>.</p>
<p>Determinar la presencia de <i>T. triozae</i> con el comportamiento poblacional de <i>B. cockerelli</i> en el cultivo de</p>	<p>Especímenes de <i>B. cockerelli</i>, ninfas y adultos durante todo el ciclo del cultivo.</p> <p>Especímenes de <i>Tamarixia</i></p>	<p>Número de especímenes de <i>B. cockerelli</i>, ninfas y adultos</p> <p>Número de especímenes de <i>Tamarixia triozae</i></p> <p>Datos climáticos</p>

<p>la papa <i>S. tuberosum</i>.</p>	<p><i>triozae</i>, fueron muestreados cada 7 días durante todo el ciclo del cultivo de la papa.</p> <p>Datos climáticos: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial</p>	<p>Confirmación de la especie <i>Tamarixia triozae</i> por medio de claves taxonómicas y fechas de colecta.</p>
<p>Determinar la proporción sexual de <i>B. cockerelli</i> en el cultivo de la papa <i>S. tuberosum</i> y su tipo de reproducción.</p>	<p>Especímenes adultos de <i>B. cockerelli</i> machos y hembras. Estos fueron sexados en laboratorio.</p>	<p>Número de machos y número de hembras colectados en el cultivo de la papa <i>S. tuberosum</i>.</p>

12 Procesamiento y análisis de la información

La respuesta fue el número de adultos y ninfas de *B. cockerelli* en cada uno de los estratos de la planta (alto, medio y bajo) del cultivo de la papa y sus etapas de desarrollo. Se realizó un análisis de correlación entre las variables climáticas y las poblaciones de ninfas y adultos muestreados.

Se realizó un análisis de correlación lineal entre cada una de las etapas de desarrollo del cultivo, las variables climáticas y las poblaciones de ninfas y adultos muestreadas. Las variables analizadas para el análisis estadístico fueron: los climáticos (temperaturas máxima, media y mínima, precipitación pluvial), los estados de desarrollo de la planta (vegetativa y reproductiva), los estratos en la planta (alto, medio y bajo).

Se realizaron gráficas de los totales de las poblaciones de *B. cockerelli* de los muestreos realizados por mes y gráfica de los factores climáticos durante los muestreos. Para la proporción sexual de los individuos capturados de *B. cockerelli* fueron contados los totales de machos y hembras que se capturaron y se calculó la proporción sexual. Se empleó un análisis ANOVA y prueba de DCG a un nivel de significancia de .05. Las variables climáticas fueron analizadas por la prueba de correlación de Pearson. Para el manejo de los resultados de las colectas y determinación de *T. triozae* se analizaron las características, se corrieron las claves y se contaron los especímenes colectados.

13. Vinculación, difusión y divulgación

Se contará con el apoyo de la Licda. Antonieta Rodas y del Laboratorio de Entomología y Parasitología de la Facultad de Ciencia Químicas y Farmacia de la USAC. Con amplia experiencia en investigación científica.

Se realizó una capacitación con los productores de papa basado en las técnicas de muestreo de la paratrioza.

Se elaboró un manuscrito para ser publicado en la revista Ciencia y Tecnología de Digi para su publicación.

14. Resultados

El comportamiento de *B. cockerelli* demostró tener diferencias significativas en la distribución de las ninfas en la planta, donde el mayor número de ninfas se encontraron en la parte media de la planta ($p = .0782$). En el caso de los adultos, se demostró que la distribución en la planta era igual para cualquiera de los 3 estratos ($p = .2333$). De la misma forma fue el comportamiento de machos y hembras, al ser analizados individualmente (Tabla 2).

La distribución de la población por estrato y etapa de desarrollo de la plantación, las ninfas se concentraron en la parte media de la plantación, en todas las etapas de desarrollo, mientras que los adultos, la mayoría se encontraron en la parte alta de la plantación en la etapa reproductiva (media = 5.7 individuos), seguido de la parte media en la etapa reproductiva (media = 4 individuos) y en la etapa vegetativa en la parte media de la planta (media = 2 individuos).

La incidencia de los factores climáticos en las poblaciones de *B. cockerelli*, según los análisis estadísticos, demostraron que la temperatura mínima y la precipitación pluvial tienen un efecto sobre las ninfas, adultos y machos. En las hembras la temperatura media tiene un efecto sobre estas, así como la precipitación pluvia (Tabla 3). Al aumentar la precipitación pluvial las poblaciones de adultos y ninfas descendieron notablemente (Figuras 1 y 2).

El total de machos capturados fue de 220 y el total de hembra de 203, presentando una proporción sexual de 1.1:1 machos: hembras. Representando el 48% de hembras, del total de especímenes capturados.

En las colectas de las trampas amarillas e identificación de parasitoides y depredadores presentes en el cultivo de la papa, se determinó que únicamente se colectaron depredadores, los cuales fueron: *Crisoperla carnea* e *Hippodamia convergens*. No se encontró en ninguna de las colectas al género *Tamarixia*.

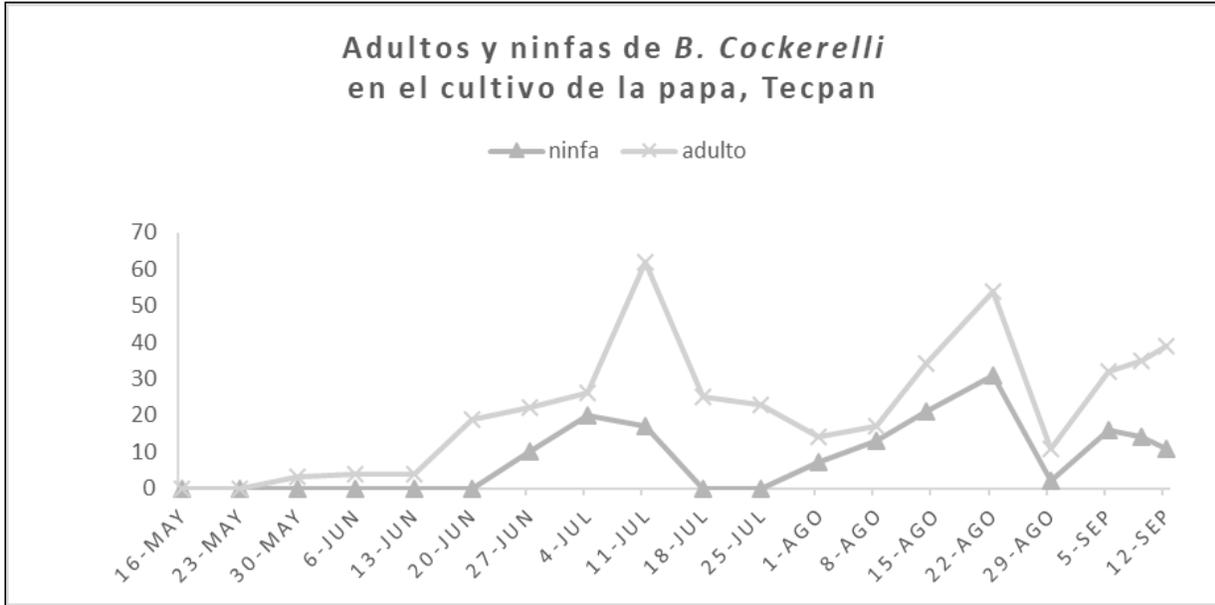


Figura 1. Población de adultos y ninfas de *Bactericera cockerelli* durante el periodo de muestreos en el cultivo de la papa en Tecpan, Chimaltenago. 2019.

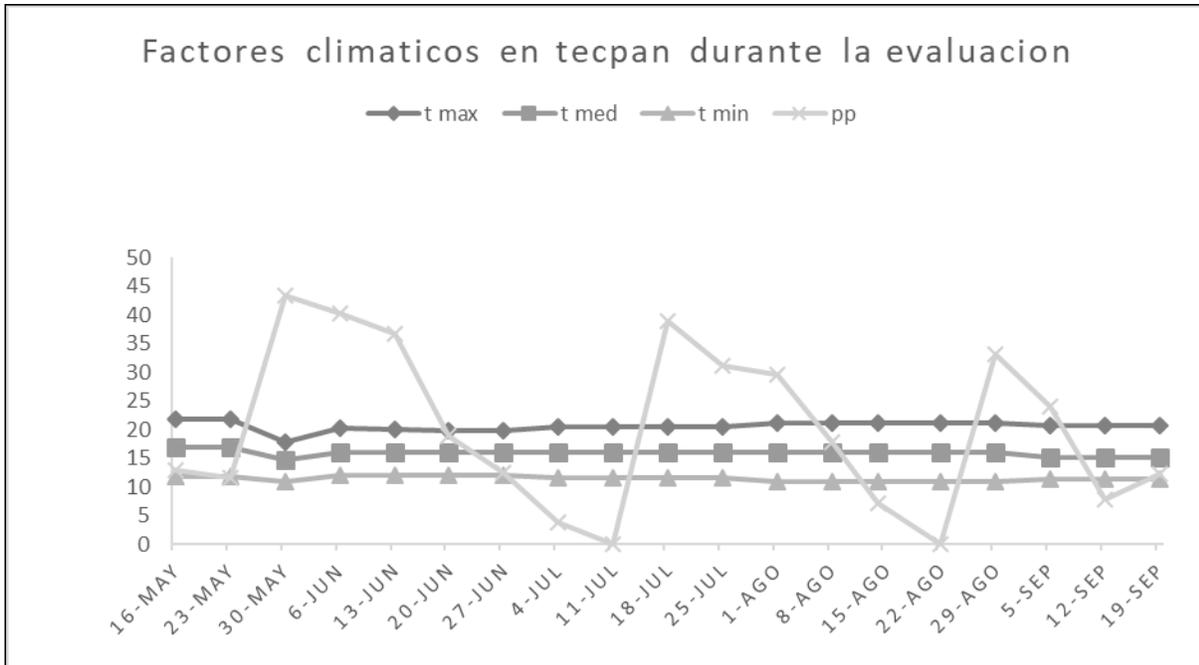


Figura 2. Factores climáticos en Tecpán, Chimaltenango, durante el periodo de muestreos en el cultivo de la papa. 2019.

Tabla 2

Prueba de DCG para ninfas, adultos machos y hembras de Bactericera cockerelli, en el cultivo de papa, por estrato y desarrollo de la plantación. Tecpán, Chimaltenango. 2019

Ninfa	ESTRATO	Medias	n	E.E.		
	Medio	2.14	57	0.43	A	
	Alto	0.55	57	0.43		B
	Bajo	0.00	57	0.43		B
Adulto	ESTRATO	Medias	n	E.E.		
	Alto	3.81	57	1.25	A	
	Medio	3.06	57	1.25	A	
	Bajo	0.10	57	1.25	A	
Macho	ESTRATO	Medias	n	E.E.		
	Alto	1.98	57	0.64	A	
	Medio	1.58	57	0.64	A	
	Bajo	0.07	56	0.64	A	
Hembra	ESTRATO	Medias	n	E.E.		
	Alto	1.80	56	0.65	A	
	Medio	1.51	56	0.65	A	
	Bajo	0.03	56	0.65	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 3

Análisis de Correlación de Pearson para adultos, ninfas, machos y hembras de Bactericera cocckerelli con las variables climáticas en el cultivo de papa, Tecpán, Chimaltenago, 2019

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson p-valor
NINFA	temperatura máxima	171	0.10 0.1840
NINFA	temperatura media	171	-0.08 0.3178
NINFA	temperatura minina	171	-0.23 0.0026
NINFA	precipitación pluvial	171	-0.35 <0.0001
ADULTO	temperatura máxima	171	0.03 0.6737
ADULTO	temperatura media	171	-0.17 0.0277
ADULTO	temperatura minina	171	-0.19 0.0126
ADULTO	precipitación pluvial	171	-0.38 <0.0001
Machos	temperatura máxima	170	0.08 0.3275
Machos	temperatura media	170	-0.12 0.1351
Machos	temperatura minina	170	-0.21 0.0053
Machos	precipitación pluvial	170	-0.46 <0.0001
Hembras	temperatura máxima	168	-0.02 0.8010
Hembras	temperatura media	168	-0.21 0.0064
Hembras	temperatura minina	168	-0.14 0.0621
Hembras	precipitación pluvial	168	-0.21 0.0054

15. Análisis y discusión de resultados

La distribución de las poblaciones de ninfas y adultos de *B. cockerelli*, según los análisis estadísticos realizados, demostraron que las ninfas tienen preferencias por la parte media del cultivo, esto podría deberse a que en esta parte pueden encontrar tejidos jóvenes que faciliten su alimentación, además de encontrarse menos expuestas a las variaciones climáticas, como la precipitación pluvial, así también estar expuestas directamente a los rayos del sol, en el estrato alto de la plantación.

En los adultos, se determinó estadísticamente que estos pueden encontrarse distribuidos en toda la plantación, en campo se observó que son insectos muy activos, característica que los favorece para escapar con facilidad de depredadores o factores ambientales adversos y buscar refugios. Durante las colectas se verificó que los adultos pueden encontrarse tanto en el haz como en el envés de las hojas. En horas del día con temperaturas más altas, los adultos permanecían más tiempo en el envés de las hojas, pudiéndose refugiar de los rayos directos del sol.

Otras investigaciones han reportado la distribución de las poblaciones de ninfas y adultos en el cultivo, donde se determinó que es agregada, donde además se determinó que este comportamiento fue constante (Ramírez, Porcayo-Camargo, & Sánchez, 2013), durante todas las evaluaciones en campo también se estableció en la presente investigación que la distribución de ninfas y adultos en la planta fue constante durante el periodo de muestreo.

Los análisis correlacionales de los factores climáticos demostraron que la temperatura mínima tiene un efecto sobre las poblaciones de *B. cockerelli*, estas oscilaron entre los 11°C y 12°C, las fluctuaciones de la temperatura mínima afectan el tiempo del desarrollo del insecto provocando variantes en los días para completar su ciclo de vida, el cual se ha demostrado que este puede variar de 15 a 30 días, cuando las temperaturas mínimas disminuyen el ciclo de desarrollo de *B. cockerelli* se prolonga (Ramírez Gómez, Santamaria, Méndez Rivera, Ríos Flores, Hernández Salgado & Pedro Méndez, 2008).

Estudios ha demostrado que las poblaciones de *B. cockerelli* pueden adaptarse a climas templados, estas poblaciones pueden migrar por cambios climáticos, como la temperatura, que puedan presentarse en distintas estaciones del año (Cranshaw, 2001). El desarrollo *B. cockerelli* ocurre a aproximadamente 27 °C, mientras que la oviposición, la eclosión y la supervivencia se reducen a 32 °C y se detienen a 35 °C, y una sola generación puede ser completada en 3 a 5 semanas (Abdullah, 2008).

Las temperaturas máximas en la zona de muestreos, en Tecpán fueron entre 20 22 °C, las cuales se encuentran por debajo de los 27 °C, reportados por Abdullah (2008), es muy probable que a temperaturas más altas, pudiera favorecer el desarrollo de *B. cockerelli* y obtener más numerosa a la que fue encontrada en las parcelas de muestreo.

En la proporción sexual de *B. cockerelli*, se capturaron 48% de hembras, del total de especímenes capturados en las parcelas de Tecpán, Chimaltenango. Estos resultados demuestran que esta proporción pudiera a mantenerse constante dentro de un rango, donde las poblaciones de machos serán ligeramente mayor a las poblaciones de las hembras, debido a que otros estudio reportan la proporción sexual 45.5% en campo ubicado en Texas, USA y 48% en condiciones de laboratorio, con temperaturas promedio de 22.8 °C en campo y 26.7 °C en condiciones de laboratorio (Yang, Zhang, Hua, & Liu., 2010). Las condiciones de campo en el área experimental en Tecpán fue de 19 °C. Yang y Liu (2009), también reportan una proporción sexual de *B. cockerelli* de 45.9% de hembras y 54.1% de machos en el cultivo de berenjena y 42.3 % de hembras y 57.7 de machos en Chile. Demostrando en las 3 evaluaciones el mayor porcentaje de machos en la población.

Los muestreos realizados para la captura de *Tamarixia triozae* demostraron la ausencia de parasitoide durante todo el periodo de muestreo en el cultivo de la papa. Son varios los factores que pudieron haber influido en la ausencia de *T. triozae*. En los muestreos en campo se observó un alto uso de plaguicidas en la región productora de hortalizas. El área experimental estaba rodeada de cultivos como repollo, coliflor, brócoli, ejote, arveja china y arveja dulce. Los productores realizaban aplicaciones de plaguicidas en promedio 3 veces por semana. La ausencia de plantas que puedan servir como hospederos o reservorios para enemigos naturales, como

Tamarixia podría contribuir en las colectas de campo, donde se demostró que no se encontraba está en el área de estudio.

16. Conclusiones

La distribución de las poblaciones de adultos de *B. cockerelli* se encuentra principalmente en las etapas vegetativas y reproductivas en los estratos alto, medio y bajo, demostrando ser muy activos pudiéndose desplazar en toda la planta de la papa *S. tuberosum*.

El parasitoide de *B. cockerelli*: *T. triozae* no se encontró en las parcelas de muestreo del cultivo de la papa, poblaciones que pudieron haber sido afectadas por aplicaciones de plaguicidas, enemigos naturales y condiciones climáticas.

La proporción sexual de *B. cockerelli* en el cultivo de la papa *S. tuberosum* fue del 48% de hembras, valores muy parecidos a otros estudios realizados, presentando una reproducción sexual.

17. Impacto esperado

La presente investigación contribuyó a ampliar información en relación a la dinámica poblacional de *B. cockerelli*, su comportamiento en la planta. Los factores climáticos que tienen mayor impacto en el desarrollo de las poblaciones, los cuales fueron la temperatura y precipitación pluvial.

También se aportó información que contribuyen a conocer más acerca de la biología de *B. cockerelli*, como lo es el tipo de reproducción y su proporción sexual.

Asimismo, esta investigación aporta información que puede ser empleada para establecer estrategias para el manejo de la plaga en el cultivo de la papa.

18. Referencias

- Abdullah N. M. 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), 60-67.
- Aldabe, L., & Dogliotti, S. (2006). Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 7(8), 86-93.
- Argueta, R. (2014). Evaluación Cualitativa de la cadena de valor de la papa en Guatemala. Recuperado de: https://www.pronacom.gt/website/biblioteca/biblioteca_2_analisis_situacion_actual_y_diagnostico_papa.pdf
- Bravo, M. E., & López, L. P. (2007). Principales plagas del chile de agua en los valles centrales de Oaxaca. *Agro-produce*, 4, 12-15.
- Barrios-Díaz, B., Alatorre-Rosas, R., Calyecac-Cortero, H. G., & Bautista-Martínez, N. (2004). Identificación y fluctuación poblacional de plagas de col (*Brassica oleracea* var. capitata) y sus enemigos naturales en Acatzingo, Puebla. *Agrociencia* 38, 239-248.
- Becerra A., F. (1989). *Biología de Paratrioza cockerelli (Sulc.) y su relación con la enfermedad "Permanente del tomate" en el Bajío* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Berry, N. A., Walker, M. K., & Butler, R. C. (2009). Laboratory studies to determine the efficacy of selected insecticides on tomato/potato psyllid. *New Zealand Plant Protection*, 62, 145-151.

- Blagrove, M. S., Arias-Goeta, C., Failloux, A. B., Sinkins, S. P. (2012). *Wolbachia* strain wMel induces cytoplasmic incompatibility and blocks dengue transmission in *Aedes albopictus*. *Proc Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*, 255–260. doi: 10.1073/pnas.1112021108
- Buchman J. L., Sengoda V. G., & Munyaneza J. E. (2011). Vector transmission efficiency of liberibacter by *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in zebra chip potato disease: effects of psyllid life stage and inoculation access period. *Journal Economic Entomology*, *104*(5), 1486-95.
- Burger, J. M. S., Komany, A., Van, L. J. C., & Vet, L. E. M. (2005). Importance of host feeding for parasitoids that attack ho-neydew-producing hosts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *117*(2), 147-154.
- Bujanus, R., & Ramos, C. (2015). El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. Corporación editorial Tauro. El Salvador.
- Burckhard, D., & Lauterer, P. (1997) A taxonomic assessment of the trioziid genus *Bactericera* (Hemiptera: Psylloidea). *Journal of Natural History*, *31*(1), 99-153.
doi: 10.1080/00222939700770081
- Castro, U., Morales, A., & Peck, D.C. (2005). Dinámica Poblacional y Fenología del Salivazo de los Pastos *Zulia carbonaria* (Lallemand) (Homoptera: Cercopidae) en el Valle Geográficodel Río Cauca, Colombia. *Neotropical Entomology* *34*(3), 459-470.

Chávez, G., & Ramírez, A. (2013). Manual para la producción de semilla certificada de papa.

Recuperado de: <http://repiica.iica.int/docs/B3943e/b3943e.pdf>

Contreras, M. (2009). Ecofisiología del rendimiento de la planta de papa. Facultad de Ciencias

Agrarias de la Universidad Austral de Chile. Recuperado de

<http://www.argenpapa.com.ar/default.asp?id=679>.

Contreras-Rendón, A., Gutiérrez-Ibáñez, A. T., Sánchez-Pale, J. R., Silva-Rojas, H. V., &

Laguna-Cerda, A. (2017). Comportamiento espacial de Zebra chip y *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L. en valles altos de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 49(1), 175-184.

Cranshaw, W.S. (2001). Diseases caused by insect toxin: Psyllid yellows, pp. 73–74. In

Compendium of potato diseases (2nd Ed.), ed. W.R. Stevenson, R. Loria, G.D. Franc, and D.P. Weingartner. St. Paul: APS.

Crespo-Herrera, A. L., Vera-Graniziano, J., Bravo-Mojica, H., López-Collado, J., Reyna-

Robles, A., Peña-Lomeli, V. M., ... Garza-García, R. (2012) Distribución espacial de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* (Brot.). *Agrociencia*, 46(3), 289-298.

Crosslin, J. M., Munyaneza, J. E., Brown, J. K., & Liefting L. W. (2010). Potato

Zebra Chip Disease: A Phytopathological Tale. Recuperado de:

<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/review/2010/Zebra/Zebra.pdf>

European and Mediterranean Plant Protection Organization, (2014). *Bactericera cockerelli*

(PARZCO). Recuperado de <https://gd.eppo.int/taxon/PARZCO>

Garzón, T. J. A. (1984). Enfermedad del permanente del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Celaya, Guanajuato. *Agrociencia*, 4(2) 14-25.

Garzón-Tiznado, J.A., Cárdenas-Valenzuela, O. G., Bujanos-Muñiz, R., Marín-Jarillo, A., Becerra-Flora, A., Velarde-Felix, S., Reyes-Moreno, C., ... & 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.

Goolsby, J. A., Adamczyk, J. J., Crosslin, J. M., Troxclair, N. N., Anciso, J. R., Bester, G. G., ... Zens, B. A. (2012). Seasonal Population Dynamics of the Potato Psyllid (Hemiptera: Triozidae) and Its Associated Pathogen “*Candidatus Liberibacter solanacearum*” in Potatoes in the Southern Great Plains of North America. *Journal of Economic Entomology*, 105(4), 1268–1276. doi: 10.1603/EC11435

Guédot, C., Horton, D. R., & Landolt, P. J. (2010). Sex attraction in *Bactericera cockerelli* (Hemiptera:Triozidae). *Environmental Entomology*, 39(4), 1302–1308. doi: 10.1603/EN10048

Hodkinson I. D. (2006). Facultative parthenogenesis in *Cacopsylla myrtilli* (Wagner) (Hemiptera: Psylloidea) in northern Sweden: possible explanations for the occurrence of males. *Entomologisk Tidskrift*, 127, 157-160.

Instituto Geográfico Nacional. (1976). Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala, Guatemala. Tipografía Nacional.

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) e Incidencia del “Permanente del Tomate” en Diferentes Condiciones de Producción del Tomate. *Southwestern Entomologist*, 41(4), 1085-1094. doi : 10.3958/059.041.0408

Labina, E.S., Nokkala, S., Maryañska-Nadachowska, A., & Kuznetsova, V.G. (2009). The Distribution and Population Sex Ratio of *Cacopsylla myrtilli* (W. Wagner, 1947) (Hemiptera: Psylloidea). *Folia biologica (Kraków)*, 57(3-4), 157-163. doi:10.3409/fb57

Liefting, L. W; Perez-Egusquiza, Z. C; Clover, G. R. G; & Anderson, D. A. D. (2008). A New ‘*Candidatus Liberibacter*’ species in *Solanum tuberosum* in New Zealand. *Plant Disease*, 92(10), 1474-1484. doi:10.1094/PDIS-92-10-1474A

Liu, D., & Trumble, J. T. (2006). Ovipositional preferences, damage thresholds, and detection of the tomato–potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) on selected tomato accessions. *Bulletin of Entomological Research*, 96, 197–204. doi: 10.1079/BER2005416

Marín, J. A., Garzón, T. J. A., Becerra, F. A., Mejía, A. C., Bujanos, M. R., & Byerly, M. K. F. (1995). “Ciclo biológico y morfología del salerillo *Paratrioza cockerelli* (Sulc.) (Homoptera: Psyllidae) vector de la enfermedad permanente del jitomate en el Bajío”. *Revista Manejo Integrado de Plagas*, 38, 25-32.

Martin, N.A. (2008). Host plants of the potato/tomato psyllid: a cautionary tale. *The Weta*, 35, 12-16.

Martínez, A., Chavarrieta, J., Morales, S., Caudillo, I., Figueroa, J., Diaz, O., Bujanos, R., Gomez, B., Viñuela, E., & Pineda, S. (2015). Behavior of *Tamarixia triozae* Females (Hymenoptera: Eulophidae) Attacking *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) and Effects of Three Pesticides on This Parasitoid. *Environmental Entomology* 44(1), 3–11 doi: 10.1093/ee/nvu01

Municipalidad de Tecpán. (2019). Tecpán. Recuperado de: <http://www.munitecpan.gob.gt/>

- Munyanza, 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 doi: 10.1603/0022-0493
- Munyanza, J. E., Buchman, J.L., Sengoda, U.V., Goolsby, J.A., Ochoa, A.P., Trevino, J., & Schuster, G. (2012). Impact of Potato Planting Time on Incidence of Potato Zebra Chip Disease in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Southwestern Entomologist*, 37(3), 253-262. doi: 10.3958/059.037.0301
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). La Papa. Un Alimento con tradición, nutrición y sabor. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-ax527s.pdf>
- Porras González, A.C., Jiménez Jiménez, S. F., Figueroa, I., Santos, M., & Sistachs Vega, V. (2007) Modelo Predictivo de los cambios poblacionales de *Thrips Tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) en el Cultivo de la cebolla (*Allium Cepa* L.) en Cuba, *Fitosanidad*, 11(4), 17- 21.
- Ramírez, J. F., Porcayo-Camargo, E., & Sánchez, J. R. (2013). Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc. (Homoptera: Triozidae) en *Solanum tuberosum* L. (Solanales: Solanaceae). *Revista de la Facultad de Uncuyo*, 45(2), 13-27.
- Ramírez Gómez, M. Santamaria C. E., Méndez Rivera, J. S., Ríos Flores, J. L., Hernández Salgado, J. R., & Pedro Méndez, J. G. (2008). Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratrioza (*Bactericera cockerelli* B.y L.) (Homoptera: Triozidae) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7(1), 47-56.

- Ramírez Dávila, J.F., & Figueroa Figueroa, D.K. (2013). Modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en papa en el estado de México. *Centro Agrícola*, 40(3), 57-70.
- Rivas Platero, G.G. (2015). Cambio Climático y plagas agrícolas. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/278410790>
- Rojas, P., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J. R., & Liu, T. (2015). Biology and life history of *Tamarixia triozae*, a parasitoid of the potato psyllid *Bactericera cockerelli*. *BioControl*, 30(1), 27-35.
- Rossi, P., Ricci, I., Cappelli, A., Damiani, C., Ulissi, U., Mancini, M.V.,... Favia, G. (2015). Mutual exclusion of *Asaia* and *Wolbachia* in the reproductive organs of mosquito vectors. *Parasites & Vectors*, 8, 1–10. doi: 10.1186/s13071-015-0888-0.
- Sawyers-Kenton, R., Sawyers-Kenton, R., & Pinto-Tomas, A. (2017). Papel de la bacteria endosimbionte *Wolbachia* en el control de enfermedades vectoriales: dengue, zika y chikunkunya. *Acta Médica Costarricense*, 59(4), 130-133.
- Secor G. A., & Rivera V. V. (2004). “Emerging diseases of cultivated potato and their impact in Latin America”. *Revista Latinoamericana papa*, 1, 1-8.
- Secor, G. A., Lee, I.–M., Bottner, K. D., Rivera–Varas, V., & Gudmestad, N. C. (2006). First report of a defect of processing potatoes in Texas and Nebraska associated with new phytoplasma. *Plant Disease*, 90(3), 377-386. doi: 10.1094/PD-90-0377B
- Serbus, L.R., Casper-Lindley, C., Landmann, F., Sullivan W. (2008). The genetics and cell biology of *Wolbachia*-host interactions. *Annual Review of Genetics*, 42, 683–707. doi: 10.1146/annurev.genet.41.110306.130354.

- Vega, G. M. T., Rodríguez, J. C., Díaz, O., Bújanos, R., Mota, D., Martínez, J. L., Lagunes, A., & Garzón, J. A. (2008). Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones mexicanas del salerillo, *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae). *Agrociencia*, 42, 463-471.
- Wen, A., Mallik, I., Alvarado, V. Y., Pasche, J. S., Wang, X., Li, W., Levy, L., ... Gudmestad, N.C. (2009). Detection, distribution, and genetic variability of 'Candidatus Liberibacter' species associated with zebra complex disease of potato in North America. *Plant Disease*, 93, 1102-1115.
- Werren, J. H., & Windsor, D. M. (2001). *Wolbachia* infection frequencies in insects: evidence of a global equilibrium?. *Proceedings: Biological Sciences*, 267, 1277-1285. doi: 10.1098/rspb.2000.1139
- Yang, X-B., Zhang, Y-M., Hua, L., & Liu, T-X. (2010). Life History and Life Tables of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae) on Potato Under Laboratory and Field Conditions in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Journal of Economic Entomology* 103(5), 1729-1734. doi: 10.1603/EC10083
- Yang, X., & Liu, T. (2009). Life history and life tables of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) on Eggplant and bell Pepper, *Environmental Entomology*, 38(6), 1661-1667. doi: 10.1603/022.038.0619
- Yefremova, Z., González-Santarosa, G., Lomeli-Flores, J. R., & Bautista-Martínez, N. (2014). New species of *Tamarixia Mercet* (Hymenoptera, Eulophidae), parasitoid of *Trioza aguacate* Hollis & Martin (Hemiptera, Triozidae) in Mexico. *ZooKeys*, 368, 23-35. doi: 10.3897/zookeys.368.6468
- Zabalou, S., Riegler, M., Theodorakopoulou, M., Stauffer, C., Savakis, C., & Bourtzis, K. (2004).

Wolbachia-induced cytoplasmic incompatibility as a means for insect pest population control. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(42), 15042-15045. doi: 10.1073/pnas.0403853101

Zamora-Mejías, D., & Hanson, P.E. (2017). Clave dicotómica para especies parasitoides e hiperparasitoides (Hymenoptera) de áfidos (Hemiptera: Aphididae) de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 565-575. doi:10.15517/ma.v28i3.24640

Zhou, W.G., Rousset, F., & O'Neill, S.L. (1998). Phylogeny and PCR-based classification of *Wolbachia* strains using wsp gene sequences. *Proceedings of the Royal Society B*, 265, 509-515.

Zuparko, R. L., De Queiroz, D.L., & La Salle, J. (2011). Two new species of *Tamarixia* (Hymenoptera: Eulophidae) from Chile and Australia, established as biological control agents of invasive psyllids (Hemiptera: Calophyidae, Triozidae) in California. *Zootaxa*, 2921, 13–27.

19. Apéndice



Figura 3. Muestreo en las parcelas del proyecto en el cultivo de la papa, Tecpán, Chimaltenango, 2019.



Figura 4. Parcelas del proyecto de las plantaciones del cultivo de la papa en Tecpán, Chimaltenango, 2019.



Figura 5. Trampas de plantas amarillos para el monitoreo y captura de *Tamarixia triozae* en el cultivo de la papa. Tecpán, Chimaltenango, 2019.



Figura 6. Ninfa y adultos de *B. cockerelli* colectados en las parcelas experimentales del cultivo de la papa, Tecpán Chimaltenango, 2019.

Listado de los integrantes del equipo de investigación

Contratados por contraparte y colaboradores

Nombre	Firma

Contratados por la Dirección General de Investigación

Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			SI	NO	
Claudia E. Toledo P.	coordinadora	20000273	x		

Guatemala 27 de noviembre de 2019.

Nombre y firma
Coordinadora del proyecto de investigación
M.Sc. Claudia Elizabeth Toledo Perdomo

Nombre y firma
Coordinador del Programa Ciencias Básicas
Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar

Nombre y firma
Coordinador General de Programas
Ing. Agr. MARN. Julio Rufino Salazar

Guatemala, 27 de noviembre, 2019

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director

Adjunto a la presente el informe final “**Factores que afectan la proporción sexual y comportamiento poblacional de *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae)**” con partida presupuestal 4.8.63.4.50, coordinado por la MSc Claudia Elizabeth Toledo Perdomo y avalado por el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Asimismo, la coordinadora del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por Digi del **informe final y del manuscrito científico**. El manuscrito científico debe enviarse, por la coordinadora del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”

M.Sc. Claudia Elizabeth Toledo Perdomo
Coordinadora del proyecto de investigación

Ing. Agr. Carlos López Búcaro
Director del Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA)
Facultad de Agronomía