



Cría Occidente
Cadena de Papa
Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc)., y
presencia de *Candidatus liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Msc. Ing. Erick Josué Vásquez Calderón
Ing. William Alberto Villatoro Palacios

Quetzaltenango, diciembre de 2019

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de su(s) autor(es) y de la institución(es) a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan

Siglas y Acrónimos

ADN = Ácido desoxiribonucleico

CaLso = Candidatus Liberibacter solanacearum

Lso = Liberibacter solanacearum

16S rRNA = Componente de la subunidad menor (30S) de los ribosomas procariotas que se une a la secuencia de Shine-Dalgarno. Los genes que lo codifican son conocidos como genes del ARNr 16S, y se utilizan para la reconstrucción de filogenias debido a sus bajas tasas de evolución.

PCR = Reacción en cadena de la polimerasa

MAGA = Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación

CUNOC = Centro Universitario de Occidente

VISAR = Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones

CRIA = Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria

LDF = Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario

Contenido

No.	CONTENIDO	PÁGINA
1	Introducción	1
2	Marco teórico	3
3	Objetivos	16
4	Metodología	17
5	Resultados	32
6	Discusión de resultados	55
7	Conclusiones	65
8	Recomendaciones	66
9	Referencia bibliográfica	67
10	Anexos	73

Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc), y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Msc. Erick Josué Vásquez Calderón¹
Ing. Wiliam Alberto Villatoro Palacios²
Msc. MV. Karina Reyna Peñate³

1. Investigador Principal, -Epidemiólogo Vegetal, VISAR-
2. Investigador Asociado, -Catedrático del CUNOC-
3. Investigador Asociado, -Epidemiólogo Animal, VISAR-

Resumen/ Abstract

El objetivo del presente estudio es establecer patrones de comportamiento y distribución de *Bactericera cockerelli* (Sulc), y *Candidatus Liberibacter solanacearum*, con la aplicación de herramientas GIS y PCR, durante la fenología del cultivo en los municipios priorizados por el CRIA durante la época de invierno y verano. La estacionalidad del vector *Bactericera cockerelli* (Sulc), establece su preferencia en época de verano, incrementando sus poblaciones de invierno a verano en machos 46%, de hembras 54%, de huevos 80% y de ninfas en un 81%. Los psílicos adultos tienen una preferencia por ubicarse en el estrato alto de la planta, mostraron este comportamiento en todos los municipios, en temperaturas promedio de 16.8 °C y con humedad relativa de promedio de 64%. La oviposición que hace el psílido de la papa tiene una relación estrecha con el estrato de la planta, encontrándose que hubo diferencia significativa entre estratos de la planta, obteniendo un valor de P de <0.0001, estos son los estratos alto y medio los que predominan para la postura de huevos tanto en época de invierno como en verano. Los adultos de *Bactericera cockerelli* (Sulc), tienen una preferencia en los estratos alto y medio de las plantas, encontrándose un valor de P de < 0.0001. En la variable dispersión los patrones de disposición en agregado pudieron originarse debido a que 1) los individuos de la plaga lograron ocupar los sitios de oviposición y apareamiento ya que, el agrupamiento de individuos se puede generar por una característica de su comportamiento, 2) por la presencia de gradientes en la densidad de la plaga, o, 3) por un ambiente heterogéneo que propicia el agrupamiento de individuos para explotar los sitios óptimos para su supervivencia.

Abstract

The objective of the study is to establish patterns of behavior and distribution of *Bactericera cockerelli* (Sulc) and *Candidatus Liberibacter solanacearum*, using the application of GIS and PCR, for crop phenology in the prioritized areas by the CRIA in the winter and summer seasons. The seasonality of the vector *Bactericera cockerelli* (Sulc), establishes a preference for the summer season, increasing populations in summer in males 46%, females 54%, eggs 80% and nymphs 81%. Adult psyllids prefer the upper stratum of the plant, and they showed this behavior in all regions, with highest incidence at average temperatures of 16.8 ° C and with an average relative humidity of 64%. The oviposition made by the potato psyllid has a close interaction with the plant stratum, with a significant difference between plant strata, obtaining a P value of <0.0001. The upper and middle strata predominate. For the laying of eggs both in winter and in summer, the adults of *Bactericera cockerelli* (Sulc), prefer the upper and middle strata of the plants, demonstrating a P value of <0.0001. In the dispersion variable, aggregate disposition patterns were noted and could be a product of one of the following: 1) individual pests occupied the oviposition and mating sites since, the grouping of individuals can be generated by a characteristic of their behavior, 2) the presence of gradients in the pest density, or 3) by a heterogeneous environment that favors the grouping of individuals to exploit optimal sites for their survival.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la papa es uno de los cuatro cultivos alimenticios más importantes a nivel mundial, ocupa según datos de FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), el cuarto lugar después de los cereales, trigo, arroz y maíz. La producción de papa en los últimos años ha ido en aumento y la tendencia según varios estudios en el tema es que los países en desarrollo serán los proveedores de este cultivo. Se estima que para el año 2020 el cultivo de papa tenga un crecimiento anual promedio de 2.7% según el Centro Internacional de la Papa –CIP-. (1)

Entre los mayores exportadores de papa figuran el Norte de África; en América Latina los mayores importadores de papa son Brasil, Venezuela, México y Cuba, y los principales exportadores son Argentina, Colombia y Guatemala. (1)

Aunque a nivel de mercados internacionales la producción de papa guatemalteca es prácticamente insignificante por su bajo volumen, en el plano nacional reviste gran importancia, por el papel dinámico que juega en la economía de las familias y municipios productores. (2)

El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá –INCAP-, indica que el 77.9% de la población guatemalteca consume regularmente este vegetal, siendo en la región, del altiplano occidental donde el consumo es mayor, con un valor aproximado promedio de 29 gr/día, agregando a esto que es la zona con mayor riesgo de inseguridad alimentaria. (2)

Desde el punto de vista económico este cultivo representa para los agricultores una fuente importante de ingresos y de empleo especialmente en áreas del altiplano de Guatemala que registran los mayores niveles de pobreza y desempleo; el empleo generado por el sector de la papa es del 59% de los jornales generando aproximadamente 9,400 empleos directos en el componente agrícola. (3)

El cultivo de la papa ha sufrido grandes pérdidas causadas por plagas, siendo una de las principales la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*; muchas investigaciones refieren que esta bacteria es transmitida por el psílido *Bactericera cockerelli* (Sulc), insecto ampliamente distribuido en la mayoría de las zonas agrícolas. La enfermedad está diseminada en las zonas productoras de papa de Estados Unidos, México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y Nueva Zelanda, causando pérdidas grandes tanto en rendimiento como en calidad. (4)

Los estudios realizados sobre esta plaga en Guatemala han estado enfocados en determinar la presencia o ausencia tanto del vector *Bactericera cockerelli* (Sulc) por métodos de captura, y de la bacteria en plantas con sintomatología *Candidatus Liberibacter solanacearum*, a través de pruebas moleculares como PCR (Reacción en Cadena de la

Polimerasa). Esto ha sido de beneficio para establecer algunas medidas de control, sin embargo, no se conoce aún cómo es el comportamiento del vector en el país. (3,5)

Para el control de esta plaga se invierten una gran cantidad de recursos económicos, pero en la mayor parte de los casos no son efectivos principalmente porque no se conoce la distribución espacial, la biología y los hábitos de la plaga, mecanismos de acción de los insectos o bien, por una deficiente técnica de aplicación, lo que trae como consecuencia que los productores dedicados a esta actividad disminuyan considerablemente la superficie sembrada. El desconocimiento de la distribución espacial ha provocado un uso excesivo de plaguicidas y a consecuencia de ello se ha detectado resistencia de la plaga a los mismos. (5)

El básico manejo integrado de plagas que se le ha dado al control de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), ha consistido en evaluar diferentes productos y dosis, control de insecticidas en los diferentes estadios ninfales y en el estado adulto del insecto; así como realizar siembras tempranas para reducir el daño ocasionado por Zebra Chip. Sin embargo, estas acciones no son suficientes para poder controlar al psílido debido a que la oviposición de este es muy alta. (6)

Es importante considerar que no existen variedades resistentes a dicha plaga por lo que la estrategia principal que le dan los agricultores es hacer uso indiscriminado de plaguicidas que va de productor a productor, apoyándose únicamente en la frecuencia de insecticidas para tratar de reducir el número de insectos.

Generalmente existe muy poca rotación de plaguicidas, arriesgando que estas prácticas sean nocivas para los cultivos, creen resistencia a plagas y contaminen el ambiente con la frecuencia indiscriminada. Por eso la importancia de conocer el comportamiento y la distribución del psílido, para cambiar estas actividades tradicionales por acciones más inteligentes y sustentables, poniendo en perspectiva un enfoque ecológico, ambiental y epidemiológico.

Es necesario que el rango de dispersión y comportamiento de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), y los factores climáticos, fenología del cultivo (estructura de la planta/follaje), entre otros, que impactan en el movimiento de éste, sean identificados y cuantificados porque se carece de información directamente que se haya realizado dentro de la plantación en las diferentes edades del cultivo. Esto también favorece la detección, dispersión y progresión de la enfermedad.

Existen muchas metodologías y herramientas para poder entender el comportamiento de este insecto, aunque es considerado un reto por la dificultad que estudios de ese tipo representan: el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica – GIS - y la aplicación de la geoestadística, ha supuesto un nuevo impulso al análisis de la distribución espacial aplicada a la ecología y a las ciencias ambientales. (7)

Conocer la distribución espacial de la plaga en la zona productiva del cultivo, permite realizar controles localizados de acuerdo con la presencia de la plaga. Los controles localizados tendrían un bajo impacto ambiental y optimizarían el uso de recursos. Además de hacer proyecciones de riesgo en relación con la plaga. (8)

Esta enfermedad si no se controla, puede causar pérdidas millonarias y de desnutrición en el mundo, sobre todo en Guatemala. Los resultados de este estudio son una contribución importante y valiosa en la producción papera, ya que permitió identificar la distribución espacial de los diferentes estadios de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en el cultivo de papa del departamento de Quetzaltenango, siendo ahora un patrón para la producción en el Altiplano de Guatemala. Se espera que con los resultados de este estudio se apliquen en el futuro métodos geotecnológicos para hacer aplicaciones precisas de plaguicidas, reduciendo su uso en al menos un 35%, lo cual viene a promover el desarrollo de una agricultura climáticamente inteligente, incrementar la eficiencia de prácticas agrícolas, conservación de los enemigos naturales de las plagas y evitar que la plaga que se quiere controlar no adquiera resistencia tan rápido a los insecticidas que se utilizan. (8)

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación teórica

La teoría de la causalidad impera en este estudio principalmente en la búsqueda desmedida del riesgo del ingreso y distribución de *Bactericera cockerelli* (Sulc); por lo que su enfoque epidemiológico nos permitirá estudiar los patrones de distribución y factores que influyen en el comportamiento de este insecto.

El estudio está gestado bajo el diseño múltiple. Es un estudio transeccional, exploratorio, descriptivo y correlacional causal. Esto permitirá conocer un conjunto de variables que mostrará la presencia de *Bactericera cockerelli* (Sulc), la incidencia de las modalidades de este insecto; y estableciendo relaciones entre variables ambientales y comportamiento de este para la detección de *Candidatus Liberibacter solanacearum*.

2.2 Marco Referencial

2.2.1 La Papa:

La papa es un alimento estratégico para la seguridad alimentaria del mundo por su alto contenido nutricional, virtualmente libre de grasa, con valores mínimos de azúcares solubles y frente a otras fuentes ricas en almidón, aporta pocas calorías a la dieta. De la misma manera, por su amplia diversidad genética, es un alimento versátil para múltiples preparaciones culinarias y usos industriales. (9)

Este cultivo es muy eficiente en la conversión de los factores agroecológicos (luminosidad, agua, nutrientes) y se adapta a diferentes condiciones ambientales y sistemas productivos. Así mismo, la papa es utilizada en la alimentación de animales y como materia prima de diversos procesos industriales. (9)

1.2.2 Clasificación Taxonómica de la papa

División	Clase	Subclase	Orden	Familia	Género	Especie
Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asteridae	Solanales	Solanaceae	Solanum	Solanum tuberosum L.

1.2.3 Biología de la papa

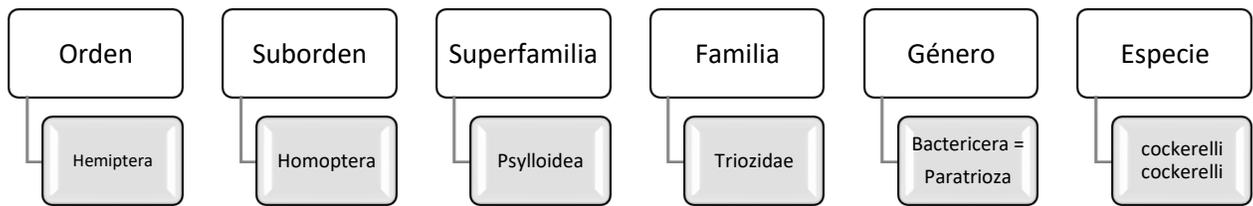
Es una planta herbácea que tiene una altura variable entre 0.5 y 1 metro, que presenta tubérculos, los cuales se desarrollan al final de los estolones (tallos subterráneos) que nacen del tallo principal. Los tallos aéreos son de sección angular, entre las axilas de las hojas y los tallos se forman ramificaciones secundarias. (9)

Las raíces se desarrollan en verticilo, en los nudos del tallo principal. Las hojas son compuestas, alternas, igual que los estolones. La inflorescencia es cimosa; las flores son hermafroditas, tetracíclicas, pentámeras; la corola es rotácea pentalobulada del color blanco, amarillas, azules, rojizas, púrpura, con 5 estambres. (9)

1.2.4 Bactericera o Pulgón Saltador

El pulgón saltador o *Bactericera cockerelli* (Sulc), es un insecto chupador. Los adultos son muy pequeños y van del color ámbar al café oscuro o negro, con alas transparentes. Quienes no los conocen podrían confundirlos con pulgones, sin embargo, estos carecen de los cornículos. (10)

Su clasificación taxonómica es:



2.2.5 Ciclo Biológico de *Bactericera cockerelli* (Sulc).

Huevecillos:

De forma ovoide, de color anaranjado-amarillento, color brillante, presentan en uno de sus extremos un pequeño filamento, con el cual se adhieren a la superficie de las hojas depositados por separado, principalmente en el envés de la hoja y por lo general cerca del borde de esta. (11)

Estadios ninfales:

Presenta cinco estadios con forma oval, aplanados dorsoventralmente, con ojos bien definidos. Las antenas presentan sensilias placoides (estructuras circulares con función olfatoria), las cuales aumentan en número y son más notorias conforme el insecto alcanza los diferentes estadios. El perímetro del cuerpo presenta estructuras cilíndricas que contienen filamentos cerosos, los cuales forman un halo alrededor del cuerpo. (11)

Adulto:

Al emerger el adulto presenta una coloración verde-amarillento; es inactivo y de alas blancas que al paso de 3 o 4 horas se tornan transparentes (se conoce como adulto teneral). La coloración del cuerpo pasa de ligeramente ámbar a café oscuro o negro; este cambio se presenta en los primeros 7 a 10 días de alcanzar este estadio (se tienen datos que la coloración cambia cuando el adulto se aparea. Cabeza: 1/10 del largo del cuerpo, con una mancha de color café que marca la división con el tórax, ojos grandes de color café y antenas filiformes. Tórax: blanco amarillento con manchas café bien definidas, la longitud de las alas es aproximadamente 1.5 veces el largo del cuerpo, venación propia de la familia. (11)

Adulto Hembra:

Abdomen con cinco segmentos visibles más el segmento genital, este es de forma cónica en vista lateral, en la parte media dorsal se presenta una mancha en forma de “Y” con los brazos hacia la parte terminal del abdomen.

La hembra adulta suele ser capaz de depositar un huevo en un minuto o dos, pero a veces la hembra parece tener dificultades en la oviposición, por lo que el tiempo requerido puede ser de cinco o más minutos. Los huevos que no son fértiles no desarrollan ninfas y no salen del cascarón, se secan. La hembra del psílido puede depositar 500 huevos durante su ciclo de vida. (11)

Adulto Macho:

Con seis segmentos visibles más el genital, este último segmento se encuentra plegado sobre la parte media dorsal del abdomen; al ver este insecto dorsalmente se distinguen los genitales con estructuras en forma de pinza que caracteriza a este sexo. (11)

Ciclo de vida:

La información sobre el ciclo de vida de *Bactericera cockerelli* (Sulc), el número de generaciones, probablemente dependen de factores climáticos, en condiciones artificiales, por año llegan hasta 11 generaciones traslapadas. (12)

Abdullah (2008), determinó el ciclo de vida completo de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en 34 días, a 26 a 27 °C y 60 a 70% de humedad, con fecundidad de la hembra de 231 huevos, siendo el período de preoviposición de 5 a 8 días, el período de incubación para la etapa de huevo de 6 a 8 días y el período ninfal de 19 a 23 días, en tomate bajo invernadero comercial. (12)

El período de desarrollo oscila entre los 25 – 33 días, con un promedio de 28 días. El período de pre-apareamiento es de 4.20 días, con un rango de 3.80 a 5 días. El período de incubación para los huevos es de 6.70 días, con un rango de 5.70 – 8.2 días. El período ninfal es de 21.9, con un rango de 19.1 – 23.8 días. (12)

Las hembras exhiben una fecundidad moderada, 231.80 huevos por hembra, con un rango de 184 a 258 huevos por hembra.

La longevidad de las hembras separadas de los machos es mayor que la de los machos, 48.70 y 22.00 días respectivamente. (12)

1.2.5 Tamaño del insecto

Cuadro 1. Tamaño de *Bactericera cockerelli* (Sulc). En sus diferentes estadios.

ESTADOS DE DESARROLLO	LARGO MM	ANCHO MM
HUEVO	0.32 - 0.34	0.18
NINFA		
1	0.40	0.21
2	0.52	0.33
3	0.80	0.48
4	1.18	0.75
5	1.65	1.23
ADULTO	2.8 – 2.9 (machos); 2.8 – 3.2 (hembras)	

Fuente: 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.

2.2.7 Temperatura y desarrollo

El rango óptimo de temperatura es de 21-27°C, temperatura arriba de 32°C es perjudicial para *Bactericera cockerelli* (Sulc), porque reduce la puesta de huevos y la eclosión, 27 °C es la temperatura óptima para el psílido. (11)

2.2.8 Biología del insecto

Las ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulc), toman normalmente una posición debajo de las hojas en las plantas donde el follaje es denso, pero unas cuantas pueden ser encontradas por el haz; su cuerpo es plano como escamas y su color verde dificulta observarlas; cuando están jóvenes se localizan cerca del sitio donde fueron depositados los huevecillos y permanecen inactivas durante los primeros instares. Este insecto generalmente deposita sus huevecillos por el envés y bordes de las hojas, pero si la incidencia es muy alta, también lo hace en las flores. Una hembra madura puede poner en promedio 500 huevos en un período de 21 días, aunque se tienen datos que llegan a ovipositar hasta 1,500 en su ciclo de vida. (11)

2.2.9 Hospedantes

Los hospedantes principales de *Bactericera cockerelli* (Sulc), son de la familia de las solanáceas tanto cultivadas como silvestres, entre ellas están las especies cultivadas más importante como papa (*Solanum tuberosum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), chile (*Capsicum annum* L.), tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), tabaco (*Nicotiana tabacum*), berenjena (*Solanum melongena* L.), en las silvestres se encuentra la campanita común (*Datura stramonium* L.), hierba mora (*Solanum nigrum* L.). (11)

2.2.10 Daños causados por *Bactericera cockerelli* (Sulc).

El daño que ocasiona *Bactericera cockerelli* (Sulc), se asocia a la enfermedad de punta morada de la papa, permanente del tomate, amarillamiento por psílicos, Zebra Chip y por último fitoplasmas, por lo tanto se menciona que este psílido causa daños directos sobre las plantas hospedantes como extracción de savia, inyección de toxinas por la alimentación de las ninfas, y la secreción de mielecilla y en consecuencia el crecimiento de hongos (fumaginas) los cuales obstruyen el proceso de fotosíntesis, sin embargo, la importancia de los daños indirectos se debe a la transmisión de procariotes y fitoplasmas. (11)

2.2.11 Candidatus *Liberibacter solanacearum*-CaLso-

Taxonomía Candidatus *Liberibacter solanacearum* – CaLso –

Dominio	Phyllum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Bacteria	Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Rhizobiales	Phyllobacteriaceae	Candidatus <i>Liberibacter</i>	Candidatus <i>Liberibacter Solanacearum</i>

2.2.12 Descripción de CaLso

La bacteria fue secuenciada usando pares de primers de la región variable espaciadora intergénica 16S-23S rRNAs de tejido de plantas infectadas. Estas secuencias fueron posteriormente depositadas en GenBank, la bacteria se nombró *Candidatus Liberibacter psyllauros* y es una α -proteobacteria gramnegativa no cultivable que está asociada con el tejido del floema de las plantas. La infección de CaLso puede ocurrir con todas las etapas del ciclo biológico de *Bactericera cockerelli* (Sulc), aunque puede variar con los huevos que muestran una frecuencia de un 15 a 47 % la infección, lo que sugiere la transmisión transovárica de *Candidatus Liberibacter Psyllauros*. (9, 11)

Cinco haplotipos de CaLso han sido descubiertos en diferentes continentes. Dos haplotipos (A y B) están asociados con enfermedades causados por la bacteria en papas y otros tipos de solanáceas. Mientras que los otros tres haplotipos (C, D y E) están asociados con zanahorias. Los haplotipos fueron descritos por polimorfismos de nucleótidos únicos (SNPs) en el par 16 s rRNA, 16 s/23 s ISR y 50s rplJ y rplL genes de la proteína del ribosoma. (12)

Estos polimorfismos de nucleótidos únicos se heredan como un paquete a través de los tres genes. El haplotipo A ha sido encontrado preliminarmente en Honduras y Guatemala a través del Oeste de México pasando Arizona, California, Oregón, Washington y Oregón y en Nueva Zelanda. El haplotipo B se ha encontrado en el Este de México hacia el Norte de Texas y el centro de Estados Unidos. Estos dos haplotipos muestran un traslape en Texas, Kansas y Nebraska. El haplotipo C está asociado con zanahoria y *Trioxa apicalis* ha sido encontrado en Finlandia, Suecia y Noruega. Haplotipos D y E fueron recientemente encontrados en zanahorias infectadas y el psílido *Bactericera trigonica* fue identificado en España, Islas Canarias y Marruecos. (12)

Los 5 haplotipos no se conocen del todo para determinar las diferencias biológicas en la planta o en los insectos. Estos haplotipos aparentemente estables denotan una permanencia prolongada de la bacteria en los hospederos. (12)

Candidatus Liberibacter Solanacearum está relacionada con *Huanglongbing* de los cítricos, la enfermedad más destructiva de los cítricos de Asia, África y las Américas. Además de las especies de solanáceas que infecta éste psílido, especies de *Liberibacter* se han encontrado en zanahoria en el norte de Europa, incluyendo Finlandia, Noruega, Suecia y la región del Mediterráneo, incluyendo España, Las Islas Canarias y Francia. Además, CaLso se ha reportado en España en el cultivo de Apio. Y en el año 2014 se ha reportado esta misma enfermedad en el continente africano en el cultivo de zanahoria de Marruecos. (12)

Un estudio realizado por Munyaneza indica que basta solo un espécimen de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), para transmitir *Candidatus Liberibacter psyllauros* dos horas después de la colonización de la planta. El mecanismo exacto de transmisión se desconoce, pero se sospecha que las bacterias se inyectan durante la salivación en el floema.

2.2.13 Biología de la enfermedad y Epidemiología

La fuente primaria por la que el psílido adquiere y esparce CaLso es cuando se alimenta de plantas infectadas. El período latente de CaLso en el psílido del tomate es de 2 semanas y la bacteria es transmitida de manera persistente, propagativa y circundante. Se ha observado que este período latente se reduce cuando los psílicos se han alimentado de plantas de tomate infectadas por Lso debido a que el incremento del CaLso es mayor en tomate que en papa. La bacteria es también transmitida transovárica en el psílido relativamente a gran velocidad. Adicionalmente, Lso puede ser transmitido por injertos, aunque se ha demostrado que CaLso es transmitido a la papa provocando que Zebra Chip se desarrolle rápidamente por las actividades propias del psílido más que por la poda. Un solo psílido adulto de la papa es capaz de inocular la papa con CaLso dentro de un período corto que, de dos a seis horas, provocando el desarrollo de Zebra Chip. Así también un solo psílido adulto infectado con CaLso puede provocar el mismo daño que provocarían 25 psílicos infectados por planta. El tiempo mínimo requerido para adquirir la infección de CaLso e

inocular plantaciones de papa por un solo psílido de la papa se ha estimado que es de 30 y menos de 10 minutos respectivamente. (13)

2.2.14 Transmisión

El principal vector de CaLso es *Bactericera cockerelli* (Sulc). o el psílido de la papa y el tomate, esta es una plaga que afecta a las plantas principalmente por su mecanismo de alimentación, el cual consiste en un aparato bucal tipo picador–chupador, que está armado con un estilete forado por dos ductos, uno de entrada y uno de salida. En la planta, las ninfas y/o adultos introducen el estilete hasta el floema; por uno de los conductos el insecto succiona la savia y por otro inyecta su saliva a la planta, este tipo de alimentación produce daños directos, como amarillamiento de hojas, entrenudos acortados, retraso del crecimiento de las plantas e indirectos por la transmisión de procariotes y fitoplasmas. (11)

2.2.15 Sintomatología de CaLso en la planta

Esta compleja enfermedad provoca un rayado ligero a oscuro en los anillos vasculares y tejido medular en toda la longitud del tubérculo que cuando éste se fríe se evidencia una “papa rayada”, haciendo de este no comercializable.

Los tubérculos infectados por CaLso rara vez brotan, y si lo hacen, a menudo producen plantas débiles, incluyen lenticelas del tallo subterráneo agrandado, estolones colapsados, lesiones del anillo vascular marrón, moteado necrótico de los tejidos internos. (11, 14)

Los síntomas como punta morada, amarillamiento y Zebra Chip son características de enfermedades en donde el transporte de la savia se ve comprometido a causa del daño en el floema. Los patógenos que restringen esta movilidad han sido el foco de atención para estudios que determinen la causa de esta enfermedad. (15,16)

Tubérculos poco desarrollados o deformes con un peridermis rugoso están asociados a punta morada y amarillamiento, ninguna de las dos produce necrosis en el tubérculo, ya que esta característica está vinculada a Zebra Chip. (14)

A pesar de que punta morada puede causar decoloración suave en los tejidos vasculares a lo largo del tallo de los tubérculos de las plantas afectadas, y puede ser confundido con Zebra Chip, ésta no penetra profundamente en el tubérculo como Zebra Chip. (14)

Además, los efectos fisiológicos de la infección de Zebra Chip en los tubérculos de papa incluyen el aumento en forma significativa de los niveles de tirosina, compuestos fenólicos, el ácido salicílico y la fuga de iones, así como el contenido mineral alterado en los tubérculos afectados en comparación con los tubérculos sanos. (11)

Plantas infectadas por CaLso exhiben un gran rango de síntomas que va desde la punta morada a amarillamiento de las hojas, incluyendo clorosis, tallos enroscados con un aspecto de zigzag, entrenudos aumentados, proliferación de yemas axilares, tubérculos aéreos, decoloración vascular, hojas quebradizas, marchitas y necrosadas; muerte prematura de la planta. (15, 16, 17)

2.2.16 Métodos diagnósticos

El conocimiento fiable sobre la etiología de cualquier evento patológico es de singular valor, pues de ello dependerá, en gran medida, la eficacia de las prácticas de regulación que se diseñen y la sostenibilidad económica, social y ambiental de las mismas. Un sistema de manejo de enfermedades sosteniblemente funcional se sustenta en un conjunto de conocimientos, dentro de los cuales el diagnóstico de casos y la evaluación de riesgos de enfermedades juegan un peso fundamental.

Reacción en cadena de la polimerasa (PCR)

La Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) es una técnica "in vitro" que imita la habilidad natural de la célula de duplicar el ADN. Esta técnica es uno de los métodos moleculares de mayor eficiencia en el diagnóstico de enfermedades vegetales. Es utilizada en la detección de patógenos en semillas, el cultivo de tejidos, detección de toxinas y residuos de pesticidas (Flores-Olivas, et al ,1997). La PCR es una técnica que permite determinar relaciones filogenéticas entre especies y constituye una buena herramienta de análisis de la biología de las poblaciones (Baró, 1998). Según Shaad, et al, Mutasa, et al, citados por Flores-Olivas, et al, 1997 entre las ventajas de la PCR está la detección de moléculas simples en mezclas complejas sin usar sondas radioactivas y con alta sensibilidad. Una de las ventajas sobre los métodos tradicionales es que no se necesita cultivar los organismos antes de la detección. (18)

2.2.17 Geoestadística:

La geoestadística tiene que ver con datos espaciales, es decir, datos para los cuales cada valor está asociado con una ubicación en espacio. En este tipo de análisis se asume que hay cierta conexión entre la localidad (espacio) y valor de datos. De valores conocidos en muestras de puntos, el análisis geoestadístico puede ser usado para predecir distribuciones espaciales de propiedades sobre grandes áreas o volúmenes. (19)

La geoestadística es una manera de describir la continuidad espacial de cualquier fenómeno natural. Con ello se llega a conocer la forma en que varía cualquier variable en el espacio (patrón espacial) a una o varias escalas seleccionadas, con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación espacial de la variable en distintas direcciones del espacio. La geoestadística utiliza funciones para modelar esta variación espacial, y estas funciones

son utilizadas posteriormente para interpolar en el espacio el valor de la variable en sitios no muestreados. (19)

La geoestadística ha permitido cuantificar la escala y grado de variación espacial de recursos para plantas y animales y su relación con la distribución de los organismos. Esta variación espacial es clave para explicar procesos ecológicos a diferentes escalas espaciotemporales. Uno de los procesos más claros es la relación entre diversidad y heterogeneidad espacial. El uso de geoestadística en ecología pretende en último término entender las interacciones entre las especies y sus recursos en ambientes heterogéneos. (19)

Distribución Espacial:

Comprender el concepto de variabilidad espacial es clave para entender las técnicas involucradas en la agricultura de precisión. La variabilidad espacial se puede apreciar en forma cuantitativa y cualitativa a través de los mapas derivados de los estudios de distribución espacial de las variables en estudio. (20)

La variabilidad espacial de una población se refiere a como sus individuos están ubicados en el espacio, y para hacer referencia a ello, se habla del "Patrón de Dispersión" o "Patrón de Disposición Espacial". El conocimiento del patrón de disposición espacial de una especie es un elemento básico que permite explicar muchos de los comportamientos de los individuos y suministra ayuda importante en el diseño de estudios posteriores. (20)

La distribución espacial de los organismos se ha estudiado considerando las distribuciones estadísticas e índices de dispersión, pero no su exacta localización espacial. Esto origina fallas en la diferenciación de los patrones espaciales cuyas descripciones son altamente dependientes del tamaño de las unidades de muestreo y de la relación entre la media y la varianza. (20)

Por otro lado, los métodos geoestadísticos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su localización espacial. Además, los métodos geoestadísticos permiten elaborar mapas de gran utilidad para conocer la distribución espacial de los insectos, permiten establecer grados de infestación que requieran un control inmediato, como también detectar posibles preferencias en su estructura de agregación y zonas que no presenten infestación. (21, 22)

2.2.18 Transectos

Los transectos representan un tipo de muestreo dirigido, de forma que resulta inevitable caer en un sesgo, proporcionan información a escala media. Son líneas que se colocan en una superficie donde se puede hacer conteo de objetos. Las líneas pueden hacerse a través

de cinta métrica, cuerdas, cadenas, con medidas que pueden ir desde metros hasta kilómetros si se quiere. La medida que se establezca dependerá de la abundancia y distribución espacial de la variable a ser monitoreada, así como la heterogeneidad espacial del lugar. (23)

La heterogeneidad espacial es donde los diferentes tipos de animales y plantas encontrados en un hábitat varían en espacio. Si la heterogeneidad espacial es alta (ambientes terrestres y/o costeros), un largo transecto (50 metros) abarcará demasiada variación espacial y el poder del estudio para detectar el cambio se verá afectado. (23)

Existen 3 formas de medir los transectos: 1) Línea de transectos; 2) Intersección del punto del transecto que mide en intervalos específicos; 3) Línea de transectos que miden una línea al lado del transecto.

1) Línea de transectos:

Mediciones en línea de los transectos, se toman a lo largo de toda la longitud de la línea. Estos transectos de línea se llaman comúnmente “Transectos de intercepción de línea”, que se centran en el plano horizontal de la línea.

2) Puntos de intercepción del transecto:

Mide objetos a intervalos específicos por debajo de la línea del transecto, o por debajo y al lado de la línea del transecto.

3) Líneas de transecto:

Son líneas con un rango más amplio y a menudo se utilizan para medición de impactos específicos, como enfermedades, conteo de invertebrados o vertebrados. El rango dependerá de lo que se quiera medir. (23)

2.2.19 Investigación transeccional o transversal

Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como tomar una fotografía de algo que sucede. (24)

Pueden abarcar varios grupos o subgrupos de personas, objetos o indicadores; así como diferentes comunidades, situaciones o eventos.

A su vez, los diseños transeccionales se dividen en tres: exploratorios, descriptivos y correlacionales-causales.

Diseños transeccionales exploratorios:

El propósito de los diseños transeccionales exploratorios es comenzar a conocer una variable o un conjunto de variables, una comunidad, un contexto, un evento, una situación. Se trata de una exploración inicial en un momento específico. Por lo general, se aplican a problemas de investigación nuevos o poco conocidos, además constituyen el preámbulo de otros diseños (no experimentales y experimentales). (24)

Diseños transeccionales descriptivos:

Los diseños transeccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población. El procedimiento consiste en ubicar en una o diversas variables a un grupo de personas u otros seres vivos, objetos, situaciones, contextos, fenómenos, comunidades; y así proporcionar su descripción. Son, por tanto, estudios puramente descriptivos y cuando establecen hipótesis, éstas son también descriptivas (de pronóstico de una cifra o valores). (24)

Diseños transeccionales correlacionales-causales

Estos diseños describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. A veces, únicamente en términos correlacionales, otra en función de la relación causa-efecto (causales).

Por tanto, este tipo de diseño pueden limitarse a establecer relaciones entre variables sin precisar sentido de causalidad o pretender analizar relaciones causales. Cuando se limitan a relaciones no causales, se fundamentan en planteamientos e hipótesis correlacionales; del mismo modo, cuando buscan evaluar vinculaciones causales, se basan en planteamientos e hipótesis causales.

Estos diseños pueden ser sumamente complejos y abarcar diversas categorías, conceptos o variables. Cuando establecen relaciones causales son explicativos. Su diferencia con los experimentos es la base de la distinción entre experimentación y no experimentación. En los diseños transeccionales correlacionales-causales, las causas y los efectos ya ocurrieron en la realidad (estaban dados y manifestados) o están ocurriendo durante el desarrollo del estudio, y quien investiga los observa y reporta. En cambio, en los diseños experimentales y cuasi experimentales se provoca intencionalmente al menos una causa y se analizan sus efectos o consecuencias. (24)

En todo estudio, la causalidad la establece el investigador de acuerdo con sus hipótesis, las cuales se fundamentan en la revisión de la literatura. En los experimentos la causalidad va en el sentido del tratamiento o tratamientos (variable o variables independientes) hacia el efecto o efectos (variables o variables dependientes). En los estudios transeccionales correlacionales-causales la causalidad ya existe, pero es el

investigador quien la direcciona y establece cuál es la causa y cuál el efecto (o causas y efectos). Se sabe que para establecer un nexo causal: a) la o las variables independientes deben anteceder en tiempo a la o las dependientes, aunque sea por milésimas de segundo; b) debe existir covariación entre la o las variables independientes y dependientes; pero, además: c) la causalidad tiene que ser verosímil. (24)

Un diseño correlacional-causal puede limitarse a dos categorías, conceptos o variables, o incluso abarcar modelos o estructuras tan complejas. Asimismo, los diseños correlacionales-causales en ocasiones describen relaciones en uno o más grupos o subgrupos, y suelen describir primero las variables incluidas en la investigación, para luego establecer las relaciones entre éstas (en primer lugar, son descriptivos de variables individuales, pero luego van más allá de las descripciones: establecen relaciones).

En estos diseños, en su modalidad únicamente causal, a veces se reconstruyen las relaciones a partir de la(s) variable(s) dependiente(s), en otras a partir de la(s) independiente(s) y en otras más sobre la base de variabilidad amplia de las independientes y dependientes. Al primer caso se les conoce como *retrospectivos*, al segundo como *prospectivos* y al tercero como *causalidad múltiple*. (24)

2.2.20 Estrategia para realizar inspecciones en los lugares o sitios de detección

Guardia Griega o en bandas:

El desplazamiento se realiza empezando en la orilla del predio recorriendo las “calles” (entre las hileras o surcos de plantas), pudiendo regresar dos o hasta cinco hileras después y continuar hasta terminar el predio. (25) (26)

3. OBJETIVOS

General:

1. Establecer patrones de comportamiento y distribución de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), y *Candidatus Liberibacter solanacearum*, con la aplicación de herramientas GIS y PCR, durante la fenología del cultivo en los municipios priorizados por el CRIA durante la época de invierno y verano.

Específicos:

1. Determinar la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), a través de la geoestadística en los municipios priorizados por el CRIA, en el departamento de Quetzaltenango.
2. Determinar el comportamiento que tiene *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), a nivel de unidad productiva, transectos definidos, fenología del cultivo y su asociación con variables ambientales.
3. Determinar la dispersión de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en psílido y/o en la planta, utilizando métodos geoestadísticos y PCR en tiempo real.

4. METODOLOGÍA

4.1 Localidad y época

Este proyecto se desarrolló en las áreas aptas de papa en el departamento de Quetzaltenango, tuvo una duración de 14 meses, evaluando la época de invierno y verano, para ver el comportamiento del psílido con respecto al ambiente.

Las áreas de localización del proyecto se designaron en base a las priorizadas de papa por CRIA en el diagnóstico que realizó el Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria. Se llevó a cabo en el departamento de Quetzaltenango en los municipios de: San Juan Ostuncalco, Palestina, San Mateo Sacatepéquez, San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango y la Esperanza

4.2 Diseño del estudio

El presente estudio se gestó bajo el diseño múltiple. Es un estudio transeccional, exploratorio, descriptivo. Esto permitió conocer un conjunto de variables que mostraron la presencia de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), la incidencia del insecto; estableciendo relaciones entre variables ambientales, temporales, comportamiento y dispersión de este.

4.3 Tamaño de la unidad experimental

Las unidades experimentales para el presente estudio se dividieron en dos categorías:

1. Unidad parcelaria (productiva):

La unidad de análisis estuvo conformada por parcelas cuya dimensión era dependiente del uso que el agricultor asignó para dicho cultivo. Se trabajaron 8 parcelas en total.

2. Transectos:

Se establecieron 8 parcelas con el consentimiento del agricultor, utilizando la metodología de transectos, estos fueron colocados a 8 kilómetros de distancia entre cada uno de ellos, que son una banda representativa de muestreo diseñado y dimensionado en base a la superficie de estudio.

3. Sub transecto

Los sub-transectos fueron conformados por 3 kilómetros lineales a favor del viento; en donde el punto de partida era la unidad parcelaria. Se estableció un sub-transecto por cada unidad parcelaria.

4.4 Procedimientos

Criterios de inclusión

- a. Los transectos y las unidades parcelarias con siembra de papa se ubicaron en los municipios de: Palestina, San Juan Ostuncalco, Concepción, San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango, San Mateo. Cuadro 2.
- b. Las hojas colectadas para el conteo de ninfas en los 5 sectores de la parcela fueron seleccionadas por estrato de la planta (alto, medio, bajo) y con presencia del estado ninfal de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*). En aquellos sectores donde no se encontró ninfas, de igual forma, se colectaron las hojas.
- c. Los insectos que se capturaron en las trampas amarillas y en los sectores se colocaron en viales, todos los seleccionados estaban en estado adulto y sin introducir insectos de otra especie que no fuera *Bactericera cockerelli* (*Sulc*).
- d. Para el diagnóstico de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, a través de la técnica PCR en tiempo real, se seleccionaron plantas con sintomatología de acuerdo con la enfermedad. Si no se encontraban plantas con sintomatología no se colectaban. Estas muestras eran enviadas a la ciudad capital, al Laboratorio de la Universidad del Valle.
- e. Para el monitoreo realizado en plantas hospederas y alternas se tomó en cuenta un radio de 20 metros y las trampas fueron colocadas únicamente en aquellas que eran solanáceas. En el caso de no encontrar alguna de ellas, de igual forma se dejó colocada una trampa amarilla como método de diagnóstico y captura.

Metodología para el cumplimiento del Objetivo 1.

Unidad Parcelaria:

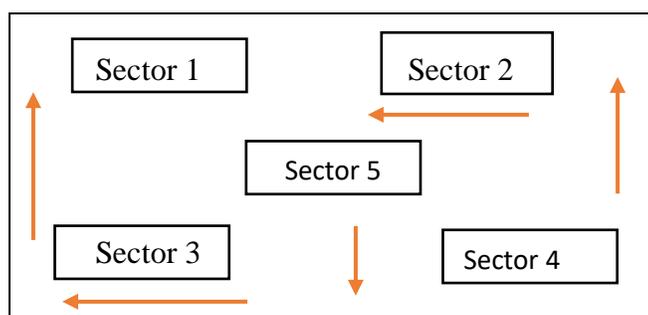
Se delimitó la unidad parcelaria asignándole números y letras. En forma vertical se colocaron los números y en forma horizontal se colocaron las letras. De esta manera se delimitó toda la zona productiva que sirvió para conocer el total de plantas y el patrón de dispersión de CaLso. Para esto se realizó un croquis de la parcela con su respectiva identificación.

El muestreo del psílido se realizó en forma sistémica dentro de la unidad, se aplicó la metodología de guardia griega, donde durante el recorrido se seleccionaron aleatoriamente 15 plantas que se encontraban en el terreno, seleccionando de manera aleatoria 3 plantas por sector, de preferencia en el borde y en el centro de la plantación. En estas plantas se colectó una hoja en cada estrato de la planta (alto, medio, bajo), en total 3 hojas por planta, con la finalidad de contar el número de ninfas. Se realizaron tres lecturas durante todo el ciclo del cultivo, las cuales se llevaron a cabo a los 20, 40 y 60 días después de la siembra.

A cada parcela se le asignaron 5 sectores, Figura 1, en cada sector se seleccionaron 3 plantas, estos sectores fueron identificados como:

- a. Sector 1; b. Sector 2; c. Sector 3; d. Sector 4; e. Sector 5.

Figura 1. Ubicación de los sectores utilizando guardia griega.



Cada sector abarcó un surco, al momento de seleccionar las tres plantas, las plantas eran del mismo surco en dirección de izquierda a derecha.

Al finalizar la lectura y la toma de muestra de los sectores, se realizó un caminamiento exploratorio en toda la parcela surco por surco para la identificación de plantas con sintomatología a CaLso.

Sub transecto

Tomando como punto de referencia la unidad parcelaria, se caminó tres kilómetros lineales a favor del viento para colocar una trampa amarilla. La trampa fue colocada en la primera lectura y removidas/sustituidas consecuentemente en las siguientes lecturas.

Estas trampas removidas se transportaron al laboratorio de diagnóstico para hacer el conteo respectivo del psílido y determinar la presencia o ausencia de la bacteria.

Plantas hospederas y/o alternas

Existe una deficiencia en buenas prácticas agrícolas, una de ellas es, dejar en campo restos de cosecha, lo que pudiera mantener cierto inóculo en el ambiente. Esta carga es

sumamente importante medirla para conocer un poco más sobre el comportamiento del insecto y su dispersión.

Para medir parte del comportamiento y dispersión, se colocaron 4 trampas amarillas en un diámetro de 20 metros a la unidad parcelaria en plantas alternas y/o hospederas (otras solanáceas) que se encontraban en el área, a una altura de 1.5 metros con respecto a las mismas.

Las trampas fueron removidas y cambiadas cada vez que se hacían las inspecciones en la unidad parcelaria. De los insectos colectados en cualquiera de las 4 trampas de las plantas hospederas y/o alternas, se seleccionaron 7 psílicos y se colocaron en un vial para ser enviado al laboratorio con el fin de diagnosticar a través de la técnica PCR en tiempo real la presencia o ausencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*. Además, se determinó el sexo de los insectos capturados en las trampas.

Análisis de datos Geoestadísticos:

Con el programa ArcGIS 10.3, se analizó y se obtuvo la siguiente información:

Análisis de comportamiento (Analyzing patterns):

Identificó patrones geográficos, dato de importancia que permitió comprender cómo se comporta dicha plaga en las áreas productivas de papa.

Promedio de la distancia del vecino más cercano:

Calculó la distancia promedio de cada característica con su vecino más cercano basado en la función de centroides.

Baja/Alta concentración:

Permitió la medición de la concentraciones altas o bajas de psílicos en una zona determinada.

Auto correlación espacial: Midió la auto correlación espacial basado en características de ubicación y valores que tenga el atributo mediante la estadística I de Moran global. Los valores que mide son: el índice esperado, la varianza, la puntuación “z” y el valor P. El resultado determina si el patrón expresado está agrupado, disperso o es aleatorio.

Los resultados de la puntuación “z” y el valor P, establecen si se debe rechazar o no la hipótesis nula.

Mapeo de grupos (Mapping clusters).

- a) Análisis de clúster y de valor atípico (I Anselin local de Moran): Dado un conjunto de entidades ponderadas, identifica puntos calientes, puntos fríos y valores atípicos

espaciales estadísticamente significativos mediante la estadística de I Anselin local de Moran.

- b) Análisis de puntos calientes optimizado (Hot Spot Analysis –Getis-Ord Gi): Dados unos puntos de incidentes o unas entidades ponderadas (puntos), crea un mapa de puntos calientes y fríos significativos en términos estadísticos mediante el uso de la estadística G_i^* de Getis-Ord.

Medición de distribución geográfica (Measuring Geographic Distribution).

- a) Entidad central: Identifica la entidad ubicada más cerca del centro en una clase de entidad de punto.
- b) Centro medio: Identifica el centro geográfico (o el centro de concentración) de un grupo de entidades.
- c) Distancia Estándar: Mide el grado en el que se concentran o dispersan las entidades alrededor del centro medio geométrico.

Metodología para el cumplimiento del Objetivo 2.

Para la determinación del comportamiento del psílido se estudiarán las variables independientes que se detallan en el epígrafe 5.7; Transectos, Figura 1 Anexos.

Cuadro 2. Transectos para monitorear.

TRANSECTO	MUNICIPIO	POBLADO	RESPONSABLE	INSTITUCIÓN
1	Palestina de los Altos	Aldea El Edén	Ing. William Villatoro	CUNOC
2	San Juan Ostuncalco	Aldea La Victoria	Ing. William Villatoro	CUNOC
3	San Martín Sacatepéquez	Aldea El Rincón	Ing. Josué Vásquez	VISAR
4	Concepción Chiquirichapa	Caserío Tojchulup	Ing. Josué Vásquez	VISAR
5	San Mateo	Caserío Cayax	Ing. Josué Vásquez	VISAR
6	La Esperanza	La Esperanza	Ing. Josué Vasquez	VISAR
7	Quetzaltenango	Quetzaltenango	Ing. Josué Vasquez	VISAR

Metodología para el cumplimiento del Objetivo 3.

Toma y envío de muestras

Las muestras vegetales seleccionadas para el estudio fueron:

- a. 3 hojas por planta de cada sector, las cuales fueron seleccionadas de los tres estratos. Fueron colocadas en bolsas con cierre hermético, debidamente etiquetadas con nombre, lugar y fecha. Éstas eran transportadas el mismo día para su respectivo conteo de ninfas al Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario, en el municipio de San Benito, del departamento de Petén. La razón de utilizar los servicios de este laboratorio fue la mayor certeza y certificación del diagnóstico para este estudio.
- b. La captura de insectos adultos se hizo a través de la colocación de trampas amarillas en los puntos estratégicos de la parcela el mismo día que se hacía el monitoreo, esto dependía de la dirección del viento que se identificara en ese momento, por tal razón, se colocó una trampa al extremo de la parcela y otra en el centro. De las trampas se obtuvo la frecuencia de la entomofauna y frecuencia y sexado de *Bactericera cockerelli* (Sulc).
- c. Tanto la colecta de hojas como la de insectos se realizó el mismo día.
- d. Las trampas amarillas para captura de insectos se transportaron al Laboratorio Fitosanitario, ubicado en el Departamento de Petén, por razones ya explicadas en el inciso a, para su respectivo conteo tanto de hembras como machos.
- e. Los viales con los insectos colectados se enviaron al Laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala para su respectivo diagnóstico.
- f. Se colectó una sola planta sintomática, con características compatibles, utilizando la escala gráfica de severidad de la enfermedad para evaluar síntomas en la planta, desarrollado por A. Rashed. (Figura 3). Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de diagnóstico de la Universidad del Valle para la detección de la presencia de la bacteria.

(27)

Cuadro 3. Resumen de la colecta y envío de muestras

Tipo de muestra	Cantidad de muestras	Transecto	Estación	Tipo de análisis	Lecturas
Hojas	210	7	Invierno/Verano	Conteo de ninfas, huevos, machos y hembras	20 días, 40 días, 60 días.
Plantas sintomáticas	1			PCR tiempo real, diagnóstico Candidatus Liberibacter	
Viales	490			PCR tiempo real, insectos adultos Candidatus Liberibacter, hembra y macho	
Trampas	600			Conteo y sexado de adultos	

4.5 Plan de acción de campo

De acuerdo con el protocolo se trabajó 14 meses abarcando las dos estaciones invierno considerado desde el mes de mayo hasta el mes octubre y la fase de invierno considerada del mes de noviembre hasta el mes de abril.

4.6 Diseño estadístico

Alcance: Descriptivo-correlacional

Tipo: Analítico debido a que el análisis estadístico será por lo menos bivariado; porque plantea y pone a prueba hipótesis explicativas (finalidad cognoscitiva); su nivel más básico establece la asociación entre factores (propósito estadístico).

Nivel: Relacional dado que el método estadístico es bivariado; se podrá hacer medidas de asociación; correlaciones y medidas de correlación.

4.7 Kruskal Wallis

Esta prueba es la alternativa no paramétrica a la ANOVA unidireccional. No paramétrico significa que la prueba no supone que los datos provengan de una distribución determinada. La prueba H se utiliza cuando no se cumplen los supuestos para ANOVA (como la suposición de normalidad). A veces se denomina ANOVA unidireccional en las filas, ya que

los rangos de los valores de datos se utilizan en la prueba en lugar de los puntos de datos reales.

La prueba determina si las medianas de dos o más grupos son diferentes. Al igual que la mayoría de las pruebas estadísticas, se calcula una estadística de prueba y se compara con un punto de corte de distribución. La estadística de prueba utilizada en esta prueba se denomina estadística H. (28)

La prueba de Kruskal-Wallis es el test adecuado cuando los datos tienen un orden natural, es decir, cuando para darles sentido tienen que estar ordenados o bien cuando no se satisfacen las condiciones para poder aplicar un ANOVA. (29)

4.8 Variables de respuesta

Variable dependiente: presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*.
Presencia o ausencia de vector: *Bactericera cockerelli* (Sulc)

Operacionalización de Variables independientes

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE	NIVEL DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Comportamiento del Insecto	Ubicación del insecto en la Unidad de control, Unidad parcelaria (sectores) en estado de adulto y/o ninfa	SECTORES 1, 2, 3, 4, 5 / HOJA			
		1. Número de ninfas en estrato alto de la planta: a) Grado de infestación bajo 0-4 b) Grado de infestación medio 5-7 c) Grado de infestación alto > 8 e) Proporción machos y hembras	Cuantitativos	Nominal	Proporción Media
		2. Número de ninfas en estrato medio de la planta: a) Grado de infestación bajo 0-4 b) Grado de infestación medio 5-7 c) Grado de infestación alto > 8 e) Proporción machos y hembras	Cuantitativos	Nominal	Proporción Media
		3. Número de ninfas en estrato bajo de la planta: a) Grado de infestación bajo 0-4 b) Grado de infestación medio 4-7 c) Grado de infestación alto > 5 e) Proporción machos y hembras	Cuantitativo	Nominal	Proporción Media
		TRAMPAS AMARILLAS			
		4. Número de psílido y sexado a) Grado de infestación bajo 0-4 b) Grado de infestación medio 5-7 c) Grado de infestación alto > 8 e) Proporción machos y hembras	Cuantitativos	Nominal	Proporción Media
	Grado de infestación de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc), en estado adulto en plantas hospederas y alternas (<i>Solanum spp</i>).	1. Numero de insectos por trampa 2. Presencia de CaLso	Cuantitativa Cualitativa	Ordinal	Proporción

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE	NIVEL DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Ambiental	Condiciones naturales que puedan determinar un cambio en la presencia o ausencia de <i>Bactericera cockerelli</i> (Sulc) en las parcelas de papa	Temperatura mínima	cuantitativa	Ordinal	media
		Humedad	cuantitativa	Ordinal	media

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE	NIVEL DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Estacionalidad	Presencia de insecto adulto en época seca	# de insectos adultos en época seca	Cuantitativa	Ordinal	frecuencias y proporciones
	Presencia de insecto adulto en época lluviosa	# de insectos adultos en época lluviosa	Cuantitativa	Ordinal	frecuencias y proporciones
	Presencia de ninfa en época seca	# de ninfas en época seca	Cuantitativa	Ordinal	frecuencias y proporciones
	Presencia de ninfa en época lluviosa	# de ninfas en época lluviosa	Cuantitativa	Ordinal	frecuencias y proporciones
	Presencia de insectos adultos en plantas hospederas y/o alternas en época seca	# de insectos adultos en época seca	Cuantitativa	Ordinal	Frecuencia
	Presencia de insectos adultos en plantas hospederas y/o alternas en época lluviosa	# de insectos adultos en época seca	Cuantitativa	Ordinal	Frecuencia

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE	NIVEL DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Dispersión	Presencia o ausencia del insecto en su estado ninfal y adulto por unidad parcelaria	a) Conteos totales de ninfas y adultos	Cuantitativa	Ordinal	frecuencias y proporciones
	Presencia o ausencia de CaLso	a) Numero de muestras positivas o negativas a CaLso.	Cuantitativa	Ordinal	Asociaciones
	Presencia o ausencia de <i>Bactericera cockerelli</i> (<i>Sulc</i>), en plantas hospederas y alternas	a) Al menos 1 insecto en plantas hospederas y alternas.	Cuantitativa	Ordinal	Frecuencias
	Presencia o ausencia de CaLso en insectos encontrados en plantas hospederas y alternas.	a) Presencia de CaLso	Cualitativa	Nominal	Frecuencia
	Presencia o ausencia del insecto en estado adulto por sub-transecto/trampa	a) Conteos totales de insectos adultos/trampa b) Presencia de CaLso en insectos capturados por trampa	Cuantitativa y Cualitativa	Ordinal y Nominal	Frecuencia

4.9 Plan de recolección de datos

4.9.1 Técnica de recolección

Se realizaron tres lecturas (20, 40, 60 después de la siembra) durante el ciclo del cultivo.

El conteo y sexado de los insectos se realizó en laboratorio, para lo cual se llenó una bitácora sistemática. En campo se llenó otra boleta para la anotación de los hallazgos encontrados en cada visita.

4.9.2 Procedimiento para la recolección de información

Autorización

Se solicitó la Autorización de proseguir: Consentimiento de los agricultores y de la comunidad.

Integración e inducción de los recolectores de datos

Para este procedimiento se requirió del servicio de dos recolectores de información en campo a quienes se les generó capacidades en los temas de:

Cuadro 4. Inducción al personal para el monitoreo del psílido y la bacteria.

ACTIVIDAD	TÓPICO	HORAS
Información	Biología del insecto	3
Manejo de trampas amarillas	Uso, colocación y traslado	0.5
Colocación de trampas	Delimitación, establecimiento y colecta de datos	1
Identificación de insectos y colecta	Características fenotípicas del insecto	0.5
Evaluar el daño de la bacteria en la unidad parcelaria	Escala de severidad de la enfermedad	2

4.9.3 Validación del instrumento de recolección de datos

Se realizó la prueba del instrumento con la finalidad de corregir cualquier error en la dinámica de recolección de datos y evitar el mayor sesgo posible.

Se definió una muestra de prueba para este proceso, los resultados obtenidos fueron discutidos y validados para la estrategia final.

4.9.4 Tramitación de los datos:

- Verificación de datos completos
- Asignación de responsables de almacenamiento de la información.
- Registro de datos

4.10 Análisis de información

Para el análisis de los datos obtenidos en el presente estudio se realizaron los siguientes pasos:

Verificación de la calidad de los datos

Previo al procesamiento de los datos se procedió a la revisión de la calidad de los datos recolectados.

Procesamiento de los datos

- Se crearon tablas con los datos obtenidos en el estudio. Para esto se utilizó el programa Microsoft office Excel.
- La base de datos fue creada con los nombres de todas las variables en el instrumento de recolección.
- Para el procesamiento de datos se utilizó el programa estadístico SPSS versión 21.
- Se utilizó el software ArcGIS 10.3 para el mapeo y caracterización del comportamiento del sujeto de estudio.

Análisis de datos

Exploratorio

Se realizó un análisis exploratorio de los datos con la finalidad de obtener medidas de resumen, tablas y gráficos. Esto permitió evaluar en forma general los datos, identificar datos atípicos y hacer una descripción general.

Para este estudio se realizaron los siguientes análisis:

Univariado

- Las variables cualitativas se determinaron con proporciones
- En las variables cuantitativas medidas de tendencia central cuando aplicaba

Bivariado

De acuerdo con la distribución y tipo de variable en juego (numérica o discreta), se eligió entre las pruebas paramétricas y no paramétricas para aplicar. Si la distribución es normal, como ocurre habitualmente en muchas variables numéricas, se aplican pruebas paramétricas. De lo contrario (distribución anormal), como ocurre en las variables categóricas, se utilizan pruebas no paramétricas.

4.11 Productos esperados

1. Mapas de intensidad de *Bactericera cockerelli* (Sulc):

Se generarán 7 mapas para mostrar la incidencia e intensidad del vector, así como la intensidad del síntoma o daño causado por dicho insecto.

2. Identificación insectil:

Con resultados de laboratorio se presentará un listado sobre la entomofauna encontrada en cada localidad.

3. Dinámica poblacional de *Bactericera cockerelli* (Sulc):

Número promedio de adultos atrapados por trampa amarilla tanto en la unidad productiva como en las trampas amarillas colocadas en las plantas hospederas y/o alternas. Se utilizará Chi cuadrado para comparar la distribución de los datos observados entre sí.

5. RESULTADOS

5.1 Variable Comportamiento y estacionalidad de *Bactericera cockerelli* (Sulc).

Cuadro 5. Tipo de infestación en plantas de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en sus diferentes estadios en época de invierno y su relación con la temperatura y humedad relativa en siete localidades del departamento de Quetzaltenango año 2018

Municipio	Machos Trampa	Hembras Trampa	Machos Planta	Hembras Planta	Huevos	Ninfas	Temperatura °C	Humedad relativa
Palestina de los Altos	95	33	0	0	5	17	14.38	76.54
Quetzaltenango	12	2	0	1	55	16	17.90	64.96
San Mateo	5	0	0	0	18	10	11.81	89.13
San Juan Ostuncalco	66	20	3	3	43	21	16.01	74.18
San Martin Sacatepéquez, El Rincón	3	0	0	1	0	9	12.61	89.82
San Martin Sacatepéquez, Tojcón Grande	9	1	0	0	0	0	16.36	99.50
La Esperanza	32	4	4	1	126	109	14.11	84.91
Concepción	0	0	0	0	35	33	12.61	89.82
Total	222	60	7	6	282	215		

Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc)., y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Infestación baja 0-4
Infestación media 5-7
Infestación alta ≥ 8

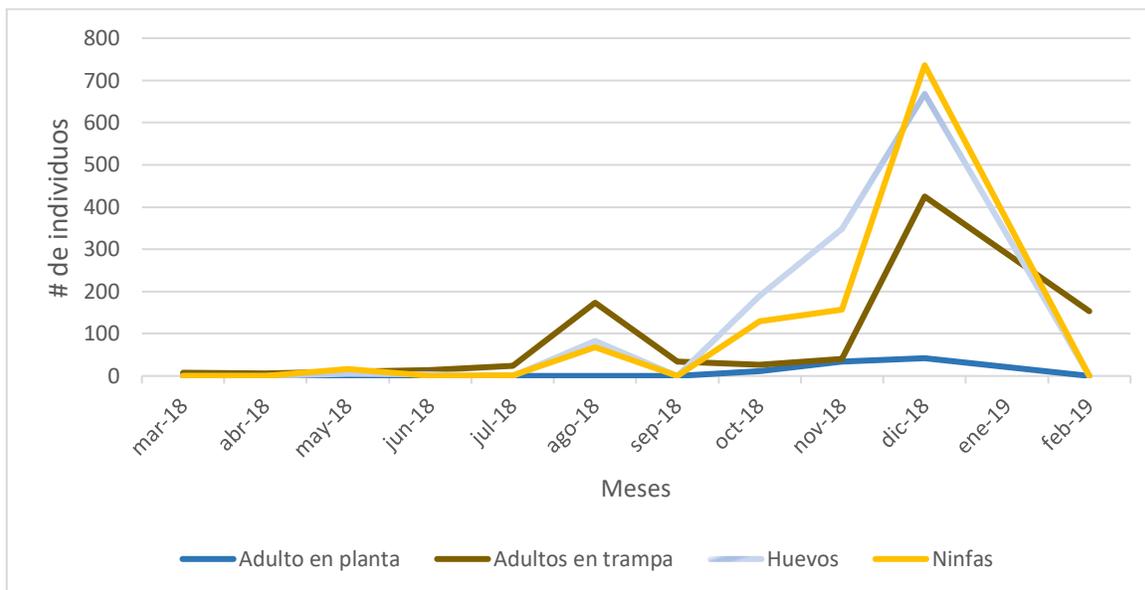
Cuadro 6. Tipo de infestación en plantas de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en sus diferentes estadios en época de verano y su relación con la temperatura y humedad relativa en siete localidades del departamento de Quetzaltenango año 2018

Municipio	Machos Trampa	Hembras Trampa	Machos Planta	Hembras Planta	Huevos	Ninfas	Temperatura °C	Humedad relativa
Palestina de los Altos	160	102	14	6	236	287	11.51	74.19
Quetzaltenango	30	35	0	0	16	13	17.43	57.80
San Mateo	13	4	0	1	0	0	13.04	69.63
San Juan Ostuncalco	74	64	24	15	355	458	15.67	61.26
San Martín Sacatepéquez, El Rincón	19	21	1	0	2	10	15.65	88.70
San Martín Sacatepéquez, Tojcón Grande	2	1	0	2	4	9	11.73	82.70
La Esperanza	63	38	4	2	256	27	13.89	79.12
Concepción	5	1	1	6	147	89	11.73	82.70
Total	366	266	44	32	1016	893		

Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc), y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

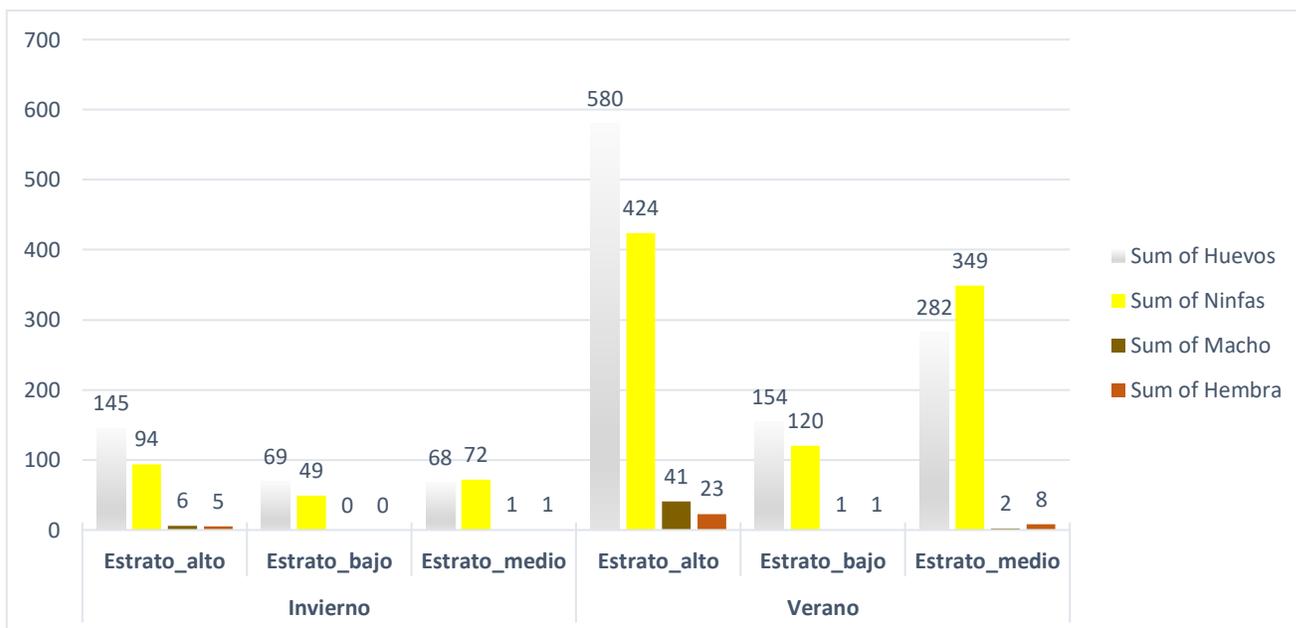
Infestación baja 0-4
Infestación media 5-7
Infestación alta ≥ 8

Gráfica 1. Capturas de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en sus diferentes estadios, en los meses de marzo 2018 a febrero 2019, Quetzaltenango -2018



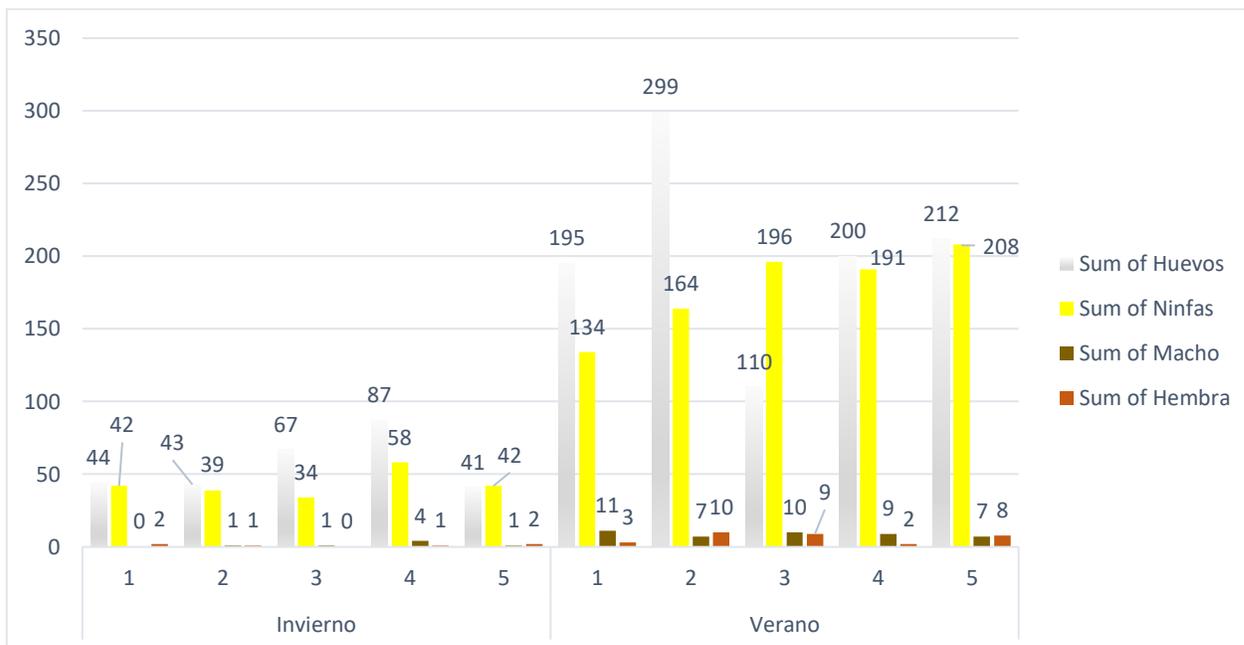
Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc), y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Gráfica 2. Capturas de los diferentes estadios de *Bactericera cockerelli* (Sulc), por estrato de planta y época en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.



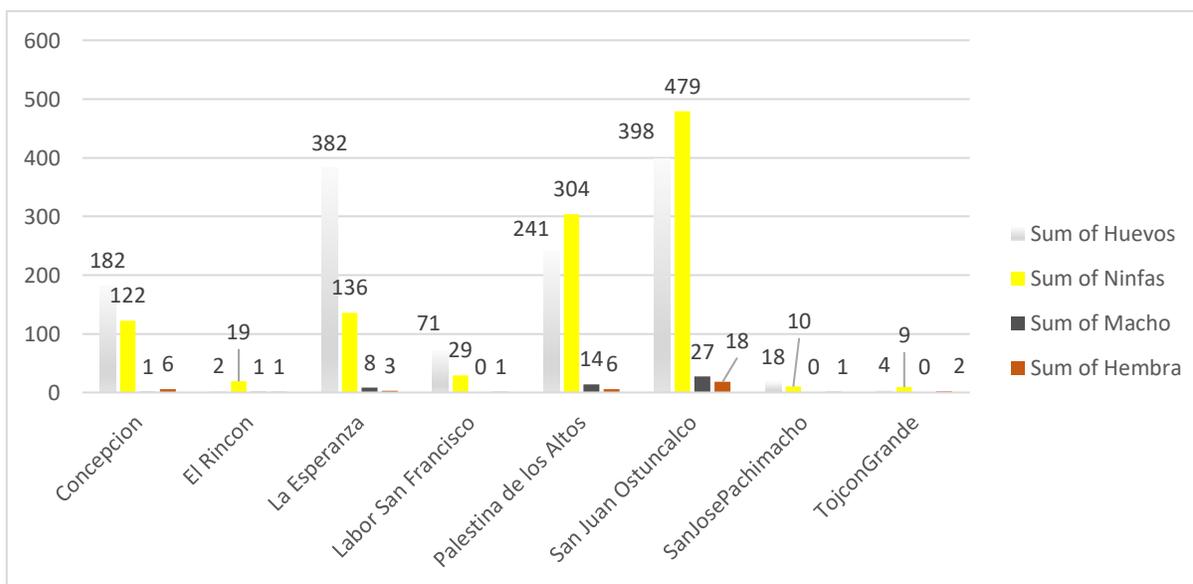
Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc), y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Gráfica 3. Capturas de los diferentes estadios de *Bactericera cockerelli* (Sulc), por época y sectores dentro de la parcela, en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.



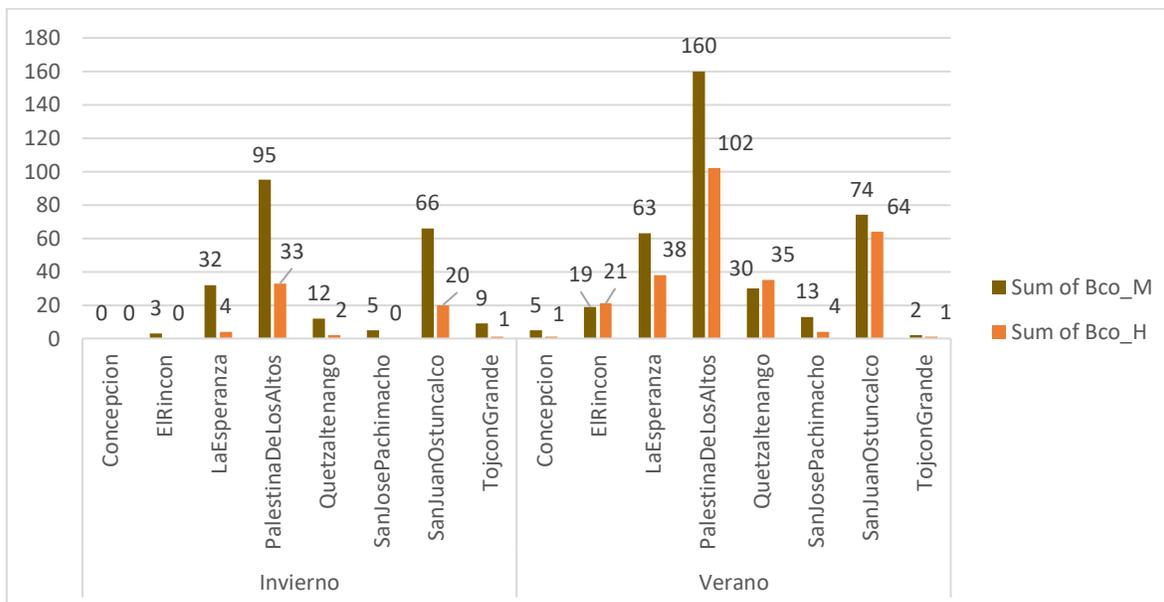
Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc)., y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Gráfica 4. Captura de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en la colecta de hojas de las plantas en los siete municipios del estudio, Quetzaltenango 2018



Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc)., y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Gráfica 5. Captura de los adultos de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*) en las trampas amarillas colocadas en los siete municipios del estudio, Quetzaltenango 2018



Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Cuadro 7. Análisis de varianza no paramétrica para determinar la significancia de la época en la captura de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*) en trampas amarillas, en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.

Variable	Época	N	Medias	D.E.	C	H	p	Trat.	Medias	Ranks
Bco_H	Invierno	51	1.18	3.17	0.89	18.61	<0.0001	Invierno	1.18	43.93 A
Bco_H	Verano	67	3.97	6.13				Verano	3.97	71.35 B

Variable	Época	N	Medias	D.E.	C	H	p	Trat.	Medias	Rangos
Bco_M	Invierno	51	4.35	6.63	0.96	0.30	0.5744	Invierno	4.35	A
Bco_M	Verano	67	5.46	8.58				Verano	5.46	B

Cuadro 8. Análisis de varianza no paramétrica para determinar la significancia entre la época, la presencia de huevos y su preferencia por los estratos de la planta de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.

Variable	Época	Planta	N	Medias	D.E.	p	Trat.	Medias	Ranks
Huevos	Invierno	Alto	109	1.33	4.11	<0.0001	Invierno: Estrato medio	0.62	247.62 A
	Invierno	Bajo	109	0.63	1.93		Invierno: Estrato bajo	0.63	248.41 A
	Invierno	Medio	109	0.62	1.81		Invierno: Estrato alto	1.33	264.19 A B
	Verano	Alto	81	7.16	17.61		Verano: Estrato bajo	1.93	302.58 B C
	Verano	Bajo	80	1.93	3.7		Verano: Estrato medio	3.53	316.64 D
	Verano	Medio	80	3.53	6.59		Verano: Estrato alto	7.16	360.41 D

Cuadro 9. Análisis de varianza no paramétrica para determinar la significancia entre la época, la presencia de ninfas y su preferencia por los estratos de la planta de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.

Variable	Época	Planta	N	Medias	D.E.	p	Trat.	Medias	Ranks
Ninfas	Invierno	Alto	109	0.86	2.5	<0.0001	Invierno: Estrato bajo	0.45	225.18 A
	Invierno	Bajo	109	0.45	1.67		Invierno: Estrato medio	0.66	247.27 A
	Invierno	Medio	109	0.66	2.01		Invierno: Estrato alto	0.86	257.31 A B
	Verano	Alto	81	5.23	8.83		Verano: Estrato bajo	1.5	297.64 B
	Verano	Bajo	80	1.5	3.03		Verano: Estrato alto	5.23	357.93 C
	Verano	Medio	80	4.36	7.12		Verano: Estrato medio	4.36	365.61 C

Cuadro 10. Análisis de varianza no paramétrica para determinar la significancia entre la época, la presencia de machos y su preferencia por el estrato de planta de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.

Variable	Época	Planta	N	Medias	D.E.	p	Trat.	Medias	Ranks
Macho	Invierno	Alto	109	0.06	0.33	<0.0001	Invierno: Estrato bajo	0	269 A
	Invierno	Bajo	109	0	0		Invierno: Estrato medio	0.01	271.56 A
	Invierno	Medio	109	0.01	0.1		Verano: Estrato bajo	0.01	272.48 A
	Verano	Alto	81	0.51	0.98		Verano: Estrato medio	0.03	275.96 A
	Verano	Bajo	80	0.01	0.11		Invierno: Estrato alto	0.06	279.37 A
	Verano	Medio	80	0.03	0.16		Verano: Estrato alto	0.51	349.98 B

Cuadro 11. Análisis de varianza no paramétrica para determinar la significancia entre la época, presencia de hembras y su preferencia por los estratos de la planta de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.

Variable	Época	Planta	N	Medias	D.E.	p	Trat.	Medias	Ranks
Hembra	Invierno	Alto	109	0.05	0.21	<0.0001	Invierno: Estrato bajo	0	269 A
	Invierno	Bajo	109	0	0		Invierno: Estrato medio	0.01	271.58 A
	Invierno	Medio	109	0.01	0.1		Verano: Estrato bajo	0.01	272.51 A
	Verano	Alto	81	0.28	0.6		Invierno: Estrato alto	0.05	281.89 A
	Verano	Bajo	80	0.01	0.11		Verano: Estrato medio	0.1	290.45 A B
	Verano	Medio	80	0.1	0.38		Verano: Estrato alto	0.28	332.22 B

5.2 Variable presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso)

En el mes de diciembre de 2018 se obtuvo un resultado positivo a *Candidatus Liberibacter* o Papa Rayada, los síntomas observados en la planta fueron clorosis en las hojas, bordes de la hoja rosados/morados. La Localidad en la que se tomó la muestra fue San Juan Ostuncalco, la prueba que se corrió fue PCR en tiempo real. La temperatura promedio manifestada durante dicho mes fue de 16.02 °C, con una temperatura mínima de 9.08 °C y una máxima de 22.06 °C; la humedad relativa promedio fue de 63.98, una humedad mínima de 32.79 y una máxima humedad de 83.1.

Cuadro 12. Resultados de laboratorio utilizando PCR para determinar la presencia/ausencia de la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* en los 7 municipios de Quetzaltenango 2018.

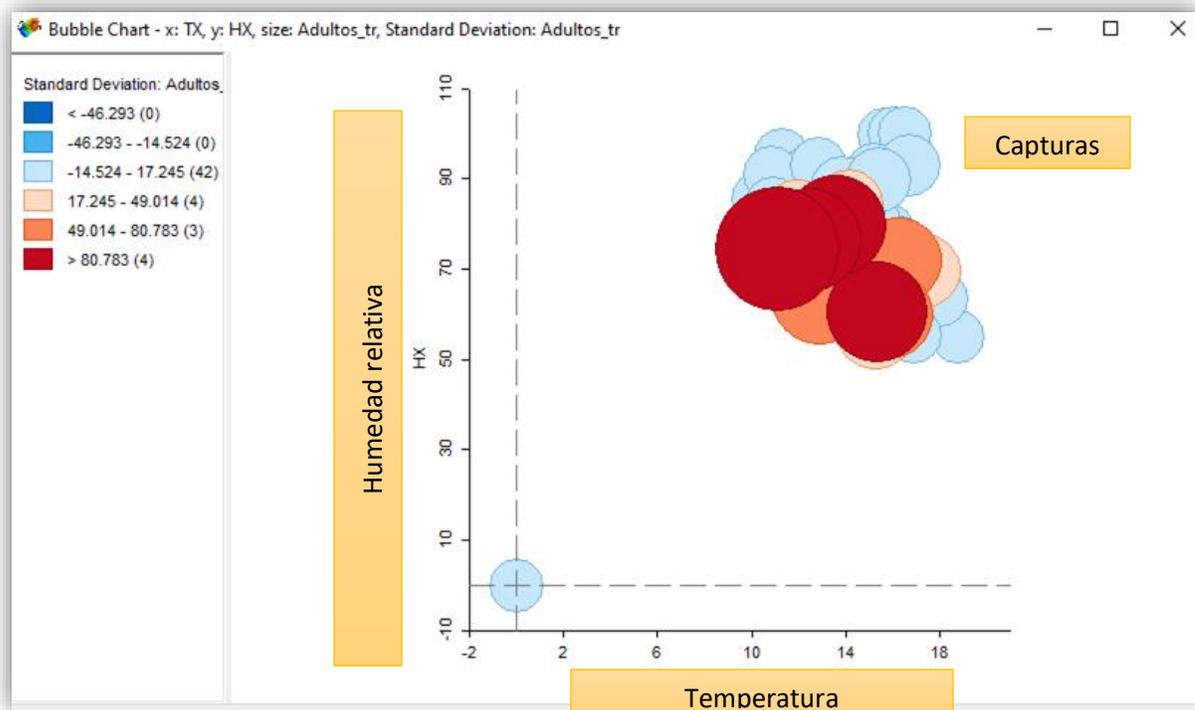
Tipo de muestra	Localidad	<i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i> PCR y Papa Rayada	Fecha de análisis
Vectores en papa	San Mateo, San José Pachimachó (coordenadas: 383402; 1640109)	Negativo	07/09/2018
Vectores en papa	Concepción (coordenadas: 379115; 1641599)	Negativo	07/09/2018
Vectores en papa	La Esperanza, Xela (coordenadas: 385183; 1643591)	Negativo	07/09/2018
Vectores en papa	Labor San Francisco, Xela (coordenadas: 392684; 1642111)	Negativo	07/09/2018
Vectores en papa	San Martín Tojcon Grande (coordenadas: 377728; 1637644)	Negativo	07/09/2018
Psílido en papa	La Esperanza, Xela (coordenadas: 385183; 1643591)	Negativo	19/10/2018
Psílido en papa	Labor San Francisco, Xela (coordenadas: 392684; 1642111)	Negativo	19/10/2018
Psílido en papa	San Juan Ostuncalco (coordenadas: 381870; 1643753)	Negativo	19/10/2018
Psílido en papa	Palestina, Xela (coordenadas: 374723; 1654844)	Negativo	19/10/2018

Psílido en papa	San Martín Tojcon Grande (coordenadas: 377728; 1637644)	Negativo	19/10/2018
Psílido en papa	Concepción (coordenadas: 379115; 1641599)	Negativo	19/10/2018
Psílido en papa	San Mateo, San José Pachimachó (coordenadas: 383402; 1640109)	Negativo	19/10/2018
Psílido en papa	El Rincón, San Martín (coordenadas: 371144; 1637648)	Negativo	15/11/2018
Psílido en papa	Concepción (coordenadas: 379115; 1641599)	Negativo	15/11/2018
Psílido en papa	Labor San Francisco, Xela (coordenadas: 392684; 1642111)	Negativo	15/11/2018
Psílido en papa	San Mateo, San José Pachimachó (coordenadas: 383402; 1640109)	Negativo	15/11/2018
Psílido en papa	La Esperanza, Xela (coordenadas: 385183; 1643591)	Negativo	15/11/2018
Psílido en papa	San Martín Tojcon Grande (coordenadas: 377728; 1637644)	Negativo	15/11/2018
Psílido en papa	Palestina, Xela (coordenadas: 374723; 1654844)	Negativo	15/11/2018
Psílido en papa	San Juan Ostuncalco (coordenadas: 381870; 1643753)	Negativo	22/11/2018
Psílido hembra de papa	La Esperanza, Xela (coordenadas: 385183; 1643591)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	Concepción (coordenadas: 379115; 1641599)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	San Mateo, San José Pachimachó (coordenadas: 383402; 1640109)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	El Rincón, San Martín (coordenadas: 371144; 1637648)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	Labor San Francisco, Xela (coordenadas: 392684; 1642111)	Negativo	15/02/2019

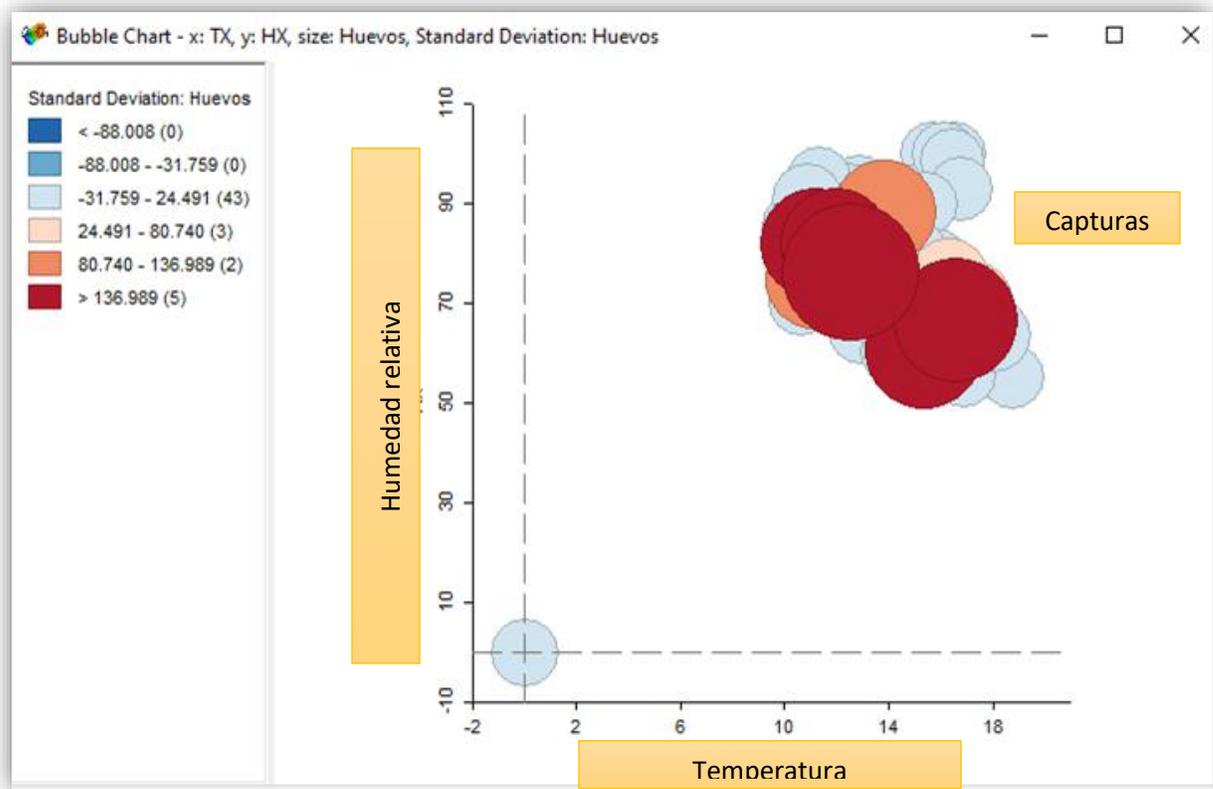
Psílido hembra de papa	San Mateo, San José Pachimachó (coordenadas: 383402; 1640109)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	San Martín Tojcon Grande (coordenadas: 377728; 1637644)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	San Juan Ostuncalco (coordenadas: 381870; 1643753)	Negativo	15/02/2019
Planta completa	San Juan Ostuncalco (coordenadas: 381870; 1643753)	Positivo	12/12/2018
Psílido hembra de papa	Labor San Francisco, Xela (coordenadas: 392684; 1642111)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	La Esperanza, Xela (coordenadas: 385183; 1643591)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	San Juan Ostuncalco (coordenadas: 381870; 1643753)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	San Mateo, San José Pachimachó (coordenadas: 383402; 1640109)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	San Martín Tojcon Grande (coordenadas: 377728; 1637644)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	El Rincón, San Martín (coordenadas: 371144; 1637648)	Negativo	15/02/2019
Psílido hembra de papa	Concepción (coordenadas: 379115; 1641599)	Negativo	15/02/2019

5.3 Variable Ambiental

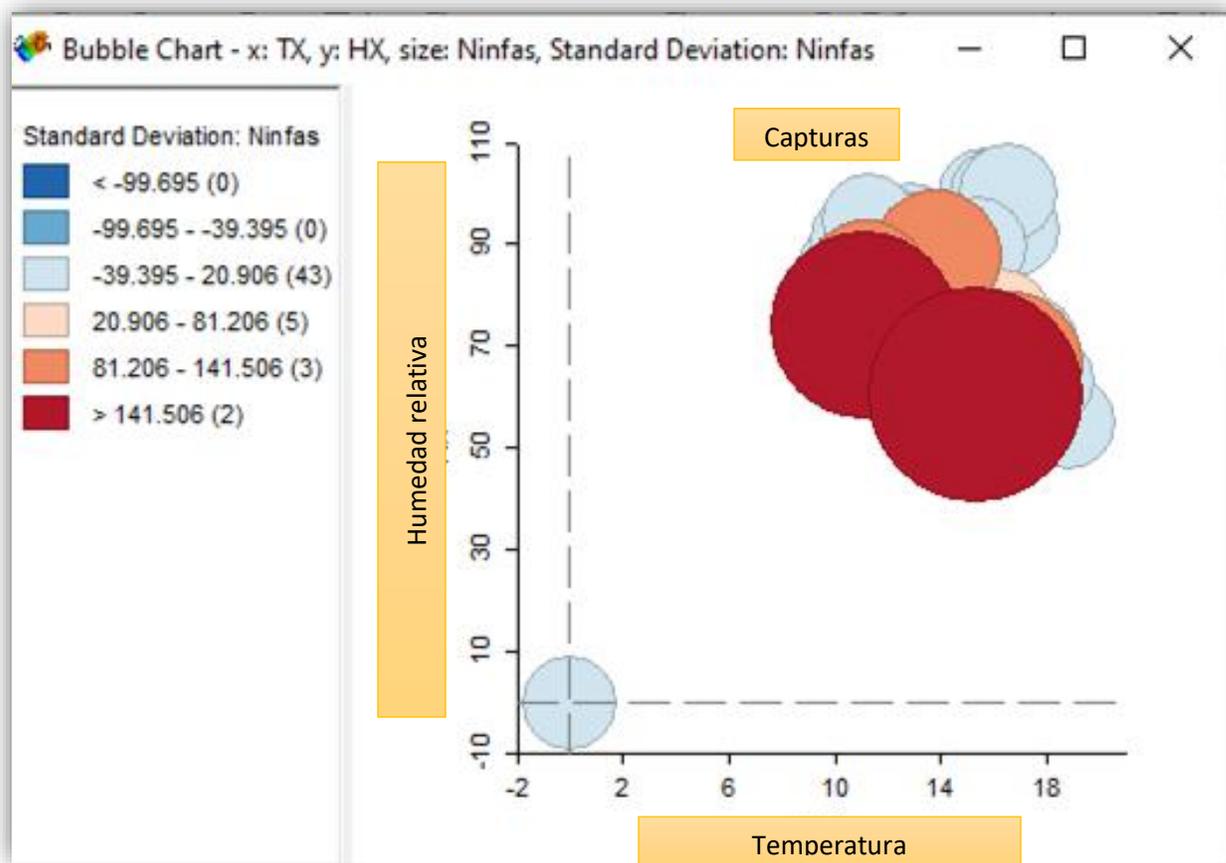
Gráfica 6. Comparación de la temperatura media y la humedad relativa media en cuanto a la captura de adultos en trampas amarillas, en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.



Gráfica 7. Comparación de la temperatura media y la humedad relativa media en cuanto a la captura de huevos, en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.



Gráfica 8. Comparación de la temperatura media y la humedad relativa media en cuanto a la captura de ninfas, en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.



Cuadro 13. Interacción de las variables ambientales con respecto a la captura de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*) en las trampas amarillas, utilizando el método de Regresión Polinomial de tercer orden.

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Bactericera cockerelli (adultos)	118	0.16	0.02	208.35	948	997.9

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	2908	16	181.7	1.17	0.3059
HR_X_M	680.3	1	680.3	4.38	0.039
HR_X_M^2	138.7	1	138.7	0.89	0.3471
TX_mes	352.5	1	352.5	2.27	0.1353
TX_mes^2	15.29	1	15.29	0.1	0.7545
HR_max_M	1.62	1	1.62	0.01	0.919
HR_max_M^2	71.42	1	71.42	0.46	0.4995
HR_max_M^3	615.2	1	615.2	3.96	0.0494
HR_min_M	232.8	1	232.8	1.5	0.2239
HR_min_M^2	18.12	1	18.12	0.12	0.7335
HR_min_M^3	129.6	1	129.6	0.83	0.3634
T_max_mes	17.16	1	17.16	0.11	0.7404
T_max_mes^2	1.94	1	1.94	0.01	0.9112
T_max_mes^3	600.9	1	600.9	3.86	0.0521
T_min_mes	24.38	1	24.38	0.16	0.693
T_min_mes^2	7.48	1	7.48	0.05	0.8269
T_min_mes^3	0.1	1	0.1	0.00066	0.9795
Error	15703	101	155.5		
Total	18611	117			

HR_X_M = Humedad relativa media mensual

HR_min_M = Humedad relativa mínima mensual

HR_max_M = Humedad relativa máxima mensual

TX_mes = Temperatura media mensual

T_min_mes = Temperatura mínima mensual

T_max_mes = Temperatura máxima mensual

Los valores significativos (en negrilla) son los que se utilizaron para el análisis.

Cuadro 14. Interacción de las variables ambientales con respecto a la captura de “huevos”, utilizando el método de Regresión lineal.

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Huevos	553	0.05	0.04	61.75	3846.66	3889.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1818.78	8	227.35	3.77	0.0003
Temp_min	242.34	1	242.34	4.02	0.0454
Temp_max	68.41	1	68.41	1.14	0.2871
Temp_X	373	1	373	6.19	0.0131
Temp_dia	564.02	1	564.02	9.36	0.0023
H_min	92.97	1	92.97	1.54	0.2147
H_max	29.02	1	29.02	0.48	0.4879
H_X	1.4	1	1.4	0.02	0.879
H_dia	505.03	1	505.03	8.38	0.0039
Error	32770.99	544	60.24		
Total	34589.76	552			

Temp_min = Temperatura mínima

Temp_max = Temperatura máxima

Temp_X = Temperatura media

Temp_dia = Temperatura diaria

H_min = Humedad relativa mínima

H_max = Humedad relativa máxima

H_dia = Humedad relativa diaria

Los valores significativos (en negrilla) son los que se utilizaron para el análisis.

Cuadro 15. Interacción de las variables ambientales con respecto a la captura de “ninfas”, utilizando el método de Regresión polinomial de segundo orden.

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC	
Ninfas		553	0.13	0.12	23.6	3310.79	3362.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1901.55	10	190.15	8.35	<0.0001
Temp_min	174.26	1	174.26	7.65	0.0059
Temp_max	36.29	1	36.29	1.59	0.2074
Temp_dia	283.68	1	283.68	12.45	0.0005
H_min	7.18	1	7.18	0.32	0.5747
H_max	20.95	1	20.95	0.92	0.3379
H_dia	188.57	1	188.57	8.28	0.0042
H_X	142.24	2	71.12	3.12	0.0448
Temp_X	382.83	2	191.42	8.4	0.0003
Error	12345.45	542	22.78		
Total	14247	552			

Temp_min = Temperatura mínima

Temp_max = Temperatura máxima

Temp_X = Temperatura media

Temp_dia = Temperatura diaria

H_min = Humedad relativa mínima

H_max = Humedad relativa máxima

H_dia = Humedad relativa diaria

Los valores significativos (en negrilla) son los que se utilizaron para el análisis.

Cuadro 16. Interacción de las variables ambientales con respecto a la captura de “machos”, utilizando el método de Regresión polinomial de tercer orden.

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Macho	553	0.08	0.05	0.2	660.57	742.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.48	17	0.5	2.67	0.0003
Temp_X	0.05	1	0.05	0.29	0.5916
H_X	1.91	1	1.91	10.24	0.0015
H_dia	0.6	1	0.6	3.22	0.0735
H_dia^2	2.00E-02	1	0.02	0.1	0.7479
H_max	2.30E-04	1	0.00023	0.0012	0.9718
H_max^2	1.81	1	1.81	9.72	0.0019
H_min	0.56	1	0.56	3	0.084
H_min^2	0.08	1	0.08	0.45	0.5024
Temp_dia	0.35	1	0.35	1.88	0.1713
Temp_dia^2	1.85	1	1.85	9.89	0.0018
Temp_dia^3	0.22	1	0.22	1.2	0.2734
Temp_max	5.00E-02	1	0.05	0.25	0.6167
Temp_max^2	0.27	1	0.27	1.47	0.2259
Temp_max^3	0.38	1	0.38	2.03	0.1548
Temp_min	7.80E-04	1	0.00078	0.0042	0.9483
Temp_min^2	0.24	1	0.24	1.29	0.2572
Temp_min^3	0.08	1	0.08	0.44	0.5073
Error	99.81	535	0.19		
Total	108.3	552			

Temp_min = Temperatura mínima

Temp_max = Temperatura máxima

Temp_X = Temperatura media

Temp_dia = Temperatura diaria

H_min = Humedad relativa mínima

H_max = Humedad relativa máxima

H_dia = Humedad relativa diaria

Los valores significativos (en negrilla) son los que se utilizaron para el análisis.

Cuadro 17. Interacción de las variables ambientales con respecto a la captura de “hembras”, utilizando el método de Regresión polinomial de tercer orden.

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Hembra	553	0.1	0.07	0.09	237.8	319.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.92	17	0.29	3.33	<0.0001
Temp_X	0.05	1	0.05	0.55	0.4597
H_X	0.14	1	0.14	1.66	0.1978
H_dia	0.28	1	0.28	3.27	0.0711
H_dia^2	0.32	1	0.32	3.71	0.0547
H_max	0.04	1	0.04	0.43	0.5126
H_max^2	2.46	1	2.46	28.35	<0.0001
H_min	0.06	1	0.06	0.72	0.3961
H_min^2	0.56	1	0.56	6.39	0.0117
Temp_dia	0.09	1	0.09	1.04	0.3072
Temp_dia^2	0.41	1	0.41	4.67	0.0311
Temp_dia^3	0.31	1	0.31	3.57	0.0594
Temp_max	0.1	1	0.1	1.14	0.2856
Temp_max^2	0.01	1	0.01	0.13	0.7232
Temp_max^3	0.0031	1	0.0031	0.04	0.8514
Temp_min	0.000067	1	0.000067	0.00077	0.9778
Temp_min^2	0.0004	1	0.0004	0.0046	0.9458
Temp_min^3	0.08	1	0.08	0.97	0.326
Error	46.47	535	0.09		
Total	51.39	552			

Temp_min = Temperatura mínima

Temp_max = Temperatura máxima

Temp_X = Temperatura media

Temp_dia = Temperatura diaria

H_min = Humedad relativa mínima

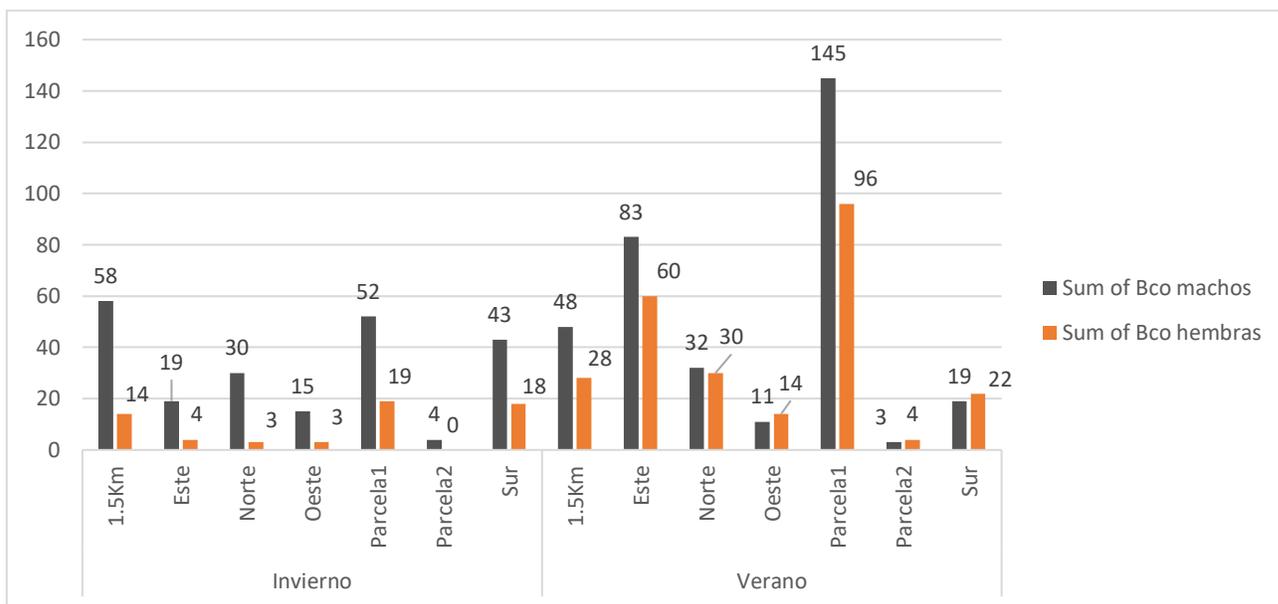
H_max = Humedad relativa máxima

H_dia = Humedad relativa diaria

Los valores significativos (en negrilla) son los que se utilizaron para el análisis.

5.4 Variable de Dispersión

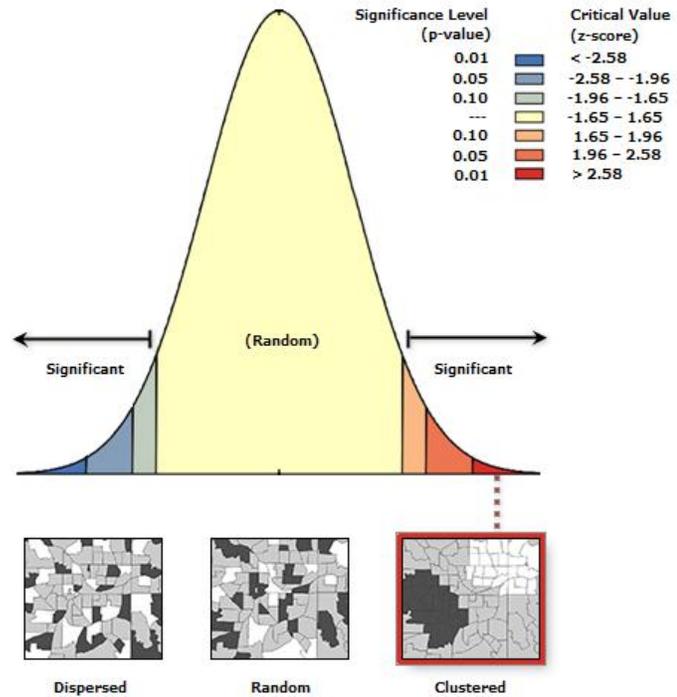
Gráfica 9. Captura de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en las trampas amarillas colocadas cardinalmente, en los siete municipios del estudio, Quetzaltenango 2018



Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc), y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Gráfica 10. Autocorrelación espacial de la captura de adultos de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en los 7 municipios de Quetzaltenango, utilizando el método - Spatial autocorrelation (Morans I)

Moran's Index: 0.186946
z-score: 2.823660 ■
p-value: 0.004748

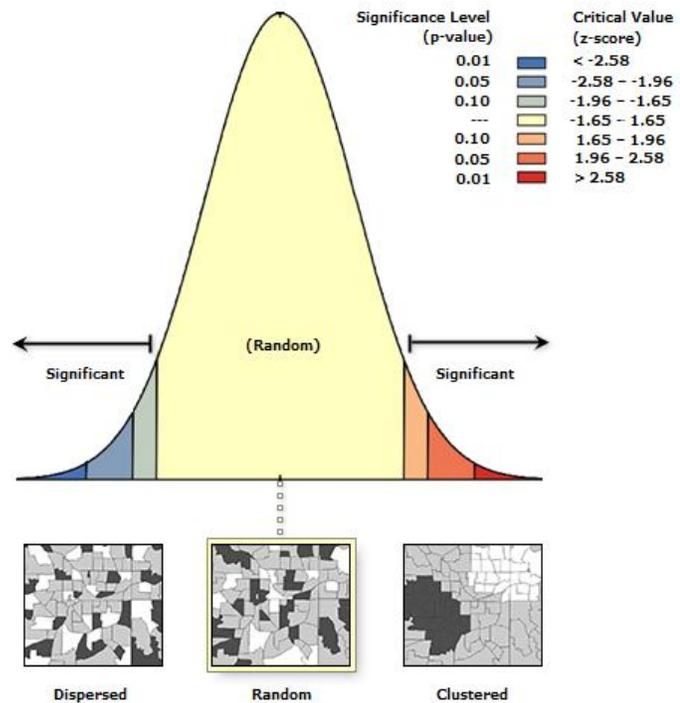


Global Moran's I Summary	
Moran's Index:	0.186946
Expected Index:	-0.019231
Variance:	0.005332
z-score:	2.823660
p-value:	0.004748
Dataset Information	
Input Feature Class:	all_catched
Input Field:	ADULTOS_TR
Conceptualization:	INVERSE_DISTANCE
Distance Method:	EUCLIDEAN
Row Standardization:	True
Distance Threshold:	32310.0000 Meters
Weights Matrix File:	None
Selection Set:	False

Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc), y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Gráfica 11. Autocorrelación espacial de la captura de huevos de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en los 7 municipios de Quetzaltenango, utilizando el método - Spatial autocorrelation (Morans I)

Moran's Index: 0.029683
z-score: 0.714307
p-value: 0.475037



Global Moran's I Summary	
Moran's Index:	0.029683
Expected Index:	-0.019231
Variance:	0.004689
z-score:	0.714307
p-value:	0.475037
Dataset Information	
Input Feature Class:	all_catched
Input Field:	HUEVOS
Conceptualization:	INVERSE_DISTANCE
Distance Method:	EUCLIDEAN
Row Standardization:	False
Distance Threshold:	32310.0000 Meters
Weights Matrix File:	None
Selection Set:	False

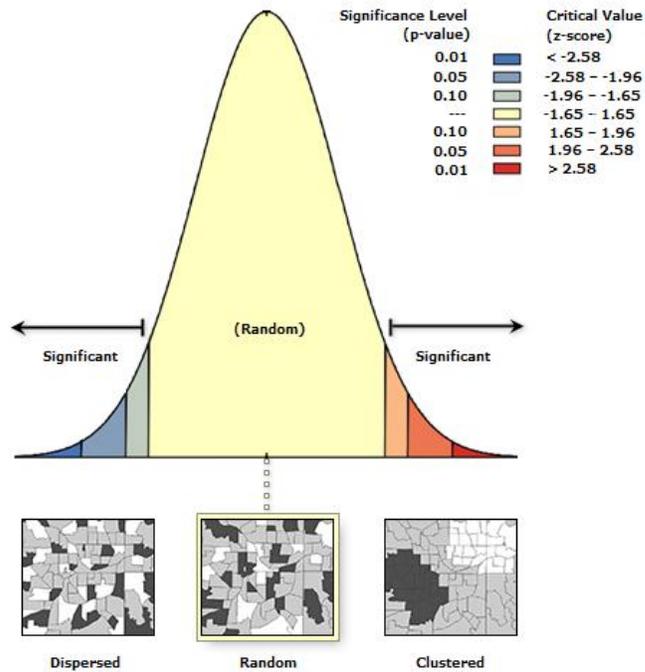
Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc)., y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Gráfica 12. Autocorrelación espacial de la captura de ninfas de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en los 7 municipios de Quetzaltenango, utilizando el método - Spatial autocorrelation (Morans I)

Moran's Index: -0.010790

z-score: 0.143294

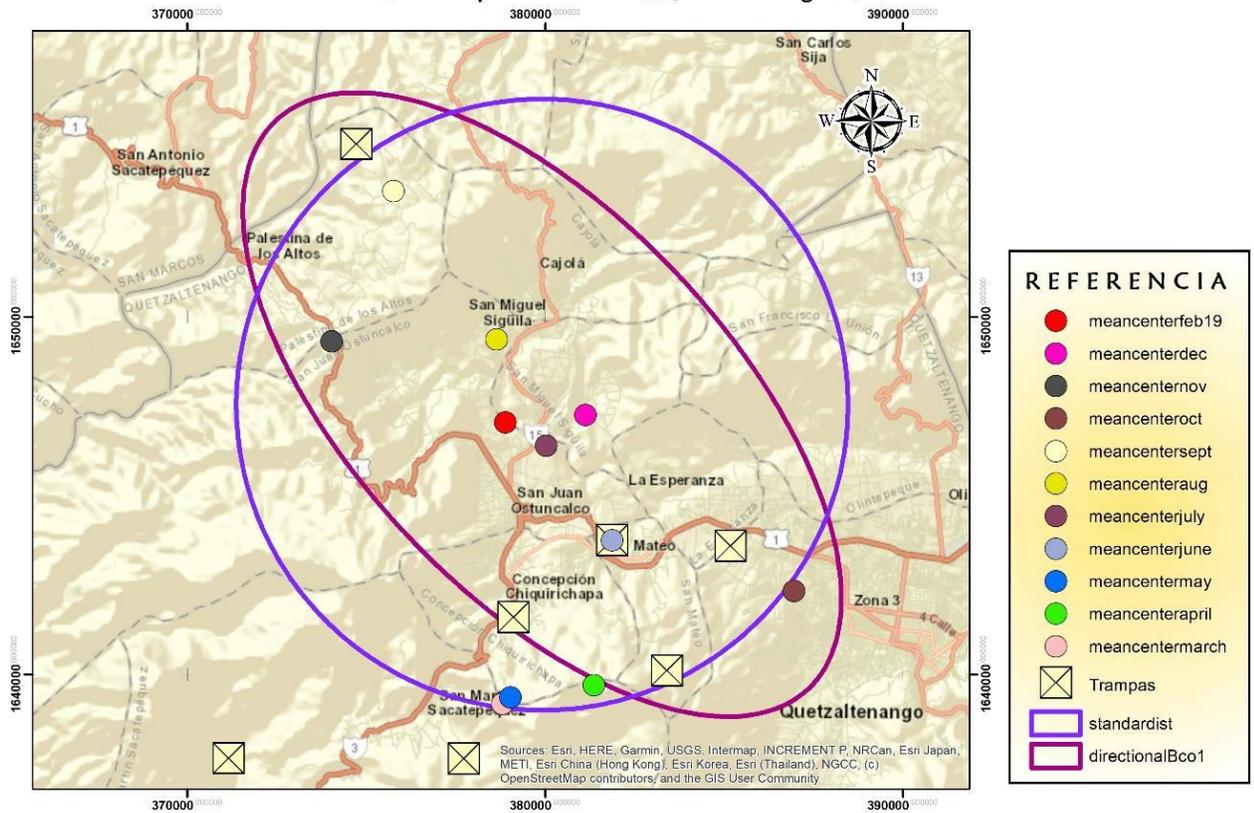
p-value: 0.886058



Global Moran's I Summary	
Moran's Index:	-0.010790
Expected Index:	-0.019231
Variance:	0.003470
z-score:	0.143294
p-value:	0.886058
Dataset Information	
Input Feature Class:	all_catched
Input Field:	NINFAS
Conceptualization:	INVERSE_DISTANCE
Distance Method:	EUCLIDEAN
Row Standardization:	False
Distance Threshold:	32310.0000 Meters
Weights Matrix File:	None
Selection Set:	False

Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc)., y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

Figura 2. Seguimiento de los cambios en la distribución de *Bactericera cockerelli* (Sulc), en los 7 municipios del estudio, Quetzaltenango 2018.



Fuente: Base de datos Análisis de distribución espacial, comportamiento de *Bactericera cockerelli* (Sulc), y presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum*, en Quetzaltenango.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados del análisis de los datos obtenidos en la investigación. Estos resultados muestran el comportamiento y la estacionalidad de *Bactericera cockerelli* (Sulc) en siete municipios del departamento de Quetzaltenango en el período de enero 2018 a febrero 2019, la variabilidad del clima y su relación con la presencia del insecto, la dispersión del insecto en estos siete municipios y por último la presencia o ausencia de *Candidatus Liberibacter*.

6.1 Variable Comportamiento y estacionalidad de *Bactericera cockerelli* (Sulc)

Comportamiento:

Durante la época de invierno catalogada dentro de los meses de mayo a octubre, se pudo observar que la presencia del insecto en su estadio adulto tanto de machos y hembras se mantuvo en el rango de infestación alta, mostrando un notable crecimiento durante la época de verano en seis de los municipios trabajados, Gráfica 1. En San Martín Sacatepéquez la infestación fue baja en la época de invierno, sin embargo, en verano cambia el estatus a infestación alta principalmente en hembras, machos y ninfas, probablemente porque en este municipio en específico en la aldea El Rincón, la época de siembra es solamente durante el verano, cambiando un poco el patrón de producción en comparación con los otros seis municipios.

El incremento de la población de invierno a verano en machos fue del 46%; de hembras 54%; de huevos 80% y de ninfas en un 81%; este resultado muestra una similitud en un estudio realizado en 2015 por Thinakaran et al; donde indica que durante los períodos en los que no hay cultivo o hay menor población de plantaciones de papa, los insectos permanecen en plantas hospederas y aumentan las poblaciones al inicio y al final de cada estación, incrementando la oviposición justo al final del ciclo del cultivo. Estos datos son de mucha importancia para determinar el patrón de movimiento del insecto, la dinámica de la población de este insecto que puede contribuir en la toma de decisiones de infecciones por *Candidatus Liberibacter* entendiendo la epidemiología de la enfermedad. (30)

La ubicación del insecto dentro la parcela fue homogénea en todas las localidades del estudio, no se puede decir que hubo más del insecto en alguna porción de la unidad parcelaria. Para ello se sectorizó la parcela como se puede ver en la Figura 1, y estadísticamente los datos obtenidos reflejan que no hay diferencia significativa entre sectores, obteniendo un valor de P de 0.9331 para la captura que se obtuvo de huevos; un valor de P de 0.7883 para la captura de ninfas; un valor de P de 0.9481 para la captura de machos; y finalmente, un valor de P de 0.3542 para la captura de hembras. Se hizo un análisis de varianza no paramétrica con el estadístico Kruskal Wallis, debido a que los datos no presentan una distribución normal y las varianzas fueron muy marcadas siendo los datos de escala nominal. (28)

Evaluando el efecto que hubo entre las capturas de los diferentes estadios de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), con respecto a los estratos de la planta puede acotarse lo siguiente:

La oviposición que hace el psílido de la papa tiene una relación estrecha con el estrato de la planta Cuadro 8, encontrándose que hubo diferencia significativa entre estratos de la planta, obteniendo un valor de P de <0.0001 , estos son los estratos alto y medio los que predominan para la postura de huevos tanto en época de invierno como en verano.

Las capturas de ninfas muestran una diferencia significativa obteniéndose las mayores capturas en los estratos alto y medio de la planta, obteniendo un valor de P de <0.0001 , principalmente en el verano. En el invierno el comportamiento es un poco diferente porque los datos reflejan un comportamiento similar entre los estratos de la planta, Cuadro 9. Sin embargo, se hace una inferencia, como se crea un microclima en la planta, la acumulación de humedad no le agrada o le favorezca a la ninfa y tenga una preferencia de estar más en la parte alta de la planta donde hay más ventilación y la temperatura sea más agradable.

Los adultos de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), tienen una preferencia en los estratos alto y medio de las plantas, encontrándose un valor de P de < 0.0001 , principalmente en la época de verano. En el invierno, la clasificación no marca una diferencia, siendo todos los estratos de la planta iguales, Cuadros 10 y 11.

Los resultados de este estudio demostraron que la preferencia del psílido de la papa está en los primeros dos estratos de la planta, donde se dan los brotes nuevos, hojas nuevas y existe mejor estructura en la planta. Cuando se da el invierno ya no son tan marcadas estas preferencias y esto puede deberse a que hay más humedad dentro de la planta por existir un distanciamiento poco adecuado entre las plantas y los surcos, pero también puede deberse a que la planta en época de invierno va perdiendo su erección con lluvias y vientos y van postrándose, perdiendo la definición de los estratos. (31)

Sin embargo, realizando una comparación de estos resultados con un estudio similar presentado por Garzón el cual fue analizado también por Ramírez (7) los resultados no coinciden ya que ellos indican que dicho insecto no presenta preferencia por algún tipo de estrato de la planta. (7)

Es destacable mencionar que la variabilidad de las temperaturas en todos los municipios registradas, pudo haber jugado un factor importante porque hubo temperaturas que alcanzaron y superaron los $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, principalmente en las horas del mediodía, por lo que pudo haber hecho que *Bactericera cockerelli* (*Sulc*)., buscara los primeros dos estratos de la planta, dado que el distanciamiento entre plantas y- calles es muy estrecho, y esto genera un microclima más fresco que permitía un desarrollo óptimo de las poblaciones. (32)

Las trampas amarillas que fueron puestas en sentido cardinal determinaron la presencia y/o ausencia del psílido de la papa, pero también debía revelar la preferencia del insecto. En otras palabras, puede decirse que en el presente estudio no hubo diferencia significativa entre las capturas y la colocación de las trampas en el Norte, Sur, Este, Oeste y a 1.5 Km de

distancia de las parcelas, obteniendo un valor de P de 0.1397. Este análisis se hizo con el conteo de la familia Triozidae, a la cual pertenece *Bactericera cockerelli* (Sulc), sin embargo, cuando se analiza las capturas por separado, machos y hembras, si se ve alguna significancia únicamente con los machos, viéndose que las capturas obtenidas en las trampas Norte y Este presentan una diferencia significativa al resto de trampas, obteniendo un valor de P de 0.0486.

Los productores de papa invierten grandes cantidades de dinero tratando de controlar al insecto y evitar en lo posible la infestación de *Candidatus Liberibacter*, pero estos tratamientos no son efectivos justamente porque no han logrado identificar sus hábitos, el hecho que exista menor cantidad de adultos, pero gran cantidad de huevos en relación directa con ninfas sólo demuestra que la forma de aplicación de los insecticidas logra reducir las poblaciones del adulto de forma parcial. Así también demuestra que las áreas de aplicación generalmente se concentran más en las plantas externas en donde les es más fácil realizar la fumigación. (33)

Durante la investigación se observó que la forma de aplicación de los insecticidas para el control de esta plaga se aplica mayormente en el haz de las hojas, restándole importancia a la aplicación en el envés de estas. Según el comportamiento del psílido su desarrollo lo lleva a cabo principalmente en esta parte de la planta.

Es importante mencionar que utilizar los sectores sólo permitió estudiar una proporción de la unidad parcelaria, pero que la media de la densidad de plantas versus la incidencia del insecto es sumamente valiosa para comprender la preferencia del insecto en alguno de sus estadios por una estructura espacial en particular. (34)

De los datos relevantes que ayudan a determinar el comportamiento de la oviposición de *Bactericera cockerelli* (Sulc) es saber cuál es su preferencia de ubicación en el hospedero, esto ayuda a comprender cómo es el movimiento del insecto y la dinámica de la población. La mayor parte de las capturas de insecto adulto se logró en los 40 días después de la siembra de acuerdo con la fenología del cultivo y de huevo a los 60 días después de la siembra. Un estudio realizado por Thinakaran (30) indica similitud en relación con los resultados de este estudio, este resultado da soporte a la teoría que los adultos ovipositan en el lugar en donde se establecen de forma definitiva, pero previo a la oviposición se alimentan lo suficiente para poder reproducirse, lo que coincide con la espacialidad entre los 40 y 60 días post siembra, además de coincidir con el hecho biológico que una hembra puede ovipositar hasta 500 huevos en un período de 21 días y hasta 1500 si ha alcanzado su madurez. (11)

Los resultados del estudio determinaron que la mayor captura de machos y hembras adultas se realizó en el estrato alto y coincide con el número de huevos y ninfas que se encontraron ubicados mayormente en el estrato alto y medio en todos los municipios, no se marcó una diferencia significativa entre las siete localidades, Figuras 14-17. En múltiples estudios realizados en el cultivo de papa sobre *Bactericera cockerelli* (Sulc), se reportó que los adultos se encontraron en los dos tercios superiores de la planta, pero que en algunas ocasiones prefieren ubicarse en plantas nuevas cuyo crecimiento no es tan fuerte, lo cual explica el porqué de encontrar huevos y ninfas en el estrato bajo de la planta como en los municipios

de Concepción, Quetzaltenango, San Juan Ostuncalco, Palestina de Los Altos y la Esperanza; pero que eventualmente con el crecimiento pasarán a categoría de estrato alto. (34) (40)

Estacionalidad:

Debido a que los insectos en los vegetales se desarrollan según un tiempo fisiológico, determinado por las condiciones climáticas y no por un tiempo cronológico (minutos, horas, días) como en los animales de sangre caliente, se realizó el monitoreo en época de invierno y verano, las dos estaciones que se marcan en Guatemala.

Invierno

En el cuadro 7 se puede ver estadísticamente una diferencia significativa entre invierno y verano. Siendo en esta época donde se contabilizaron la menor cantidad de capturas del insecto.

Puede verse a través de los datos de capturas que se hicieron en las trampas amarillas que en la época de invierno se presentó un pico importante en las capturas del psílido. Siendo en el mes de agosto de 2018, principalmente en San Juan Ostuncalco y Palestina de los Altos. Estos datos se comparan con otros estudios realizados en España e Islas Canarias donde se han colectado la mayor cantidad de especies durante en el mes de agosto. Mientras que, en Texas, Nebraska, Colorado y Nuevo México, *B. cockerelli* aparece a principios de junio y empieza a incrementarse a mediados de julio y vuelve a decrecer a finales de agosto. (37)

Munyanza et al. reportó que *B. cockerelli* empieza a aparecer a finales de julio y el incremento de la población varía con los años y se registraron a finales de agosto a la tercera semana de septiembre en los estados de Yakima y Benton del estado de Washington. (12)

Verano:

Por las condiciones climáticas y particularidades del verano en el territorio, se observó que iniciando el verano empezó a hacerse presente *Bactericera cockerelli* (Sulc.), en la primera semana de noviembre de 2018, que continuó hasta finales de febrero de 2019 cuando se terminó el proyecto. En esta temporada los repuntes de la presencia del insecto fueron en los municipios de Palestina de los Altos, Quetzaltenango y San Juan Ostuncalco, con un promedio de temperatura de 14 °C.

Se pudo observar que terminando las lluvias de finales de octubre empezó a mostrarse la presencia de este insecto, debido a que el psílido busca plantas hospederas y a que los agricultores van dejando remanentes de cosechas anteriores que sirven como repositorios para que el mismo permanezca en estos lugares.

Otro factor que probablemente influyó en el incremento de la población fue la preferencia del psílido de la papa por plantas adultas que adquieren coloraciones amarillas, las cuales atraen a los insectos, tal como lo refiere Mohammad. (38)

Y, por último, el manejo agronómico es muy importante mencionarlo, todos los productores de papa para la aplicación de pesticidas asperjan de arriba hacia abajo y resulta que la biología de *Bactericera cockerelli* (Sulc), se comporta de manera diferente, porque la postura de los huevos y las ninfas siempre se encuentran en el envés de las hojas y esto hace que sea más difícil alcanzarlas con el insecticida de contacto asperjado. (38)

Huevos:

El cuadro 13, muestra los resultados obtenidos de una regresión logística encontrando que hay significancia según los P valores de la temperatura media, mínima y la del promedio del día siendo sus valores 0.0131, 0.0454, 0.0023, respectivamente. Se dice que temperaturas de 27 °C favorece el desarrollo y supervivencia de los huevos, temperaturas bajo 15 °C o sobre 32 °C afecta adversamente, reduce la puesta de huevos y la eclosión, por tal razón este factor pudo influir diezmando la oviposición de más generaciones. (39)

Otro valor significativo se obtiene con la humedad promedio del día P – valor 0.0039, no encontrándose significancia en los datos de humedad relativa mensual, mínima y máxima.

La lectura que se le puede dar a la significancia de la temperatura por día es debido a esa fuerte variabilidad que se marca durante el día, mientras que contabilizando los datos mensuales de temperatura se va enmascarando y suavizando la variabilidad.

Ninfas

Las temperaturas mínimas, media y del día (p – valores de 0.0059; 0.0003; 0.0005) respectivamente; humedad durante el día y media (p - valores de 0.0042; 0.00448), respectivamente, tienen un efecto sobre el desarrollo de las ninfas, así como la humedad máxima y del día (p – valores de 0.0473; 0.0008), Cuadro 14.

Este efecto significativo también pudo interrumpir el desarrollo de estos 5 estadios que presenta el insecto.

Adultos:

El cuadro 12 refleja que hubo diferencia estadística significativa en la humedad relativa y la temperatura diaria. Es importante mencionar que cuando se analizan los registros diarios de temperaturas, se analiza entonces mayor variabilidad, encontrándose temperaturas mínimas de -1.384 °C hasta los 45.593 °C. Estas fluctuaciones entonces van a influir en el no desarrollo de los diferentes estadios de *Bactericera cockerelli* (Sulc).

Con los análisis anteriores, es necesario destacar que el psílido de la papa, pese a que su óptimo desarrollo biológico es entre los 22 – 27 °C, éste ha venido adaptándose a nuevas condiciones climáticas, ampliando su rango de temperaturas e incluso de humedades relativas.

6.2 Variable Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso)

De las capturas mensuales realizadas de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*) en la unidad parcelaria para determinar presencia o ausencia de CaLso en el vector, no se obtuvo ningún resultado positivo, pero en un estudio realizado en Texas sucedió lo mismo, ninguno de los especímenes a quienes se les realizó la prueba de PCR en tiempo real resultó positivo. Lo importante de esto es que dado el comportamiento del insecto a través de ese estudio las colonias que pueden dar positivo a CaLso, eventualmente en el tiempo pueden perder el patógeno y resultar negativos en la prueba de PCR, las razones por las que pierden el patógeno se desconocen aún, es por eso la importancia de realizar estudios de biología molecular que determinen la relación entre el patógeno y el vector, o su relación/identificación con los cuatro haplotipos que se conocen en la actualidad. Eso en resumen indica que sigue siendo de alto riesgo la presencia del vector, ya que un solo insecto infectado puede causar la pérdida de toda una plantación. (40) (14)

El resultado positivo obtenido de CaLso en una planta con sintomatología a través de prueba de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), que se da en San Juan Ostuncalco, muestra una alta relación con la presencia del vector tanto en época de invierno y de verano ya que este municipio mantuvo el estatus de infestación alta en ambas estaciones en huevo, ninfa, adulto hembra y adulto macho. Un solo adulto puede ser capaz de inocular una planta de papa con CaLso entre un período de inoculación tan corto como dos hasta seis horas y causar daños al equivalente que causan 25 psíldos por cada planta. (14) (41)

La temperatura promedio de San Juan Ostuncalco en invierno fue de 16.00 °C, en verano fue de 15.67 °C, habiendo una mínima diferencia de 0.33 °C, sin embargo, la humedad relativa si marca una gran diferencia promedio entre ambas épocas de 12.92 % (Invierno: 74.18%; Verano: 61.25%), CaLso puede aletargarse en temperaturas bajas, pero habiendo una humedad relativa alta hace que no se inactive totalmente, en este caso fue un factor positivo para la presencia de CaLso, ya que no es tolerante a altas temperaturas. (14)

CaLso es una enfermedad emergente capaz de producir grandes pérdidas a la industria de la papa, por lo que es imperativo que los mecanismos que utilizan los vectores de esta enfermedad sean identificados correctamente para poder dar fin al ciclo evolutivo. Diferentes estudios y los resultados de éste indican fehacientemente que el psílido es el principal transmisor de la enfermedad, sin dejar a un lado la posibilidad de que se transmita a través de la práctica del injerto. Independientemente de cuál sea el mecanismo las malas prácticas de los productores al permitir el crecimiento de plantas voluntarias en los terrenos sigue siendo parte vital del ciclo tanto del vector como de la enfermedad. (16)

6.3 Variable ambiental

La interpolación de variables a través de métodos geoestadísticos permite relacionar los factores que determinan la presencia o ausencia de un evento en una condición climática en particular. (42)

Se ha demostrado en diversos estudios que los factores ambientales incluyendo temperatura y humedad relativa tienen un efecto significativo en el desarrollo y distribución de diferentes especies de *Liberibacter* y de sus vectores. En Norte y Sur América y otras partes del mundo tanto el vector como las especies de *Liberibacter* se han vuelto altamente resistentes a los cambios bruscos de temperatura y de humedad relativa y se han mostrado casos de presencia hasta de 35°C con humedad relativa de 70%. (49)

Las mayores capturas de adultos como se puede ver en la Gráfica 7, fueron en humedades que rondan el 70% hasta el 90% de humedad; mientras que el rango de las temperaturas está entre los 10 a 18 °C. En el caso de los huevos las mayores eclosiones se dan a partir del 50% de humedad hasta el 90%, mientras que las temperaturas reflejan el mismo comportamiento que en la captura de los adultos. Las ninfas reflejan el mismo comportamiento que en los huevos.

Los modelos lineales tienen la ventaja de ser fácilmente interpretables, sin embargo, en la presente investigación se tuvo que hacer uso de añadir curvatura al modelo introduciendo nuevos predictores que se obtienen al elevar todos o algunos predictores originales a distintas potencias, tal como se hizo en este caso, para ajustar mediante una regresión lineal por mínimos cuadrados y mantener una interpretabilidad alta. (43). De lo contrario, la temperatura no hubiese dado significancia estadística en la presente investigación.

Por tal razón para el análisis de los estadios del psílido de la papa, la humedad relativa se colocó en segundo orden y la temperatura en tercer orden para el caso de los adultos; en el estadio de huevos, se realizó una regresión lineal simple obteniéndose datos confiables; finalmente para el estadio de ninfas se utilizó el segundo orden para obtener la significancia estadística, Cuadros 8-12.

En el único caso positivo de CaLso en este estudio, la temperatura promedio durante el período de presencia de enfermedad fue de 16.02°C con una mínima de 9.08°C y una máxima de 22.6 °C, las temperaturas bajas en la región Occidente y en este caso en el departamento de Quetzaltenango muestran resultados similares con estudios en los que el efecto de la temperatura en CaLso y el desarrollo de Zebra Chip o enfermedad de la papa rayada expresan sus síntomas fuertemente; sin embargo, estos resultados también demuestran que estas bajas temperaturas pueden inhibir la presencia de la bacteria pero no previenen del todo que eventualmente aparezca, considerando que los picos altos de temperatura pueden jugar un papel importante para activar o aletargar al vector y a la bacteria, principalmente en los lugares en donde su fuente de alimento como lo es la papa necesita una temperatura ideal para su producción de 17°C a 23°C. Además, se ha establecido que no todas las poblaciones de *B. cockerelli* albergan CaLso, y colonias que dan positivo para CaLso en un momento a otro pueden perder más tarde el patógeno y por consiguiente obtener una prueba negativa. Se

desconocen las razones de la desaparición de patógenos de colonias previamente infectadas; esto pone en relieve la necesidad de estudios adicionales a la interacción de vector – patógeno. (30)

Es importante establecer que la humedad relativa promedio de 63.98% que se cuantificó durante el período de la presencia de la bacteria en este estudio, coincide con el 70% de humedad que favorece la presencia del vector según datos de Munyaneza.

En resumen, los resultados del presente estudio indican que la temperatura es un elemento determinante para el desarrollo tanto de la enfermedad de Zebra Chip y de su agente causal, así como también de su vector. Esta sensibilidad a las temperaturas ayuda grandemente a explicar de forma parcial la incidencia, severidad y distribución de la enfermedad en un área o región específica. (49) Pese a que se registraron humedades relativas hasta del 100 %, la temperatura nunca estuvo en las condiciones óptimas para el buen desarrollo del psílido de la papa (22 – 27°C). Otro aspecto para considerar en cuanto a la temperatura es que hubo picos muy altos de hasta 40 °C, y esto pudo ocasionar el cese de crecimiento como lo refiere Cranshaw. Por tal razón las condiciones ambientales inciden en la incidencia y desarrollo del psílido de la papa. (44)

En cuanto al vector, en este estudio se puede inferir que prefiere la temperatura media, humedad relativa media, para alcanzar un grado de infestación media. Todos los factores ambientales deben alinearse para que esto suceda, puede sufrir alteraciones y aun así seguir siendo un factor de riesgo para la presencia de la enfermedad, debido a que es suficiente un solo vector infectado para producir grandes pérdidas.

Aunque los enemigos naturales no estaban contemplados como variable “ambiental”, es necesario mencionar que este factor pudo también incidir en la libre evolución de *Bactericera cockerelli* (Sulc), debido a la presencia de Coccinellidae, que son depredadores del psílido de la papa, según lo señaló Wallis en 1955 (46)

Los resultados nos permiten confirmar la constante térmica observada en campo, la cual coincide con la literatura, aunado al registro de 4 vuelos generacionales dentro de la fenología del cultivo. Lo transcurrido entre vuelo de adultos y aparición de ninfas en tres eventos resalta el hecho de que el insecto declina poblacionalmente cuando la humedad relativa (HR) se encuentra en valores bajos (20- 42%). (11)

6.4 Variable de dispersión

En la historia se ha reportado mapas de distribución espacial desde 1978, en esta discusión hasta el momento, se ha asumido que la base de los mapas en los cuales se puede plotear el patrón de una enfermedad, plaga o evento, aunque puede considerarse una moda, nos permite observar la rapidez con la que una plaga puede dispersarse en el tiempo y en el espacio en un patrón no necesariamente linear o estacional. (41)

Asociando estos datos y representándolo en un mapa, en este estudio la proporción de hembras en relación con machos fue menor tanto en invierno como en verano, esto no fue un cambio significativo en los siete municipios trabajados, como tampoco lo fue con la proporción encontrada de hembras y machos en las plantas.

Hasta el momento no existe ninguna publicación que reporte una relación predictiva entre el número de adultos encontrados en las plantas con el número de adultos capturados en trampas, referencia que se debe hacer dado que las poblaciones encontradas en este estudio en las trampas difieren en proporción de las encontradas en plantas, pero el patrón de más machos que hembras fue similar en los dos medios de captura. (36)

En cuanto a la preferencia del insecto para volar y poderse dispersar en los cultivos, se puede determinar de acuerdo con los resultados de este estudio, que tanto el macho como la hembra son capaces de moverse sustancialmente a grandes distancias, viajando entre cultivos de papa, sin embargo coincidiendo con la literatura determinar el patrón del movimiento sigue siendo aún un gran reto en investigación, ya que a pesar de determinar en este estudio que se dispersó de la parcela a favor del viento preferentemente de suroeste a noroeste; la presencia de tantas plantas hospederas y diversos cultivos no permitió definir completamente la capacidad de vuelo. (47)

En la gráfica 11, muestra la Autocorrelación de Morans I, que mide la autocorrelación espacial basada en las ubicaciones y los valores de las entidades de forma simultánea. Por lo que se evaluó si el patrón expresado está agrupado o disperso.

Para ello se colocó en el campo de ingreso la variable adultos capturados en trampa con el fin de ponderar esta variable y se obtuvo un valor de Z de 2.823660 y un P - valor de 0.004748, lo que significa que la distribución espacial de los valores altos y los valores bajos en el data set está más agrupada espacialmente de lo que se esperaría si los procesos espaciales subyacentes fueran aleatorios. Sin embargo, el índice de Moran computa 0.186946, el cual está cercano a cero, por lo que podría decirse también que el fenómeno (psílido de la papa) se distribuye aleatoriamente, según lo indica Siabato. (48)

En el caso de huevos y ninfas, Gráficas 12 y 13, el fenómeno si está claramente representado como aleatoriedad porque todos sus valores lo reflejan, incluso en el análisis con respecto a las ninfas existe un índice de Moran I negativo, indicando también un patrón aleatorio.

La Figura 2, muestra los cambios de distribución de *Bactericera cockerelli* (*Sulc*). Para ello se hicieron dos análisis de medición geográfica, el primero fue encontrar el centro medio

(mean center), que representa las coordenadas X y Y promedio de todas las entidades, en este caso se introdujo la variable de los adultos atrapados, para realizar el seguimiento de los cambios de distribución, se visualiza la elipse en color azul.

El segundo análisis fue la distribución direccional (Standard deviational), para resumir las características espaciales de las entidades geográficas, incluyendo la dispersión de la tendencia central y las tendencias direccionales, se visualiza la elipse en color magenta.

La desviación estándar obtenida fue de 8,550.23 metros que recae a una distancia estándar del centro medio, revelando los psíidos de la papa capturados. Las zonas más alejadas a esta distancia tienen un menor riesgo de presencia de este insecto y son probablemente zonas más seguras y adecuadas para la siembra de papas. Entendiéndose este comentario se refiere al área que abarcó el presente estudio.

También se observa que hay una tendencia direccional en la distribución del evento, que se representa mediante el uso de la elipse color magenta (standard deviational ellipse), indicando que la tendencia del psílido de la papa va de suroeste a noroeste.

Además, una inspección gráfica muestra grupos (clusters) de eventos en el centro, siendo este *Bactericera cockerelli* (*Sulc*), con menos entidades hacia la periferia. Estos son los puntos de distintos colores que se observan en la Figura 2.

Los adultos han demostrado que migran de forma masiva de norte a oeste e incluso hacia el sureste, principalmente en países en donde se marca la estación de primavera. Las formas inmaduras de *B. cockerelli* (*Sulc*) son esencialmente sedentarios, aunque se reporta que pueden transportarse grandes distancias, pero básicamente se debe al comercio de tubérculos.
(49)

Los adultos de *B. cockerelli* (*Sulc*) son excelentes voladores y pueden dispersarse por distancias considerables, especialmente a favor del viento y en temperaturas altas, Figuras 6-9.

En este caso los patrones de disposición en agregado pudieron originarse porque los individuos de la plaga lograron ocupar los sitios de oviposición y apareamiento, ya que el agrupamiento de individuos se puede generar por una característica de su comportamiento, por la presencia de gradientes en la densidad de la plaga, o por un ambiente heterogéneo que propicia el agrupamiento de individuos para explotar los sitios óptimos para su supervivencia.
(45)

7. CONCLUSIONES

1. Estadísticamente los diferentes estadios de *Bactericera cockerelli* (Sulc) tienen mayor preferencia entre los estratos alto y medio de la planta y no manifestaron ninguna preferencia entre los sectores que se establecieron en todas las unidades parcelarias.
2. Los puntos cardinales que se utilizaron para establecer las trampas amarillas más el transecto de 1.5 km de distancia a la unidad parcelaria, no marcaron estadísticamente diferencias significativas en cuanto si el insecto se mueve y alimenta en alguna zona local de la unidad productiva a lo largo del tiempo.
3. El obtener resultados negativos de presencia de CaLso en PCR, de muestras de vectores adultos capturados no es un indicativo de ausencia de enfermedad, este dato es de suma importancia, ya que el vector en algún punto de su ciclo de vida puede perder el patógeno por causas que aún se desconocen.
4. La estacionalidad del vector *Bactericera cockerelli* (Sulc), establece su preferencia en época de verano, incrementando sus poblaciones de invierno a verano en machos 46%, de hembras 54%, de huevos 80% y de ninfas en un 81%. Dato relevante que permite a los productores hacer mejores controles de plagas en cada época y cambiar los procedimientos de limpieza de terrenos evitando el crecimiento de plantas voluntarias entre cada época de siembra.
5. Los datos analizados de temperatura y humedad relativa marcaron estadísticamente diferencias significativas en el efecto que pueden provocar en el desarrollo de los diferentes estadios de *Bactericera cockerelli* (Sulc).
6. El psílido de la papa, pese a que su óptimo desarrollo biológico es entre los 22 – 27 °C, este ha venido adaptándose a nuevas condiciones climáticas, ampliando su rango de temperaturas e incluso de humedades relativas. En los resultados obtenidos puede decirse que el rango de temperaturas estuvo entre los 10 a 18 °C y humedades relativas que van del 70 al 90%.
7. La familia Coccinellidae pudo haber influido en la evolución de *Bactericera cockerelli* (Sulc), debido a que son depredadores naturales del mismo.
8. Analizando patrones espaciales se aplicó la técnica de Moran's I, indicando que el patrón de comportamiento de los adultos está más agrupado de lo que estaría bajo aleatoriedad espacial para obtener la ubicación de los clústeres actuales dado su valor Z, sin embargo, el índice 0.186946, estando cercano a 0, por lo que podría decirse que el insecto se distribuye aleatoriamente. En el caso de los huevos y ninfas, no

existe tal contrariedad, sino más bien todos los valores presentan un comportamiento aleatorio.

9. Existe una tendencia direccional en la distribución de *Bactericera cockerelli* (Sulc), indicando que la tendencia va de suroeste a noroeste según resultados de medición de distribución geográfica.
10. Los gráficos espaciales utilizados proporcionan una descripción sobre las tendencias centrales y direccionales, pero no logran detectar las áreas en las que se agrupa el psílido de la papa lejos del centro.

8. RECOMENDACIONES

1. Brindar asistencia técnica al agricultor para corregir las prácticas de aplicación de insecticidas que tienen para el control de *Bactericera cockerelli* (Sulc), debido a que dichas fumigaciones las hacen cubriendo principalmente el haz de la planta, cuando el hábito del psílido en casi todos sus estadios es ubicarse en el envés de las hojas.
2. Si una hembra puede ovipositar entre 500 a 1500 huevos en un período de 21 días, es importante que los controles de las plagas se realicen principalmente los días 40 a 70 después de la siembra dado que según el estudio son los días de más presencia tanto en invierno y verano.
3. Se recomienda realizar estudios de biología molecular y ecológicos que determinen la relación entre el patógeno y el vector y los factores que permitan el entendimiento de la razón por la que en alguna parte del ciclo biológico del insecto éste puede perder el patógeno.
4. Realizar una caracterización del haplotipo del vector y determinar cuál está presente en Guatemala.
5. Realizar estudios específicos que logren determinar el patrón de vuelo y de movimiento, para poder hacer proyecciones en cuanto a su dispersión y nivel de riesgo de propagación de enfermedad.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Franco, J. 2002. El cultivo de la papa en Guatemala. Guatemala, ICTA. MAGA, ICTA.
2. INE (Instituto Nacional de Estadística). 2003. IV Censo Nacional Agropecuario como III. Número de fincas censales, superficie cultivada y producción obtenida de cultivos permanentes y semipermanentes. Guatemala.
3. Palmieri, M. 2006. Caracterización de patógenos, vectores y hospederos de la papa rayada en Guatemala. Guatemala. Proyecto FODECYT
4. Espinoza, H. 2014. Hoja Técnica. Psílido de la papa, *Bactericera cockerelli*, Un problema que podemos manejar. Honduras. USAID.
5. Méndez LG. 2013. Determinación del agente causal de la enfermedad conocida como Moradillo en los cultivos de tomate y papa en Guatemala, por medio de técnicas moleculares.
6. Gharalari, AH; Nansen, C; Lawson, DS; Gilley; J; Munyaneza JE; Vaughn, K. 2009. Knockdown Mortality, Repellency, and Residual Effects of Insecticides for Control of Adult *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae). J. Econ. Entomol: 102(3): 1032-1038
7. Ramírez, JF. 2013. Modelización de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* (Sulc). En *Solanum tuberosum* L. México.
8. Moral FJ. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. 2004 revista AEET España. 2004.
9. Xicay, R. 2014. Evaluación de insecticidas en diferentes aplicaciones al follaje y aplicaciones al suelo para el control de paratíozia (*bactericera cockerelli*) en el cultivo de papa (*solanum tuberosum*), diagnóstico y servicios realizados en bayer S.A., departamento de desarrollo agronómico, Guatemala, C.A. Tesis (Ing. Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 89p
10. Colo, S. 2005. Determinación de la presencia de nematodos de quiste asociados al cultivo de papa *Solanum tuberosum* L., en los municipios de Tecpán Guatemala, San José Poaquil y Santa Apolonia, Chimaltenango. Tesis (Ing. Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 56 p

11. OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria). 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. en línea). 1 ed. México: Consultado el 24 de may. 2016.
12. Munyaneza, J. E. Crosslin J. M. & Buchman L. J. 2009. Seasonal Occurrence and abundance of the Potato Psyllid, *Bactericera cockerelli*, in South Central Washington. *American Journal of Potato Research*. 86 (6): 513 – 518.
13. Abdullah, N. 2008. Life history of the Potato Psyllid *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) in Controlled Environment agriculture in Arizona. *African Journal Research* 3 (1): 60-67
14. Munyaneza, J. 2015. Zebra Chip disease, *Candidatus liberibacter*, and potato psyllid: a global treat to the potatoe industry. *Am. J. Potato Res.* 92(15) 230-235
15. Goolsby, JA; Bextine, B; Munyaneza, JE; Setamoul, M; Admaczyk, J; Bester, G. 2007. Seasonal Abundance of Sharpshooters, Leafhoppers, and Psyllids Associated with Potatoes Affected by Zebra Chip Disorder. *Subtropical plant Science*: 59: 15-23
16. Secor, GA; Rivera, VV. 2009. Association of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ with Zebra Chip Disease of Potato Established by Graft and Psyllid Transmission, Electron Microscopy, and PCR. *Plant Disease*. 93:574-583
17. Wen, A; Mallik, I. 2009. Detection, Distribution, and Genetic Variability of ‘*Candidatus Liberibacter*’ Species Associated with Zebra Complex Disease of Potato in North America. *Plant Disease*: 93 (11) 1102-1115
18. Figueredo, E. Vargas, Y. Hernández, M. 2008. El diagnóstico y su papel en la fitoprotección. *Temas de Ciencia y Tecnología*: 12(35) 47-54
19. RocScience (Software tools for rock and soil). 2003. *Geostatistics*. (en línea). 1 ed. Consultado el 24 de may. 2016. Disponible en: <https://rocscience.com/documents/pdfs/uploads/7770.pdf>

20. Henao, R. 2005. Introducción a la Geostatística. (en línea). 1 ed. Colombia: Consultado el 24 de may. 2016. Disponible en: ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/projects/Cursos_Talleres/Curso_R/DOCUMENTOS/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA.pdf
21. Serra, G. 2005. Manejo integrado de plagas, monitoreo y muestreo. Tesis (Magister Biología) Argentina: Facultad de ciencias agropecuarias. 11p
22. Ramírez, J. Porcayo, E. Sánchez, J. 2011. Análisis de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (hemiptera: triozidae) en *Solanum tuberosum*. México. Universidad del Valle 12(1):12-24
23. Hill, J; Willanson, C. 2004. Methods for Ecological Monitoring of coral Reefs. (en línea). 1 ed. Australia: Consultado el 25 de may. 2016. Disponible <https://www.cbd.int/doc/case-studies/tttc/ttc-00197-en.pdf>
24. Sampieri, R; Fernández, C; Baptista, M. 2014. Metodología de la Investigación. 6 ed. México, D.F. 613 p.
25. Dita, M.A. Echegoyen, P.E. Pérez, L.F. 2013. Plan de contingencia ante un brote de la raza 4 y tropical de *Fusarium oxisporum* f. sp. cubense en un país de la región del OIRSA. (en línea). 1 ed. México: Consultado el 24 de may. 2016. Disponible en: <https://www.oirsa.org/contenido/biblioteca/PlandecontingenciacontraFocR4TOIRS A.pdf>
26. SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 2019. Manual técnico operativo. México: Consultado el 24 de may. 2016. Disponible en: <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Accion%20operativa/Manual%20operativo/Manual%20operativo%20VEF%202019.pdf>
27. Rashed, A; Workneh, F; Paetzold, L; Gray, J; Rush, CM. 2013. Zebra Chip Disease development in Relation to Plant Age and Time of ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ Infection. *Plant Disease*: 98:24-31
28. Graham. 2018. The research skills Kruskal-Wallis handout, version 1.0. Consultado el 7 de may. 2020. Disponible en: <http://users.sussex.ac.uk/~grahamh/RM1web/Kruskal-wallis%20Handoout2011.pdf>
29. Amat, R. 2016. Kruskal-Wallis Test. Consultado el 24 de may. 2020 disponible en: https://rpubs.com/Joaquin_AR/219504

30. Thinakaran, J; Pierson, E.A; Longnecker, M, Thamborinderguy, C, Munyaneza, J.E. 2015. Settling and Ovipositional Behavior of *Bactericera cockerelli* (Hemiptera:Triozidae) on Solanaceous Hosts Under Field and Laboratory conditions. *J Econ. Entomol* 108(3): 904-916(2015)
31. D C Henne, D.C. Workneh, F, Rush, C.M. 2010. Movement of *Bactericera Cockerelli* (Heteroptera: Psyllidae) in Relation to Potato Canopy Structure, and Effects on Potato Tuber Weights. *J Econ Entomol*;103(5):1524-30
32. Butler, C. Trumble, John. 2012. The potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Sulc) Hemiptera: Triozidae): life history, relationship to plant diseases, and management strategies. *Terrestrial Arthropod Reviews*; 5(2):87-111
33. Ramírez, J. Porcayo, E. Sánchez, J. 2012. Spatial behavior comparison of *bactericera cockerelli* (Sulc) (hemiptera: triozidae) in México. *UAEM, Neotrop Entomol*: 41:9-16
34. Paul, E. Fletcher, S.J. 2001. Dynamics in the Spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera:Chysomelidae). Pennsylvania State University. *Environ. Entomol.* 30(2): 350-364
35. Prager, S. Butler, C. Trumble, T. 2014. A binomial sequential sampling plan for *Bactericera Cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) in *Solanum lycopersicum* (Solanales:solanacea). *Econ. Entomol* 107(2):838-845(2014)
36. Walker, G. MacDonald, E. Larsen, N. Wright, L. et.al. 2013. Sub-sampling plants to monitor tomato-potato psyllid (*Bactericera cockerelli*) and associated insect predators in potato crops. *New Zealand Plant Protection* 66:341-348 (2013)
37. Djaman, K. Higgins, C. Begay, S. Koudahe, K. Allen, S. Lombard, K. O'Neill, M. 2019. Seasonal Occurrence of Potato Psyllid (*Bactericera Cockerelli*) and Risk of Zebra Chip Pathogen (*Candidatus Liberibacter Solanacearum*) in Northwestern New Mexico. *Insects*; 11(1):3
38. Mohammad A., A. 1999. Integrated pest management of tomato/potato psyllid, *Paratrioza cockerelli* Sulc. (Homoptera: Psyllidae) with emphasis on its importance in greenhouse grown tomatoes. Ph. D. Dissertation. Colorado State University. Fort Collins, Colorado State, USA. 72 p.

39. Villanueva, O.K. 2015. Caracterización molecular del receptor de la vitelogenia en *Bactericera cockerelli* Sulc, 1909. Universidad Autónoma Nuevo León. Fac. Ciencias Biológicas. México. 1-86 p.
40. Henne, D. Workneh, F, Rush, C. 2010. Movement of *Bactericera cockerelli* (Heteroptera: Psyllidae) in relation to potato canopy structure, and effects on potato tuber weights. Entomological society of America 103(5):1524-1530 (2010).
41. Butler, D. Trumble, J. 2012. Spatial dispersion and binomial sequential sampling for the potato psyllid (Hemiptera: Triozidae) on Potato. Pest Manag Sci 2012; 68:865-869
42. Kurtzman, D. Kadmon, R. 1999. Mapping of temperature variables in Israel: a comparison of different interpolation methods. Climate research. Vol. 13:33-43 (1999) Vinuesa, R. 2016. Regresión lineal simple y polynomial: teoría y práctica. CCG-UNAM. Consultado el 20 de may. 2016. Disponible en:
https://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema9_regresion.pdf
43. Cranshaw, W.S. (2001). Diseases caused by insect toxin: psyllid yellows. In Compendium of potato diseases -second edition. (ed) W.R. Stevenson, R. Loria, G.D. Franc, and D. P. Weingartner, 73-74. St. Paul, MN: APS
44. Crespo, L. Vera, J. Bravo, H. et.al. 2012. Distribución espacial de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (HEMIPTERA: TRIOZIDAE) en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* (Brot.) México. Agrociencia vol.46 no.3 (2012)
45. Wallis, R.L. 1955. Ecological studies on the Potato psyllid as a pest of potatoes. Technical bulletin 1107. US-Dep. Of Agriculture. University of Virginia Library. 1-24 p.
46. Henne, D. 2012. Spatial patterns and spread of Potato Zebra chip disease in the Texas Panhandle. Texas. Plant Disease/vol. 96:7
47. Siabato, W. Guzman, J. 2018. La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. Revista Colombiana de Geografía 28 (1): 1-22
48. Munyaneza, J. Sengoda, V. Buchman, J. Fisher, T. 2012. Effects of Temperature on ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ and Zebra Chip Potato Disease Symptom Development. Konnowak, Plant Dis. 96:18-23

49. European and Mediterranean Plant Protection Organization. 2013. *Bactericera cockerelli*. Boletín OEPP/EPPO Boletín 43 (2), 202–208

10. ANEXOS

Cuadro 18. Proporción de la entomofauna capturada en la época de invierno y verano en los 7 municipios de Quetzaltenango de enero 2018 a febrero 2019.

	Época			
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	3	.1	.1	.1
Invierno	3090	52.9	52.9	52.9
Verano	2751	47.1	47.1	100.0
Total	5844	100.0	100.0	

Cuadro 19. Recuento de la entomofauna encontrada durante la época de invierno y verano capturada en los 7 municipios de Quetzaltenango de enero 2018 a febrero 2019.

Epoca	Plaga	Plaga	Cantidad		
			Recuento	Recuento	>30 Recuento
			3	0	0
Invierno		Agromyzidae	73	1	16
		Aleyrodidae	107	2	17
		Anisopidae	1	0	0
		Anthocoridae	1	0	0
		Anthomyiidae	43	0	0
		Aphididae	101	3	21
		Bibionidae	7	0	0
		Biblionidae	0	1	0
		Calliphoridae	2	2	0
		Cantharidae	17	0	1
		Carabidae	1	0	0
		Cecidomyiidae	83	0	0
		Cerambycidae	3	0	0
		Chalcididae	2	0	0
		Chloropidae	51	1	0

Chrysomelidae	59	1	1
Cicadellidae	170	5	30
Cicindelinae	2	0	0
Cixiidae	13	0	0
Coccinellidae	2	0	0
Coniopterygidae	9	0	0
Curculionidae	60	0	0
Cydnidae	1	0	0
Delphacidae	4	0	0
Derbidae	1	0	0
Dolichopodidae	80	3	3
Drosophilidae	2	0	0
Elateridae	51	0	1
Embioptera	1	0	0
Enicocephalidae	1	0	0
Erotylidae	1	0	0
Formicidae	4	0	0
Hemerobiidae	20	0	0
Hybotidae	108	1	1
Hymenoptera	54	5	27
Ichneumonidae	2	0	0
Ichneumonoidea	108	0	2
Lampyridae	11	0	0
Lauxaniidae	24	0	0
Lepidoptera	36	3	0
Lonchaeidae	59	0	0
Lygaeidae	4	0	0
Membracidae	31	0	0
Micropezidae	69	3	6
Milichiidae	31	0	1
Miridae	40	1	0
Mordellidae	24	0	0
Muscidae	97	5	2
Mycetophilidae	125	5	44
Mymaridae	1	0	0
Neriidae	3	0	0
Otitidae	17	0	0

		Phengodidae	1	0	0
		Phoridae	171	0	12
		Pipunculidae	1	0	0
		Psocoptera	123	0	2
		Psychodidae	68	2	3
		Psyllidae	22	1	0
		Ptilodactylidae	1	1	0
		Pyrgotidae	1	0	0
		Reduviidae	2	0	0
		Rhagionidae	1	0	0
		Richardiidae	5	0	0
		Scatopsidae	52	0	2
		Sciaridae	137	4	39
		Sepsidae	2	0	0
		Sphaeroceridae	60	2	0
		Staphylinidae	31	0	0
		Stratiomyidae	19	0	0
		Syrphidae	42	0	0
		Tachinidae	17	0	0
		Tenebrionidae	1	1	0
		Tephritidae	49	0	0
		Thysanoptera	84	1	13
		Tingidae	3	0	0
		Tipulidae	21	0	0
		Triozidae	51	0	0
		Trogossitidae	1	0	0
		Ulidiidae	4	0	0
		Vespidae	5	0	0
Verano	Plaga	Agromyzidae	78	1	50
		Aleyrodidae	83	0	39
		Anthicidae	3	0	0
		Anthocoridae	3	0	0
		Anthomyiidae	47	1	3
		Aphididae	113	0	5
		Asilidae	9	0	0
		Bibionidae	36	0	0
		Blattodae	1	0	0

Bombyiidae	1	0	0
Braconidae	6	0	0
Calliphoridae	26	0	0
Canthariade	3	0	0
Cantharidae	2	0	0
Carabidae	1	0	0
Cecidomyiidae	82	0	0
Cercopidae	1	0	0
Chloropidae	42	0	0
Chrysomelidae	31	0	0
Cicadellidae	70	1	105
Cicindelinae	1	0	0
Cixiidae	5	0	0
Coccinellidae	10	0	0
Coniopterygidae	21	0	0
Curculionidae	38	0	0
Cydnidae	2	0	0
Delphacidae	6	0	0
Dermaptera	2	0	0
Dolichopodidae	46	0	0
Drosophilidae	3	0	0
Elateridae	20	0	0
Formicidae	3	0	0
Hemerobiidae	64	0	0
Hybotidae	69	0	3
Hymenoptera	54	0	84
Ichneunoidea	6	0	0
Ichneumonoidea	22	0	0
Lampyridae	2	0	0
Lauxaniidae	27	0	0
Lepidoptera	105	0	0
Lonchaeidae	22	0	1
Lycidae	3	0	0
Lygaeidae	12	0	0
Melyridae	35	0	2
Membracidae	28	0	0
Miridae	72	0	0

Mordellidae	10	0	0
Muscidae	108	0	7
Mycetophilidae	43	0	44
Neriidae	1	0	0
Nitidulidae	3	1	0
Phengodidae	1	0	0
Phoridae	100	1	50
Psocoptera	86	0	1
Psychodidae	67	0	14
Psyllidae	17	0	0
Ptiliidae	2	0	1
Ptilodactylidae	1	0	0
Scatopsidae	25	0	7
Sciaridae	86	0	52
Sphaeroceridae	59	0	0
Staphylinidae	48	0	0
Stratiomyidae	4	0	0
Syrphidae	32	0	0
Tabanidae	2	0	0
Tachinidae	16	0	0
Tenebrionidae	3	0	0
Tephritidae	69	0	0
Thysanoptera	83	0	7
Tingidae	2	0	0
Tipulidae	3	0	0
Triozidae	67	0	0
Ulidiidae	17	0	0

Figura 3. Escala de severidad de la enfermedad para evaluar síntomas en la planta, desarrollado por A. Rashed. (25)



Escala:

0 = Sin enfermedad. **1** = Hojas enrolladas y una clorosis temprana en las hojas. **2** = Tubérculos aéreos, hojas enrolladas, necrosis en los bordes de las hojas. **3** = Marchitez, necrosis severa en las hojas y tallos. **4** = Necrosis avanzada, enrollamiento de todas las hojas, tallos colapsados.

Cuadro 20. Recolección de datos en la unidad parcelaria.

Unidad parcelaria	Sector	Plantas	Ninfas	Adultos	
				Macho	Hembra
1	1	1			
		2			
		3			
	2	4			
		5			
		6			
	3	7			
		8			
		9			
	4	10			
		11			
		12			
	5	13			
		14			
		15			

Fecha _____
 Temperatura _____
 Humedad _____
 Coordenada _____
 GTM _____
 No. De lectura _____

