

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADOS

INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

Análisis integral del control biológico de *Candidatus Liberibacter solanacearum*
(CaLso), causante de la punta morada en solanáceas, transmitido por el psílido

Bactericera cockerelli

Autor:

Ing. William Wladimir Taco Sandoval

Directora:

Ing. María Fernanda Garcés, MSc.

Milagro, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **WILLIAM WLADIMIR TACO SANDOVAL** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magisteren Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Generación de bioproductos para la mejora del rendimiento agrícola** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 19 de julio de 2024



WILLIAM WLADIMIR TACO SANDOVAL

1718122656

Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **María Fernanda Garcés Moncayo** en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **William Wladimir Taco Sandoval**, cuyo tema es “**Análisis integral del control biológico de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso), causante de la punta morada en solanáceas, transmitido por el psílido *Bactericera cockerelli*”**, que aporta a la Línea de Investigación **Generación de bioproductos para la mejora del rendimiento agrícola**, previo a la obtención del Grado **Magister en biotecnología**, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 19 de julio de 2024

MSc. María Fernanda Garcés Moncayo
1803571577

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. TACO SANDOVAL WILLIAM WLADIMIR**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "ANÁLISIS INTEGRAL DEL CONTROL BIOLÓGICO DE CANDIDATUS LIBERIBACTER SOLANACEARUM (CALSO), CAUSANTE DE LA PUNTA MORADA EN SOLANÁCEAS, TRANSMITIDO POR EL PSÍLIDO BACTERICERA COCKERELLI", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	59.50
SUSTENTACIÓN	38.00
PROMEDIO	97.50
EQUIVALENTE	Muy Bueno



Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Ing. BARZOLA GAIBOR CESAR ANIBAL
VOCAL



Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

Dedicatoria

A Dios y a la vida, por permitirme llegar hasta aquí y no dejarme vencer.

A Stephanie, que Dios siempre te cuide y proteja. Gracias por todo, hermana.

A mi padre, Raúl Taco, quien siempre me ha apoyado en cada etapa de mi vida. Este mérito es suyo y se lo dedico con mucho amor.

A mi madre, Rosa Sandoval, porque, a pesar de las circunstancias, está conmigo. Soy agradecido a la vida por permitirme tenerla a mi lado.

Para mi Sherlyn y mi Matius, los quiero mucho. Siempre sean perseverantes y no se dejen vencer.

En eternidad, a Luis Antonio Taco, María Juana Taco y María Luisa Luguaña, quienes siempre están presentes en mis pensamientos y son mi fortaleza.

Agradecimientos

A la Universidad Estatal de Milagro por los conocimientos impartidos y forjarme como profesional.

A la Ing. María Fernanda Garcés, MSc., por su apoyo y guía en la elaboración de este informe de investigación.

Resumen

Candidatus Liberibacter solanacearum (CaLso) es una bacteria patógena que causa la enfermedad de la punta morada en solanáceas, es transmitido por el psílido *Bactericera cockerelli* provocando amarillamiento y enrollamiento de hojas, reducción de tubérculos y rendimiento en los cultivos. Este estudio aborda las estrategias de control biológico para esta enfermedad, buscando alternativas efectivas y sostenibles con la finalidad de identificar las prácticas más efectivas, explorar la relación entre CaLso y *B. cockerelli*, y evaluar la eficacia de los métodos de control biológico implementados.

La metodología incluyó una revisión de las técnicas efectivas al combatir el ataque del patógeno como depredadores, parasitoides, entomopatógenos, extractos vegetales y aceites esenciales. Los insectos depredadores *Chrysoperla carnea* tuvieron buenos resultados en tomate y papa, los parasitoides *Tamarixia triozae* en tomate y pimiento, y los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* en tomate y pimiento. Además, extractos de higuera y cicuta, y productos como neem demostraron alta eficacia en condiciones de laboratorio y campo para el control de *B. cockerelli* en tomate y papa.

Las principales solanáceas afectadas por *B. cockerelli* son papa, tomate y pimiento. En papa, el jabón potásico al 1% redujo la plaga a promedios de 4.67 huevos, 4.18 ninfas y 49.25 adultos. En tomate, depredadores como *Chrysoperla carnea* y el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* mostraron una eficacia del 50% y 44%, respectivamente. En pimiento, el extracto de higuera a 15 ml logró un control efectivo de adultos de *B. cockerelli*.

Se concluye que un enfoque integrado, que combine agentes biológicos, extractos vegetales y prácticas culturales, es esencial para un manejo sostenible y eficaz de la plaga, asegurando un control efectivo y sostenible de *B. cockerelli* y CaLso.

Palabras clave: *Candidatus Liberibacter solanacearum*, *Bactericera cockerelli*, control biológico, extractos vegetales, manejo sostenible, punta morada.

Abstract

Candidatus Liberibacter solanacearum (CaLso) is a pathogenic bacteria that causes purple tip disease in solanaceous plants. It is transmitted by the psyllid *Bactericera cockerelli*, causing yellowing and curling of leaves, reduction of tubers and crop yield. This study addresses biological control strategies for this disease, seeking effective and sustainable alternatives to identify the most effective practices, explore the relationship between CaLso and *B. cockerelli*, and evaluate the effectiveness of the biological control methods implemented.

The methodology included a review of effective techniques when combating pathogen attack, such as predators, parasitoids, entomopathogens, plant extracts and essential oils. The predatory insects *Chrysoperla carnea* had good results in tomato and potato, the parasitoids *Tamarixia triozae* in tomato and pepper, and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in tomato and pepper. In addition, extracts of castor and hemlock, and products such as neem demonstrated high effectiveness in laboratory and field conditions for the control of *B. cockerelli* in tomato and potato.

The main solanaceous crops affected by *B. cockerelli* are potato, tomato, and pepper. In potato, 1% potassium soap reduced the pest to averages of 4.67 eggs, 4.18 nymphs, and 49.25 adults. In tomato, predators such as *Chrysoperla carnea* and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* showed an efficacy of 50% and 44%, respectively. In pepper, castor bean extract at 15 ml achieved effective control of *B. cockerelli* adults.

It is concluded that an integrated approach, combining biological agents, plant extracts, and cultural practices, is essential for sustainable and effective pest management, ensuring effective and sustainable control of *B. cockerelli* and CaLso.

Keywords: *Candidatus Liberibacter solanacearum*, *Bactericera cockerelli*, biological control, plant extracts, sustainable management, Purple Top.

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i> , localizado en <i>Bactericera cockerelli</i> (Cooper, 2014).....	11
Figura 2. Síntomas de <i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i> en campo (Quinaluiza, 2022).....	12
Figura 3. Descripción Morfológica de <i>Bactericera cockerelli</i> (Jácome Mogro et al., 2022).....	19
Figura 4. Ejemplo del Diagrama tipo PRISMA 2020 (Page et al., 2021).	28

Índice

Derechos de autor	ii
Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación	ii
Certificación de la defensa	iiiv
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	vi
Resumen	vi
Abstract	vii
Introducción	1
CAPÍTULO I: El problema de la investigación	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Delimitación del problema.....	3
1.3 Formulación del problema.....	4
1.4 Preguntas de investigación	4
1.5 Determinación del tema	4
1.6 Objetivo general.....	5
1.7 Objetivos específicos.....	5
1.8 Hipótesis.....	5
1.9 Declaración de las variables (operacionalización).....	5
1.10 Justificación	6
1.11 Alcance y limitaciones.....	7
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación	9
2.2.1 Candidatus Liberibacter solanacearum (CaLso).....	9
2.2.1.1 Caracterización y Transmisión de Candidatus Liberibacter.....	9
2.2.1.2 Descripción de CaLso.....	10
2.2.1.3 Patogénesis de CaLso.....	11
2.2.1.4 Síntomas de CaLso	12
2.2.1.5 Distribución de CaLso.....	12
2.2.1.6 Importancia Económica de (CaLso)	13
2.2.1.7 Sintomatología del Patógeno (CaLso)	13
2.2.1.8 Capacidad de Transmisión de CaLso	15
2.2.2 Bactericera cockerelli	16
2.2.2.1 Ciclo Biológico de Bactericera cockerelli.....	17
2.2.2.2 Descripción Morfológica de Bactericera cockerelli	18
2.2.2.3 Hospederos	19
2.2.2.4 Daños Causados por Bactericera cockerelli.....	19
2.2.3 Control biológico.....	20
2.2.4 Interacción entre CaLso y Bactericera cockerelli	21

2.2.5	Cronología y secuencia del reporte de <i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i> (CaLso) en Ecuador	22
2.2.6	Sistematización de métodos de control	23
2.2.6.1	Implementación y resultados	23
2.2.6.2	Desafíos y oportunidades	24
CAPÍTULO III: Diseño metodológico		25
3.1	Tipo y diseño de investigación	25
3.2	La población y la muestra	26
3.2.1	Características de la población.....	26
3.2.2	Delimitación de la población	26
3.2.3	Tipo de Muestra	26
3.2.4	Tamaño de Muestra	26
3.2.4.1	Criterios de Elegibilidad	26
3.2.4.2	Búsqueda Sistemática	27
3.2.4.3	Análisis	27
3.2.4.4	Síntesis.....	28
3.3	Los métodos y las técnicas	28
3.4	Procesamiento estadístico de la información	29
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados		31
4.1	Análisis de los resultados.....	31
4.2	Interpretación de los resultados	38
4.2.1	Depredadores, parasitoides y entomopatógenos.....	38
4.2.2	Extractos Vegetales	38
4.2.2.1	Extractos de higuerilla, chamico, ruda y santamaria	38
4.2.2.2	Extracto de cicuta y falso tabaco.....	39
4.2.2.3	Extracto de ajo y neem x.....	40
4.2.2.4	Extracto de barbasco	40
4.2.3	Aceites esenciales en emulsión.....	41
4.2.4	Uso de jabón potásico y ozono.....	41
4.2.5	Evaluación de diferentes controles (orgánico, químico, mixto y testigo).....	42
4.2.6	Estrategias y prácticas locales	42
4.2.6.1	Diagnóstico y técnicas locales de manejo.....	42
4.2.6.2	Modelo teórico de adopción de trabajos culturales.....	43
4.2.6.3	Uso de elicitores sintéticos y microorganismos	43
4.2.7	Efecto de la radiación UV-B en plantas infectadas con <i>Candidatus Liberibacter</i>	44
4.2.8	Análisis comparativo de estudios	44
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones.....		47
5.1	Conclusiones	47
5.2	Recomendaciones	48
Bibliografía.....		49

Introducción

El microorganismo *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) es una bacteria fitopatógena que ha emergido como una seria amenaza para los cultivos de solanáceas a nivel global. Esta bacteria es el agente causal de la enfermedad conocida como punta morada, que se caracteriza por una serie de síntomas los cuales incluyen la deformación de las hojas, amarillamiento y reducción del rendimiento de los cultivos. El principal vector de CaLso es el psílido *Bactericera cockerelli*, un insecto que ha demostrado ser altamente eficiente en la transmisión de esta enfermedad, agravando significativamente los problemas fitosanitarios en las regiones afectadas (Ramírez, 2018).

En el contexto de la agricultura ecuatoriana incidencia de CaLso ha tenido un impacto considerable, comprometiendo la producción de solanáceas como el tomate de árbol y papa. El seguimiento de esta enfermedad es importante para garantizar la sostenibilidad y productividad de estos cultivos. Por lo tanto, la implementación de estrategias de control biológico se presenta como una alternativa viable y ecoamigable frente al uso intensivo de plaguicidas químicos, que a menudo resultan en efectos adversos para el medio ambiente y la salud humana (Arias, 2013).

La aparición de CaLso en Ecuador ha seguido una cronología, con reportes que indican una rápida propagación y un impacto significativo en las zonas agrícolas. La falta de un monitoreo adecuado y la escasa información sobre los ciclos de vida tanto del patógeno como del vector complican aún más la situación (Caicedo et al., 2020).

Conocer la relación entre CaLso y *Bactericera cockerelli* es crucial para desarrollar métodos de control biológico eficientes. El estudio de los mecanismos de transmisión, así como los factores ambientales y biológicos que favorecen la propagación del psílido, contribuirá a identificar puntos críticos donde se pueda intervenir para interrumpir el ciclo de infección. La sistematización de la información sobre métodos de control biológico permitirá evaluar la efectividad de diferentes enfoques, como el uso de enemigos naturales del psílido, microorganismos antagonistas de CaLso y prácticas agrícolas que reduzcan la incidencia del vector (Castillo et al., 2018).

Este trabajo de investigación busca hacer un análisis integral acerca de CaLso donde se busque información y datos para entender la dinámica de la enfermedad y su evolución local, permitiendo diseñar estrategias de intervención más efectivas, además, pretende proporcionar una base que sirva de información para la implementación de prácticas de manejo más sostenibles y efectivas, contribuyendo a la protección de los cultivos de solanáceas en Ecuador.

CAPÍTULO I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

Las enfermedades fitopatógenas representan una grave amenaza para la agricultura a nivel global, afectando la producción y calidad de los cultivos. Entre estas, la punta morada en solanáceas, causada por la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso), es particularmente preocupante, transmitida por el psílido *Bactericera cockerelli*, esta enfermedad ha demostrado tener un impacto devastador en cultivos como el tomate de árbol y la papa, resultando en significativas pérdidas económicas y agronómicas. La necesidad de encontrar métodos efectivos y sostenibles para el control de CaLso es necesario, especialmente en regiones como Ecuador, donde la agricultura es un pilar fundamental de la economía (Caicedo, 2020).

El control biológico se presenta como una alternativa prometedora frente a los métodos convencionales de manejo de plagas, los cuales a menudo dependen del uso intensivo de pesticidas químicos. Estos pesticidas no solo son costosos, sino que también pueden causar efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana. En este contexto, es crucial explorar y evaluar las estrategias de control biológico específicamente dirigidas a CaLso y su vector, *Bactericera cockerelli*, para desarrollar soluciones más ecológicas y sostenibles para la agricultura ecuatoriana (Suárez, 2017).

1.2 Delimitación del problema

Este estudio se enmarca en la necesidad de abordar la enfermedad de punta morada en solanáceas desde una perspectiva de control biológico. Se enfocará en la identificación y evaluación de estrategias de manejo biológico para *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y su vector *Bactericera cockerelli*. La investigación abarcará un análisis cronológico de la aparición y expansión de CaLso en los cultivos de solanáceas en el país, explorando la relación entre el patógeno y su vector, así como la sistematización de métodos de control biológico aplicados a esta problemática.

Los estudios se concentrarán en las condiciones agroecológicas ecuatorianas, aunque los hallazgos podrán tener relevancia y aplicación en otras regiones con contextos similares.

Se investigarán diversas técnicas de control biológico, incluyendo el uso de depredadores naturales, parasitoides y microorganismos antagonistas. Además, se evaluarán prácticas agrícolas que favorezcan el control biológico, como la rotación de cultivos y la implementación de hábitats que promuevan la presencia de enemigos naturales del psílido vector. Los efectos de estas estrategias se analizarán en relación con su efectividad para reducir la incidencia y severidad de la enfermedad, así como su viabilidad económica y sostenibilidad ambiental.

1.3 Formulación del problema

Determinar las estrategias de control biológico que sean efectivas y sostenibles para el manejo de la enfermedad de la punta morada causada por *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y transmitida por el psílido *Bactericera cockerelli*.

1.4 Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las estrategias de control biológico más efectivas para manejar *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y su vector *Bactericera cockerelli* en cultivos de solanáceas?
- ¿Qué relación existe entre *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y el psílido *Bactericera cockerelli* en el contexto de los cultivos de solanáceas?
- ¿Qué métodos de control biológico han sido implementados y qué tan efectivos han sido en la mitigación de la punta morada?

1.5 Determinación del tema

Tipo de estudio: Revisión sistemática con énfasis en el análisis de estrategias de control biológico de CaLso.

Población: Cultivos de solanáceas afectados por CaLso.

Intervención: Evaluación de estrategias de control biológico para CaLso y *Bactericera cockerelli*.

Comparadores: Métodos convencionales de control de plagas y estrategias biológicas.

Resultados: Efectividad y sostenibilidad de los métodos de control biológico implementados.

1.6 Objetivo general

Evaluar las estrategias de control biológico para *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso), considerando como vector al psílido *Bactericera cockerelli*.

1.7 Objetivos específicos

- Registrar de forma cronológica la aparición de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y su impacto en los cultivos de solanáceas en Ecuador.
- Explorar la relación entre el agente causal *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y el vector *Bactericera cockerelli*.
- Identificar métodos de control biológico utilizados en contra de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso).

1.8 Hipótesis

Las estrategias de control biológico son efectivas para reducir la incidencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) en cultivos de solanáceas, al controlar su vector *Bactericera cockerelli*.

1.9 Declaración de las variables (operacionalización)

Variable	Definición	Naturaleza	Escala de medición	Indicadores
Incidencia de CaLso	Presencia y severidad de la enfermedad en cultivos	Variable dependiente	Cuantitativa	Porcentaje de plantas afectadas, severidad de síntomas
Población de <i>B. cockerelli</i>	Número de individuos del vector en el cultivo	Variable dependiente	Cuantitativa	Conteo de psílicos por planta, densidad poblacional
Estrategia de control biológico	Método utilizado para controlar CaLso y <i>B. cockerelli</i>	Variable independiente	Nominal	Tipo de agente biológico (depredador, parasitoide, microorganismo)

Eficacia del control biológico	Capacidad de la estrategia para reducir CaLso y <i>B. cockerelli</i>	Variable dependiente	Cuantitativa	Reducción en la incidencia de CaLso, disminución en la población de <i>B. cockerelli</i>
Relación CaLso-B. cockerelli	Interacción entre el patógeno y su vector	Variable independiente	Nominal	Tasa de transmisión, correlación entre población de vector e incidencia de enfermedad
Métodos de control biológico	Técnicas específicas de manejo biológico implementadas	Variable independiente	Nominal	Uso de enemigos naturales, prácticas agrícolas sostenibles

1.10 Justificación

La agricultura moderna enfrenta el desafío de manejar enfermedades fitopatógenas de manera sostenible y eficaz. La punta morada, causada por *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y transmitida por el psílido *Bactericera cockerelli*, es una de estas enfermedades que afecta gravemente a los cultivos de solanáceas, cruciales para la seguridad alimentaria y la economía agrícola en Ecuador. Los métodos tradicionales de control de plagas, basados en pesticidas químicos, presentan desventajas significativas, como la resistencia del patógeno y los efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana. En este contexto, el control biológico emerge como una solución viable y sostenible (Pérez, 2016).

Investigaciones previas han demostrado que diversas estrategias de control biológico, incluyendo el uso de depredadores naturales, parasitoides y microorganismos antagonistas, pueden ser efectivas para reducir la incidencia de plagas y enfermedades. Sin embargo, en Ecuador, la implementación y evaluación sistemática de estas estrategias para controlar CaLso y su vector, *Bactericera cockerelli*, aún son limitadas. Este estudio pretende proporcionar un análisis integral de las estrategias de control biológico aplicadas a esta problemática, ofreciendo datos esenciales para mejorar las prácticas agrícolas y proteger los cultivos de solanáceas (Castillo, 2018).

1.11 Alcance y limitaciones

Alcances

- La investigación integra y sistematiza la evidencia disponible sobre la aparición y el impacto de CaLso en los cultivos de solanáceas en Ecuador.
- Evalúa la relación entre CaLso y *Bactericera cockerelli*, proporcionando información sobre los mecanismos de transmisión y factores que afectan su propagación.
- Analiza la efectividad de diversas estrategias de control biológico implementadas contra CaLso y su vector, contribuyendo a un manejo más sostenible de la enfermedad.
- Servirá de guía para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la fitopatología y el control biológico.

Limitaciones

- Los resultados de este estudio se basan principalmente en datos observacionales y experimentales a nivel local, lo que puede limitar su aplicabilidad en otros contextos agrícolas.
- La heterogeneidad en los métodos de control biológico y las condiciones agroecológicas podría dificultar la generalización de los hallazgos.
- Las variaciones en la composición y densidad poblacional de *Bactericera cockerelli*, así como en la incidencia de CaLso, pueden influir en la efectividad de las estrategias de control biológico evaluadas.
- La investigación se centra en el control biológico de CaLso y su vector, sin abordar otros posibles patógenos o plagas que también afectan a los cultivos de solanáceas.
- La implementación práctica de las estrategias de control biológico puede enfrentar desafíos logísticos y económicos, que deberán ser considerados en futuras aplicaciones.
- El documento aportaría a un manejo integrado de plagas basados en el uso de agentes biológicos y prácticas agrícolas sostenibles.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Antecedentes

Candidatus Liberibacter solanacearum (CaLso) es una bacteria que constituye una amenaza significativa para la agricultura, especialmente en cultivos de solanáceas, debido a su capacidad para causar la enfermedad conocida como punta morada. Esta bacteria es transmitida por el psílido *Bactericera cockerelli*, lo que complica su manejo y control (O'Neill, 2016).

La incidencia de CaLso ha aumentado considerablemente en los últimos años, afectando la producción agrícola y generando pérdidas económicas importantes. Para 2050, se estima que las infecciones por bacterias fitopatógenas podrían provocar pérdidas significativas en cultivos clave si no se desarrollan estrategias de manejo adecuadas (O'Neill, 2016). En este contexto, se hace imperativo investigar y desarrollar nuevas estrategias de control biológico como alternativas viables y sostenibles.

El control biológico de plagas y enfermedades en plantas es una estrategia que utiliza organismos vivos para suprimir poblaciones de patógenos o plagas. Esta práctica es vista como una alternativa prometedora a los métodos químicos tradicionales, ya que reduce el uso de pesticidas y sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana (Mehbub et al., 2019).

Estudios previos han explorado diversas estrategias de control biológico para diferentes patógenos y vectores. Sin embargo, el enfoque integral para el manejo de CaLso a través del control biológico del psílido vector *Bactericera cockerelli* aún requiere mayor sistematización y análisis. Es crucial entender la interacción entre CaLso y *B. cockerelli*, así como evaluar la efectividad de diferentes agentes de control biológico en esta dinámica (Caicedo, 2020).

A lo largo de los años, se han documentado diversos métodos biológicos para manejar poblaciones de psíidos, incluyendo el uso de enemigos naturales como parasitoides, depredadores y patógenos entomopatógenos. Sin embargo, la aplicación específica de estos métodos contra *B. cockerelli* en el contexto de la transmisión de CaLso necesita una evaluación detallada y cronológica para optimizar su implementación y efectividad (Ocampo, 2019).

Por tanto, este análisis integral tiene como objetivo general evaluar las estrategias de control biológico para *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso), considerando al psílido *Bactericera cockerelli* como vector principal, a través de una sistematización detallada de la información existente y la exploración de nuevas tácticas biológicas para su manejo sostenible.

2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1 Candidatus Liberibacter solanacearum (CaLso)

2.2.1.1 Caracterización y Transmisión de Candidatus Liberibacter

La secuenciación de la bacteria se llevó a cabo utilizando pares de primers específicos para la región intergénica variable entre los rRNAs 16S y 23S, extraídos de tejidos de plantas infectadas. Las secuencias obtenidas se depositaron en GenBank, y la bacteria fue identificada como *Candidatus Liberibacter psyllaeus*. Esta es una α -proteobacteria gramnegativa que no puede ser cultivada y se encuentra asociada con el tejido del floema de las plantas. La infección por CaLso puede ocurrir en todas las etapas del ciclo de vida de *Bactericera cockerelli* (Sulc), aunque la frecuencia de infección en los huevos varía entre el 15 % y el 47 %, sugiriendo una posible transmisión transovárica de *Candidatus Liberibacter psyllaeus* (Xicay, 2014).

Cinco haplotipos de CaLso han sido descubiertos en diferentes continentes. Dos haplotipos (A y B) están relacionados con enfermedades en papas y otras solanáceas, mientras que los haplotipos C, D y E están asociados con zanahorias. Estos haplotipos se identificaron mediante polimorfismos de nucleótidos únicos (SNPs) en el 16S rRNA, el ISR 16S/23S y los genes de la proteína ribosomal 50S rplJ y rplL (Munyanza, 2009).

Estos SNPs se heredan como un conjunto a través de los tres genes. El haplotipo A ha sido identificado en Honduras, Guatemala, el oeste de México, Arizona, California, Oregón, Washington y Nueva Zelanda. El haplotipo B se ha encontrado en el este de México, el norte de Texas y el centro de Estados Unidos, mostrando un traslape en Texas, Kansas y Nebraska. El haplotipo C, asociado con zanahorias y *Trioza apicalis*, se ha detectado en Finlandia, Suecia y Noruega. Los haplotipos D y E fueron recientemente encontrados en zanahorias infectadas y *Bactericera trigonica* fue identificado en España, Islas Canarias y Marruecos (Munyanza, 2009).

Los cinco haplotipos aún no se comprenden completamente en términos de diferencias biológicas en plantas o insectos. Estos haplotipos parecen ser estables, lo que sugiere una permanencia prolongada de la bacteria en los hospederos. *Candidatus Liberibacter solanacearum* está relacionada con Huanglongbing, la enfermedad más destructiva de los cítricos en Asia, África y las Américas. Además de las solanáceas infectadas por este psílido, se han encontrado especies de *Liberibacter* en zanahorias en el norte de Europa, incluyendo Finlandia, Noruega, Suecia y la región del Mediterráneo, incluyendo España, Islas Canarias y Francia. CaLso también se ha reportado en cultivos de apio en España y, en 2014, en zanahorias en Marruecos (Munyanzeza, 2009).

Un solo ejemplar de *Bactericera cockerelli* (Sulc) es suficiente para transmitir *Candidatus Liberibacter psyllaureus* dos horas después de colonizar la planta. Aunque se desconoce el mecanismo exacto de transmisión, se sospecha que las bacterias se inyectan durante la salivación en el floema (Munyanzeza, 2009).

2.2.1.2 Descripción de CaLso

Candidatus Liberibacter solanacearum (CaLso) se describe como un patógeno vascular, con forma bacilar de aproximadamente 2 a 3 micrómetros de longitud y 0,2 a 0,3 micrómetros de ancho, con características Gram-negativas. Esta bacteria fitopatógena representa una amenaza crítica para la agricultura, especialmente en cultivos de solanáceas, debido a su capacidad para desencadenar la enfermedad conocida como punta morada. La transmisión de CaLso se lleva a cabo a través del psílido *Bactericera cockerelli*, lo que complica su manejo y control. En los últimos años, se ha observado un aumento significativo en la incidencia de esta bacteria, lo que ha impactado negativamente en la producción agrícola, generando pérdidas económicas considerables (Delgado, 2019).

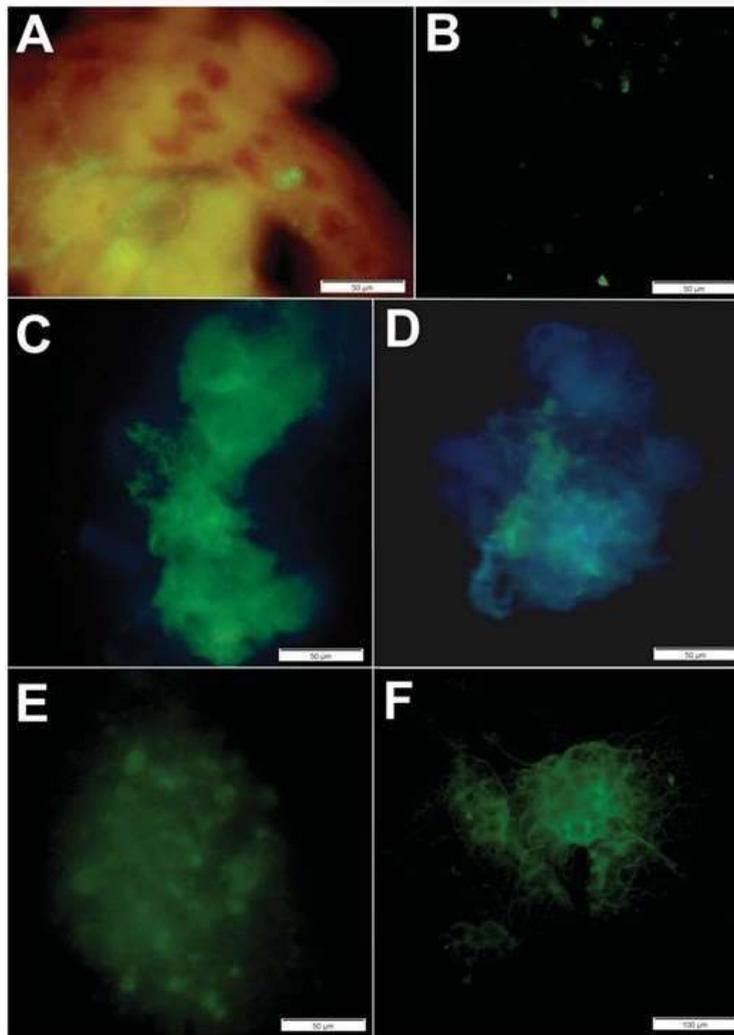


Figura 1. *Candidatus Liberibacter solanacearum*, localizado en *Bactericera cockerelli* (Cooper, 2014).

Cuadro 1. Taxonomía de *Candidatus Liberibacter solanacearum*:

Reino	Bacteria
Filo	Proteobacteria
Clase	Alphaproteobacteria
Orden	Rhizobiales
Familia	Rhizobiaceae
Género	<i>Candidatus Liberibacter</i>
Especie	<i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i>

2.2.1.3 Patogénesis de CaLso

La patogénesis de *Candidatus Liberibacter solanacearum* se describe hipotéticamente basándose en la estructura genética del patógeno.

Esta bacteria vascular utiliza adenosina difosfato (ADP) y adenosina trifosfato (ATP) para adquirir energía molecular del tomate de árbol, su planta hospedera. La bacteria no puede fosforilar moléculas para transportar azúcares a través de su membrana por sí sola. Una vez que el patógeno se integra en el floema de la planta, utiliza sustratos como fumarato, succinato, malato y oxaloacetato para llevar a cabo la respiración. Esto permite a la bacteria establecerse en la planta, generando la enfermedad que debilita el crecimiento de la planta y provoca una pérdida de nutrientes (Delgado & Ortiz, 2019).

2.2.1.4 Síntomas de CaLso

La enfermedad se manifiesta con un crecimiento vegetativo ralentizado y hojas amarillas, lo que resulta en una debilidad foliar. Los bordes de las hojas superiores se vuelven blanquecinos y se pliegan hacia el envés, conduciendo eventualmente a un enanismo de la planta y hojas necróticas, lo que puede llevar a la muerte de la planta (Delgado & Ortiz, 2019).



Figura 2. Síntomas de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en campo (Quinaluiza, 2022).

2.2.1.5 Distribución de CaLso

La presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) en cultivos de solanáceas como la papa se ha identificado principalmente a través de la detección de la enfermedad del Zebra Chip (ZC). Este problema se reportó por primera vez en México en 1984 y, entre 2004 y 2005, ya estaba causando pérdidas económicas significativas en Texas, EE.UU. (Secor & Rivera, 2004). Desde su detección inicial, el patógeno se ha propagado a diferentes continentes, incluyendo Oceanía, donde se encontró en Nueva Zelanda (Munyanza, 2012b; Munyanza et al., 2013; Aguilar et al., 2013). En Europa, se reportó su presencia en España (Cantabria) en 2016 (Martín et al., 2019).

En América, además de México (estados como Aguascalientes, Baja California, Chihuahua y Coahuila) (Melgoza et al., 2018), el patógeno se ha detectado en Estados Unidos, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Ecuador, afectando cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), berenjena (*Solanum melongena*), tabaco (*Nicotiana tabacum*) y uvilla (*Physalis peruviana*) (Munyanza, 2012a; Munyanza et al., 2013; Aguilar et al., 2013; Durán et al., 2018; Caicedo et al., 2020a; Caicedo et al., 2020b).

2.2.1.6 Importancia Económica de (CaLso)

La bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) ha sido detectada en varias regiones del mundo, incluyendo Oceanía (Nueva Zelanda) (Liefting et al., 2008), América del Norte (Hansen et al., 2008), América Central (Munyanza et al., 2013; Aguilar et al., 2013), y más recientemente en América del Sur (Caicedo et al., 2020a; Caicedo et al., 2020b). Esta bacteria tiene una significativa importancia económica debido al daño que inflige en las plantas, lo que resulta en una disminución de la producción y en la calidad del producto comercial (Sengoda et al., 2014). Un claro ejemplo de su impacto es la enfermedad del Zebra Chip (ZC) en los cultivos de papa, que deteriora notablemente la calidad comercial de los tubérculos al causar estrías marrones en su mesocarpio, las cuales se vuelven más pronunciadas tras la cocción, afectando el sabor del producto final (Munyanza, 2012a). En países donde la agricultura representa una fuente crucial de empleo, como México, Estados Unidos (Flores et al., 2004), América Central y Nueva Zelanda, la enfermedad ha llevado a muchos agricultores a abandonar sus tierras y migrar a las ciudades, provocando así un aumento en los niveles de desempleo (Munyanza, 2015).

2.2.1.7 Sintomatología del Patógeno (CaLso)

Los síntomas provocados por *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) en los cultivos de la familia Solanácea están estrechamente vinculados a la reducción de nutrientes y energía en las plantas (Lin et al., 2011). La bacteria se establece en el floema de la planta hospedante, aprovechando su energía para procesar azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa, así como sustratos como succinato, oxaloacetato, fumarato y malato.

En particular, la glucosa y el malato son utilizados por la bacteria para su respiración, multiplicación y colonización (Karley et al., 2002). Además, CaLso posee un sistema de transporte que conecta sus membranas interna y externa, facilitando la transferencia de serralisina y proteasas que actúan como factores de virulencia, como se ha observado en el tomate (*Solanum lycopersicum*), donde la infección incrementa la cantidad de serralisina, posiblemente relacionada con la patogenicidad y supervivencia del patógeno en las plantas hospedantes (Ravindran et al., 2017).

A nivel mundial, los síntomas de CaLso son similares a los causados por fitoplasmas, incluyendo el retraso en el crecimiento, clorosis del follaje, enrojecimiento y enrollamiento de las hojas, entrenudos acortados, nudos gruesos, frutos pequeños y de baja calidad, o incluso la interrupción de la producción (Gutierrez & De La Torre, 2008; IPPC, 2017). En el cultivo de papa, los síntomas foliares incluyen el encrespamiento de las hojas hacia arriba y un cambio de color de verde a amarillo, que puede volverse púrpura o rojizo. Específicamente en la papa, también se observan estrías marrones en la médula del tubérculo, diagnósticas de la enfermedad ZC, además de proliferación axilar de yemas, tubérculos aéreos en algunas variedades, hojas marchitas y oscurecimiento del sistema vascular. Los tubérculos afectados por esta enfermedad suelen ser más pequeños y presentan manchas pardas en su interior (Rehman et al., 2010). Estos daños reducen significativamente la calidad comercial del producto, debido a la acelerada reducción de azúcares y aminoácidos (Wallis et al., 2012; Rashed et al., 2013).

Además de la papa, CaLso también afecta a otros cultivos de la familia Solanácea, como el tomate de árbol y la uvilla, causando decoloración, rizado de hojas jóvenes y marchitamiento de plantas (Caicedo et al., 2020b). En el tomate de árbol, la bacteria causa síntomas foliares como brotación deficiente o brotes atrofiados y acelerados, hojas pequeñas, clorosis intervenal y periférica, enrojecimiento de las hojas y quemazón desde el borde hacia el interior, lo que puede llevar a la muerte del árbol en un periodo de 2 a 4 meses (SPHDS, 2017).

El pimiento también es susceptible a CaLso (Vereijssen, 2018). La transmisión de CaLso por *Bactericera cockerelli* requiere una asociación de haplotipos A y B en el insecto para ser efectiva.

Sin esta asociación, los psílicos no pueden reproducirse normalmente y eventualmente mueren (Workneh et al., 2019). Si CaLso se transmite al pimiento, los síntomas incluyen retraso en el crecimiento, entrenudos acortados, clorosis de las hojas, peciolo acortado, hojas ahuecadas y rizadas, necrosis apical y muerte de partes de la planta (Munyaneza et al., 2013).

2.2.1.8 Capacidad de Transmisión de CaLso

Las enfermedades transmitidas por insectos vectores afectan directamente la fisiología de las plantas, haciéndolas más atractivas y vulnerables a daños por otros organismos (Casteel & Jander, 2013). Los insectos vectores liberan proteínas que inhiben las defensas de las plantas durante su alimentación inicial (Zhang et al., 2010), en un proceso conocido como mutualismo (Casteel & Jander, 2013). Varios psílicos pueden transmitir bacterias del género *Candidatus Liberibacter*, pero en América, solo *Bactericera cockerelli* transmite CaLso (Hansen et al., 2008). En Estados Unidos, esta relación causa enfermedades como el Zebra Chip en papa (*Solanum tuberosum*) y el enverdecimiento de las venas en tomate (*Solanum lycopersicum*) (Munyaneza, 2012a; McKenzie & Shatters, 2009).

B. cockerelli también muestra preferencia por cultivos de pimiento (*Capsicum annum*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana*) (Hansen et al., 2008; Liefting et al., 2008). En Texas y California, se encontró que *B. cockerelli* portaba una bacteria inicialmente llamada *Candidatus Liberibacter psyllaurous* (CaLps), que luego se identificó como sinónimo de CaLso (Hansen et al., 2008; Munyaneza et al., 2010a).

La transmisión de CaLso por *B. cockerelli* es propagativa, circulativa y persistente (Sengoda et al., 2014). El insecto adquiere el patógeno al alimentarse del floema de una planta infectada, utilizando su aparato bucal para succionar savia e inyectar saliva, lo que causa daños directos como amarillamiento de hojas y retraso del crecimiento, y daños indirectos al transmitir patógenos (Beltrán, 2014). En el intestino del psílido, CaLso invade y se multiplica, migrando a la hemolinfa y luego a las glándulas salivales, desde donde se disemina a nuevas plantas durante la alimentación del insecto (Cicero et al., 2016a).

La transmisión de CaLso puede ser horizontal y vertical entre poblaciones de psílicos. En los cultivos de tomate, CaLso se encuentra en huevos y ninfas en baja frecuencia y en adultos en mayor proporción (Hansen et al., 2008; Nachappa et al., 2011). La enfermedad Zebra Chip en papa es resultado del mutualismo entre CaLso y su vector, y se ha expandido a otras solanáceas como el tomate y el pimiento. La enfermedad asociada al amarillamiento del psílido muestra síntomas similares a los de CaLso, pero sin el característico "rayado de la papa" (Sengoda et al., 2010).

2.2.2 Bactericera cockerelli

El psílido de las solanáceas como papa y del tomate, es científicamente conocido como *Bactericera cockerelli*, pertenece al orden Hemiptera y la familia Triozidae. Fue identificado por primera vez en 1909 por *B. cockerelli* en Colorado, USA. Inicialmente denominado Trioza cockerelli, su nombre fue revisado y modificado a Paratrioza cockerelli, y finalmente establecido como *Bactericera cockerelli* (OIRSA, 2015).

Este insecto es conocido por la toxina presente en su saliva, que daña las células productoras de clorofila en las hojas de las plantas. Esta acción provoca que las plantas se tornen amarillentas y raquílicas, reduciendo el crecimiento y vigor del nuevo follaje y causando clorosis, enrojecimiento, deformación basal de hojas, entrenudos acortados y engrosados. Esto afecta gravemente la calidad de los frutos y el rendimiento, con pérdidas que pueden llegar hasta el 80% (Navarro, 2002).

El psílido de la papa y del tomate posee un aparato bucal con un estilete formado por dos conductos: uno para succionar líquidos y otro para arrojar fluidos. Es un vector conocido del fitoplasma que causa la enfermedad de la punta morada, afectando económicamente a los productores de papas y tomates de árbol (De & Agropecuarias, 1993).

Cuadro 2. Taxonomía de *Bactericera cockerelli*:

Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Hemiptera
Familia	Triozidae
Género	<i>Bactericera</i>
Especie	<i>Bactericera cockerelli</i>

2.2.2.1 Ciclo Biológico de *Bactericera cockerelli*

Es crucial conocer el ciclo biológico de *Bactericera cockerelli* para controlar los estadios tempranos antes de que alcancen la adultez. Su ciclo biológico se completa en aproximadamente 30 días bajo temperaturas óptimas de 20°C a 27°C (Jácome Mogro et al., 2022). La hembra adulta puede ovipositar hasta 500 huevos en condiciones favorables.

Estádios Ninfales

Los estados ninfales de *Bactericera cockerelli* pasan por cinco estadios, morfológicamente similares y de color verdoso amarillento (Jácome Mogro et al., 2022).

La duración promedio de cada estadio es:

- Huevecillo a N1: 4-5 días
- N1 a N2: 4-5 días
- N2 a N3: 3-5 días
- N3 a N4: 4-5 días
- N4 a N5: 3-5 días
- N5 a adulto: 3-4 días

El ciclo completo toma aproximadamente 29 días bajo condiciones óptimas de 24°C y 70% de humedad relativa (Gamarra et al., 1998; Jácome Mogro et al., 2022).

2.2.2.2 Descripción Morfológica de *Bactericera cockerelli*

- **Huevecillos (a)**

Los huevos son ovoides, con un corion brillante y casi transparentes al ser ovipositados, cambiando a verde claro y luego a naranja antes de la emergencia. Un pequeño filamento en uno de los extremos permite su adherencia a las hojas (Jácome Mogro et al., 2022).

- **Estado Ninfal 1 (b)**

Las ninfas son anaranjadas, aplanadas y ovales, con cabeza y tórax fusionados y antenas con segmentos basales cortos. Los paquetes alares no son visibles en este estadio (Zonora et al., 2020).

- **Estado Ninfal 2 (c)**

El tamaño es de aproximadamente 0.5 mm de largo por 0.3 mm de ancho. La cabeza se aplanan y las divisiones entre la cabeza y el tórax se vuelven visibles, los ojos se hacen evidentes y el abdomen presenta segmentación poco marcada (Powell, 2000).

- **Estado Ninfal 4 (d)**

El cuerpo sigue aplanado, con antenas que se estrechan hacia la parte terminal, ojos evidentes y paquetes alares desarrollados (Jácome Mogro et al., 2022).

- **Estado Ninfal 5 (e)**

En este estadio, el cuerpo alcanza una longitud de 1.5 mm por 1.0 mm de ancho, con cabeza y tórax bien diferenciados, antenas engrosadas en la base y patas bien desarrolladas (Jácome Mogro et al., 2022).

- **Estadio Adulto (f)**

El adulto presenta una coloración ámbar a café y negro, con una mancha café en el tórax y ojos compuestos grandes y café. Las alas son 1.5 veces el largo del cuerpo y transparentes (Jácome Mogro et al., 2022).

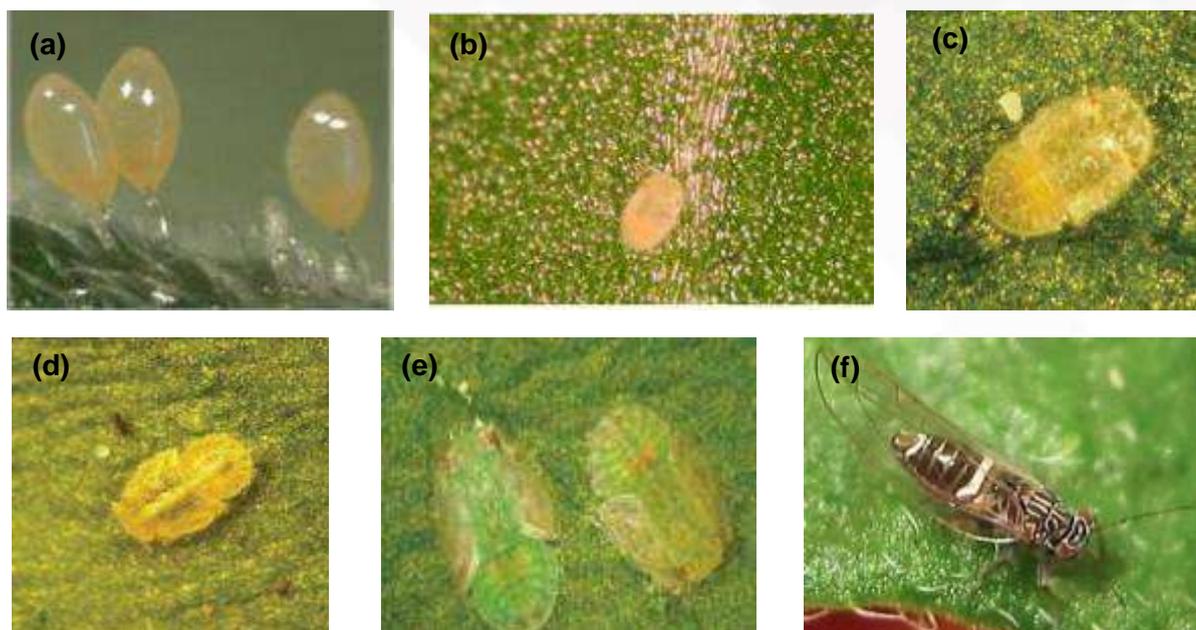


Figura 3. Descripción Morfológica de *Bactericera cockerelli* (Jácome Mogro et al., 2022).

2.2.2.3 Hospederos

Los principales hospedantes de *B. cockerelli* son plantas de la familia Solanaceae, tanto cultivadas como silvestres. Entre las especies cultivadas más importantes están la papa (*Solanum tuberosum*), el tomate (*Solanum lycopersicum*), el chile (*Capsicum annum*), el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*) y el tabaco (Martin, 2019).

2.2.2.4 Daños Causados por *Bactericera cockerelli*

- **Daño Directo** *Bactericera cockerelli* causa daño directo al picar los tejidos de las plantas y succionar la savia del floema, inyectando una toxina que afecta a las células productoras de clorofila en las hojas, lo que da lugar a la pérdida de color verde (Mohammad H. Badii et al., 2003).
- **Daño Indirecto:** El daño indirecto se manifiesta a través de la enfermedad conocida como punta morada, la cual se presenta con manchas circulares en las hojas. Las flores pierden su coloración natural y las puntas de las hojas se tornan moradas. Como resultado, la planta reduce su rendimiento y los frutos resultan de mala calidad (Zapata, 2001).

2.2.3 Control biológico

El control biológico de plagas y enfermedades en plantas es una estrategia que utiliza organismos vivos para suprimir poblaciones de patógenos o plagas. Esta práctica es vista como una alternativa prometedora a los métodos químicos tradicionales, ya que reduce el uso de pesticidas y sus efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana (Mehbub et al., 2019).

Diversos estudios han explorado el uso de enemigos naturales como parasitoides, depredadores y patógenos entomopatógenos para manejar poblaciones de psílicos. Sin embargo, la aplicación específica de estos métodos contra *B. cockerelli* en el contexto de la transmisión de CaLso necesita una evaluación detallada y cronológica para optimizar su implementación y efectividad (UNPL, 2016).

El manejo de CaLso y su vector *B. cockerelli* a través de métodos biológicos se considera una alternativa sostenible a los pesticidas químicos. Las estrategias de control biológico incluyen el uso de enemigos naturales como parasitoides, depredadores y patógenos entomopatógenos (Castillo, 2019).

- Parasitoides: como ciertas especies de avispas, depositan sus huevos dentro de los cuerpos de los psílicos, donde las larvas eclosionan y consumen al huésped desde adentro. Ejemplos de parasitoides que han mostrado efectividad contra *B. cockerelli* incluyen las especies del género *Tamarixia* (Castillo, 2019) .
- Depredadores: como las mariquitas (Coccinellidae) y las crisopas (Chrysopidae), se alimentan de los psílicos en diversas etapas de su ciclo de vida. Estos depredadores pueden reducir significativamente las poblaciones de psílicos en los cultivos (Castillo, 2019).
- Patógenos entomopatógenos: Hongos, bacterias y virus que infectan y matan insectos también pueden ser utilizados para controlar las poblaciones de *B. cockerelli*. Por ejemplo, el hongo *Beauveria bassiana* es un entomopatógeno eficaz que infecta y mata a los psílicos, reduciendo así su capacidad para transmitir CaLso (Castillo, 2019).

2.2.4 Interacción entre CaLso y *Bactericera cockerelli*

La interacción entre *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y su principal vector, *Bactericera cockerelli*, es un proceso complejo que influye en la propagación y la severidad de la enfermedad en las plantas solanáceas. *B. cockerelli*, también conocido como el psílido de la papa y el tomate, se alimenta del floema de las plantas utilizando un aparato bucal tipo picador-chupador. Durante este proceso, el insecto introduce el estilete en el floema para extraer la savia, al mismo tiempo que inyecta su saliva, que actúa como un medio de transmisión para CaLso (Cicero, 2016).

La transmisión de CaLso por *B. cockerelli* puede ocurrir de varias maneras. Por un lado, se ha observado que la bacteria se multiplica intracelularmente en el intestino del psílido, migrando luego a la hemolinfa y las glándulas salivales, desde donde puede ser transmitida nuevamente a las plantas durante la alimentación del insecto. Este proceso puede ser tanto propagativo, circulativo como persistente, lo que significa que la bacteria puede ser transmitida de manera activa y persistente durante un largo período de tiempo (Beltrán, 2014).

Además, se ha descubierto que la transmisión de CaLso puede ocurrir tanto horizontal como verticalmente entre las poblaciones de psílicos, lo que amplía aún más las vías potenciales de dispersión de la enfermedad (Hansen, 2008). Según un estudio de Nachappa (2011) indica que la presencia de CaLso en diferentes etapas de desarrollo de *B. cockerelli*, desde huevos hasta adultos, indica la complejidad de esta interacción y la necesidad de entenderla completamente para desarrollar estrategias efectivas de manejo y control de la enfermedad.

2.2.4.1 Ventajas y desventajas de los métodos de control biológico

Ventajas:

- Sostenibilidad: El control biológico reduce la dependencia de pesticidas químicos, minimizando los impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana (Hajek & Eilenberg, 2018).
- Especificidad: Muchos agentes de control biológico son específicos a las plagas objetivo, lo que reduce el riesgo de efectos no deseados sobre organismos no objetivo (Van Lenteren, 2012).

- Resistencia: Los enemigos naturales pueden adaptarse a las poblaciones de plagas, lo que disminuye la probabilidad de que las plagas desarrollen resistencia (Gurr et al., 2017).

Desventajas:

- Eficacia variable: Las condiciones ambientales pueden afectar la eficacia de los agentes biológicos, limitando su capacidad de control en ciertas situaciones (Hoddle et al., 2016).
- Costos iniciales: La implementación de programas de control biológico puede ser costosa inicialmente debido a la investigación, desarrollo y liberación de agentes biológicos (Van Driesche & Bellows, 1996).
- Tiempo de acción: Los agentes biológicos pueden tardar más tiempo en reducir las poblaciones de plagas en comparación con los pesticidas químicos, lo que puede ser un problema en situaciones de alta infestación (Hajek, 2004).

2.2.5 Cronología y secuencia del reporte de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) en Ecuador

- **Junio 2019:**

Observación de Síntomas: En junio de 2019, se observaron síntomas como amarillamiento y enrollamiento hacia arriba de las hojas, y pardeamiento de los tejidos vasculares y estrías en la zona medular de los tubérculos en campos de papa ubicados en la provincia de Pichincha, Ecuador. Además, se asociaron altas poblaciones de *Bactericera cockerelli* con la aparición de estos síntomas (Caicedo et al., 2020).

- **Recopilación de Muestras:**

Muestras de Plantas y Psílicos: Se recolectaron dos muestras de papa (M6-P-Pi y M7-P-Pi) de plantas que mostraban los síntomas mencionados y sesenta adultos de *B. cockerelli* divididos en dos muestras compuestas (M1-P y M2-P) en los mismos campos de papa para su análisis (Caicedo et al., 2020).

- **Análisis Molecular:**

Extracción y Amplificación de ADN: El ADN fue extraído de los pecíolos de las hojas y de los insectos utilizando kits específicos.

Las reacciones de PCR convencionales utilizaron cebadores específicos para la detección de CaLso. Los productos positivos de PCR de las muestras de papa e insectos se secuenciaron y se confirmó la presencia de CaLso haplotipo A mediante análisis de secuencias y BLAST (Caicedo et al., 2020).

- **Confirmación y Publicación:**

Confirmación del Haplotype A: El análisis filogenético reveló que las secuencias obtenidas pertenecen al haplotipo A de CaLso, con un 100% de homología con secuencias de GenBank. Este hallazgo representa el primer reporte molecular de CaLso haplotipo A en la provincia de Pichincha, Ecuador, y el primer reporte de CaLso en papa y en el psílido *B. cockerelli* en América del Sur (Caicedo et al., 2020).

2.2.6 Sistematización de métodos de control

2.2.6.1 Implementación y resultados

En el manejo del insecto vector de la enfermedad, se han identificado diversas estrategias de control biológico y cultural como alternativas al uso predominante de insecticidas químicos. En el ámbito del control biológico, se han probado varios agentes que han demostrado ser efectivos. Entre ellos, destacan *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Tamarixia triozae*. *Beauveria bassiana*, en particular, ha mostrado una alta eficacia con una dosis letal de 5.6-6.4 conidios por cm^3 de *Beauveria* cepa de la misma localidad, y una mortalidad considerable tanto en ninfas como en adultos del insecto vector (Ocampo, 2019).

En cuanto al control cultural, se han implementado diversas medidas. Por ejemplo, se ha utilizado *Solanum habrochaite* como barrera natural, lo que ha resultado en una disminución significativa del número de psílicos presentes en los cultivos. Asimismo, se ha observado la contribución positiva de depredadores naturales como *Tamarixia triocidae* y *Amblydromalus limonicus* en la reducción de las poblaciones del insecto (Suárez, 2017).

Otra estrategia es el uso de mallas anti-áfidos, que actúan como barreras físicas modificando la longitud de onda de la luz incidente en el cultivo.

Aunque estas mallas han demostrado ser efectivas en la reducción de la incidencia de insectos, también pueden afectar negativamente la tasa fotosintética y la producción de almidón. También, se han empleado ácidos como el giberélico y el salicílico mediante aplicaciones exógenas como parte del control cultural (Rios, 2014).

Estas alternativas de control biológico y cultural ofrecen enfoques más sostenibles y menos dependientes de insecticidas químicos en la gestión del insecto vector de la enfermedad en los cultivos.

2.2.6.2 Desafíos y oportunidades

Los principales desafíos para el control biológico de CaLso en Ecuador incluyen la falta de conocimiento y capacitación entre los agricultores, la variabilidad en la eficacia de los agentes biológicos bajo diferentes condiciones ambientales y la necesidad de un monitoreo constante. No obstante, existen oportunidades significativas para mejorar la implementación de estrategias de control biológico a través de la educación y el apoyo técnico a los agricultores, así como mediante la investigación y el desarrollo continuo de nuevos agentes biológicos y técnicas de aplicación (Jácome, 2022).

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

La estructura PICO (Población, Intervención, Comparación y Resultados) ha demostrado ser muy versátil para formular preguntas de investigación estructuradas sobre diversos temas de interés científico. La plantilla PICO ayuda a enfocar los componentes esenciales que se desean abordar: la población de interés, la intervención o exposición clave, la comparación con otros grupos o alternativas, y los resultados que se evaluarán. Esta estructuración de la pregunta guía el proceso de búsqueda sistemática de la evidencia (Santos et al., 2007).

Al analizar en detalle la especificidad y sensibilidad de PICO frente a la estrategia SPIDER (Sample, PI-Phenomenon of Interest, Design, Evaluation y Research type), que es una alternativa para construir preguntas estructuradas. Los autores concluyen que PICO ofrece mayor especificidad, mientras que SPIDER brinda más sensibilidad, por lo que la elección entre una u otra depende del contexto de la revisión. No obstante, PICO sigue siendo el enfoque dominante en revisiones sistemáticas (Methley et al., 2014)

El diagrama de flujo PRISMA, esencial para la visualización del análisis sistemático, proporciona una representación gráfica transparente y reproducible del proceso de selección de estudios. Esto permite a los lectores entender y evaluar críticamente los pasos realizados por los autores de la revisión sistemática. Como componente crucial de la declaración de reporte, el diagrama PRISMA fue establecido inicialmente por Moher et al. en 2009 y ha sido recientemente actualizado en la versión PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

3.1 Tipo y diseño de investigación

Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo la metodología PICO:

- P (Población/Pacientes): Métodos utilizados para controlar *Bactericera cockerelli* y su impacto en cultivos de solanáceas.
- I (Intervención): Evaluación de la efectividad de diferentes métodos en la reducción de *Bactericera cockerelli*.

- C (Comparación): Diferentes métodos de control biológico para disminuir la incidencia de la CaLso
- O (Outcome/Resultados): Medición cuantitativa de la eficacia antibacteriana y de control de plagas para la reducción de la población de *Bactericera cockerelli*, y mejora en la salud del cultivo.

3.2 La población y la muestra

3.2.1 Características de la población

Todos los estudios primarios potencialmente elegibles que aborden la pregunta de investigación serán considerados. Generalmente, se desconoce el número total de estos estudios en la etapa inicial.

3.2.2 Delimitación de la población

La población objetivo de esta revisión sistemática estará compuesta por estudios que hayan evaluado la presencia y efectos de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en solanaceas y su relación con el insecto vector *Bactericera cockerelli* y métodos de control biológico de los mismos.

3.2.3 Tipo de Muestra

No se aplicará el concepto de muestra aleatoria o representativa. Se pretende incluir el 100% de los estudios disponibles que cumplan con los criterios de elegibilidad.

3.2.4 Tamaño de Muestra

No se calcula de antemano; el tamaño de la muestra resulta del número de estudios elegibles identificados mediante la búsqueda sistemática. En meta-análisis, se recomienda un mínimo de 10 estudios.

3.2.4.1 Criterios de Elegibilidad

Se aplicarán los siguientes criterios de elegibilidad:

Criterios de Inclusión:

- Estudios que evaluaron la presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en cultivos de solanaceas y su relación con *Bactericera cockerelli*.

- Estudios que informen sobre la incidencia, métodos de detección, y control biológico de CaLso y su vector.
- Estudios publicados en los últimos 10 años.
- Idiomas: inglés y español.

Criterios de Exclusión:

Revisiones narrativas, editoriales o cartas al editor.

Estudios en otros cultivos o con diferentes vectores.

Estudios sin datos originales.

Estudios con errores metodológicos significativos.

3.2.4.2 Búsqueda Sistemática

Se realizarán búsquedas estructuradas en las siguientes bases de datos:

- PubMed
- Scopus
- Web of Science
- ScienceDirect
- ProQuest Central
- Springer Link
- Wiley Online Library
- Google Scholar

Se utilizaron ecuaciones de búsqueda con operadores booleanos y los conceptos clave de la pregunta PICO. Luego, se aplicaron los criterios de elegibilidad para conformar la base final de evidencia.

3.2.4.3 Análisis

La metodología PICO (Población-Intervención-Comparación-Resultados) se empleará para recopilar información precisa sobre el tema. Esta metodología permite pasar de una pregunta genérica a una formulada de manera específica.

Las preguntas PICO actúan como un filtro de información que va de lo general a lo particular. Se parte de una pregunta amplia y, a medida que se avanza en la investigación, se delimitan y especifican las partes de la pregunta principal en otras más pequeñas y concretas para obtener resultados más precisos.

El principal objetivo de las preguntas PICO es la recopilación de información precisa sobre un tema en concreto, y se utilizan en investigaciones de ciencias agrícolas y en trabajos de revisión sistemática.

3.2.4.4 Síntesis

Los resultados se presentaron mediante tablas, gráficos y diagrama de flujo PRISMA (Page et al., 2021) (Figura 1)

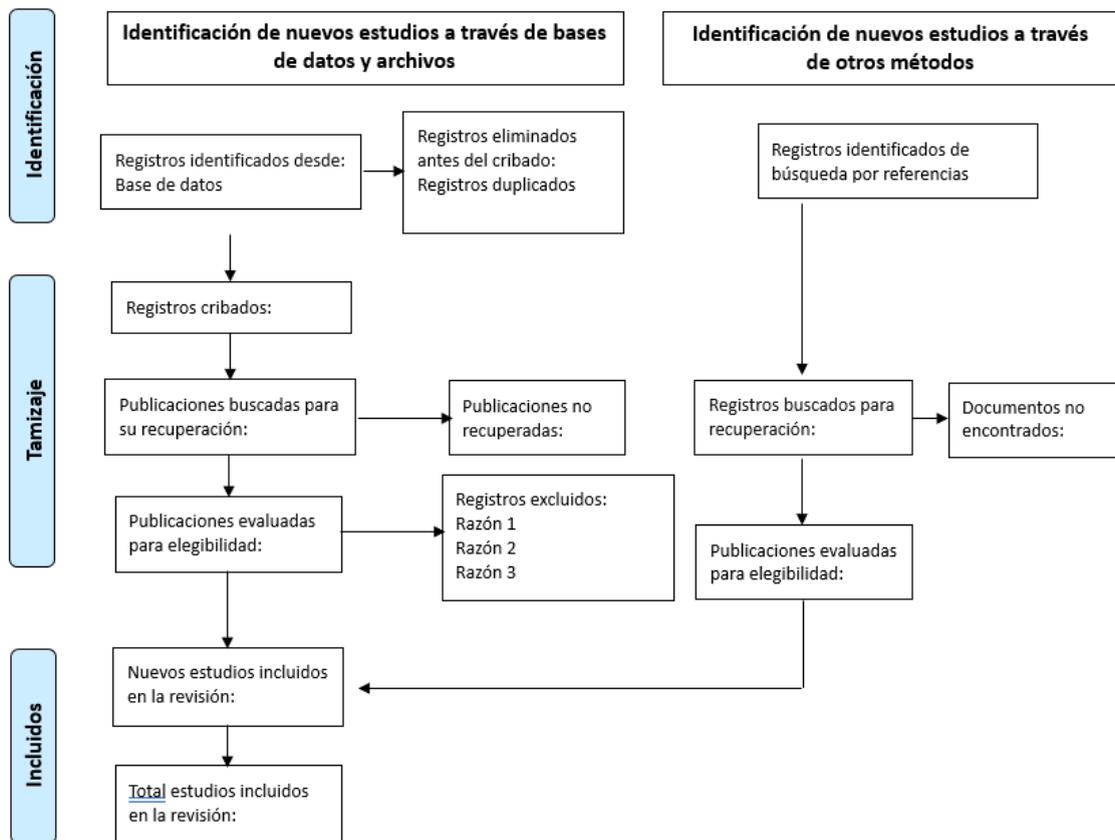


Figura 4. Ejemplo del Diagrama tipo PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

Se elaboró una discusión global, destacando los métodos de control biológico con mayor relevancia. Las conclusiones incluyeron recomendaciones para futuras investigaciones.

3.3 Los métodos y las técnicas

Para llevar a cabo la revisión sistemática sobre los métodos de control biológico de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y su vector *Bactericera cockerelli*, se utilizaron las siguientes bases de datos académicas de la manera indicada:

- **Construcción de Ecuaciones de Búsqueda:**

Se elaboraron ecuaciones de búsqueda utilizando operadores booleanos y de proximidad con los conceptos claves relevantes al tema en cada base de datos.

- **Aplicación de Criterios de Inclusión y Exclusión:**

Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión definidos a los resultados de las búsquedas para conformar la base de evidencia.

- **Análisis Detallado de Estudios Preseleccionados:**

Los estudios preseleccionados se analizaron en detalle para extraer en una tabla comparativa los datos cuantitativos y cualitativos más importantes, como métodos de control biológico evaluados, eficacia obtenida y posibles mecanismos de acción.

- **Síntesis de Información:**

Se sintetizó la información en tablas y gráficos que permiten identificar tendencias y patrones en los resultados.

- **Elaboración de Discusión Global:**

Se elaboró una discusión global analizando críticamente los métodos de control biológico más prometedores y las principales líneas de investigación en curso y emergentes.

- **Redacción de Conclusiones:**

Se redactaron las conclusiones destacando los métodos de control biológico de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* con mayor potencial demostrado y brindando recomendaciones para la continuación de estudios.

3.4 Procesamiento estadístico de la información

En la revisión sistemática realizada, la mayoría de los estudios analizados sobre el control biológico de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* son de tipo cuantitativo y reportan datos numéricos detallados como valores de eficacia de los métodos de control, tasas de reducción de la plaga, y concentraciones de agentes biológicos utilizados. Este enfoque cuantitativo permite un procesamiento estadístico de la información recolectada.

El objetivo principal del procesamiento estadístico es proporcionar una síntesis precisa de la evidencia disponible, permitiendo conclusiones fundamentadas sobre la eficacia de los diferentes métodos de control biológico de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli*.

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de los resultados

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva en bases de datos indexadas sobre las especies *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* con el objetivo de analizar el conocimiento actual sobre estos organismos. La búsqueda se inicia utilizando los términos "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" y "*Bactericera cockerelli*", aplicando filtros de fechas para seleccionar únicamente artículos de investigación originales publicados en revistas científicas revisadas por pares.

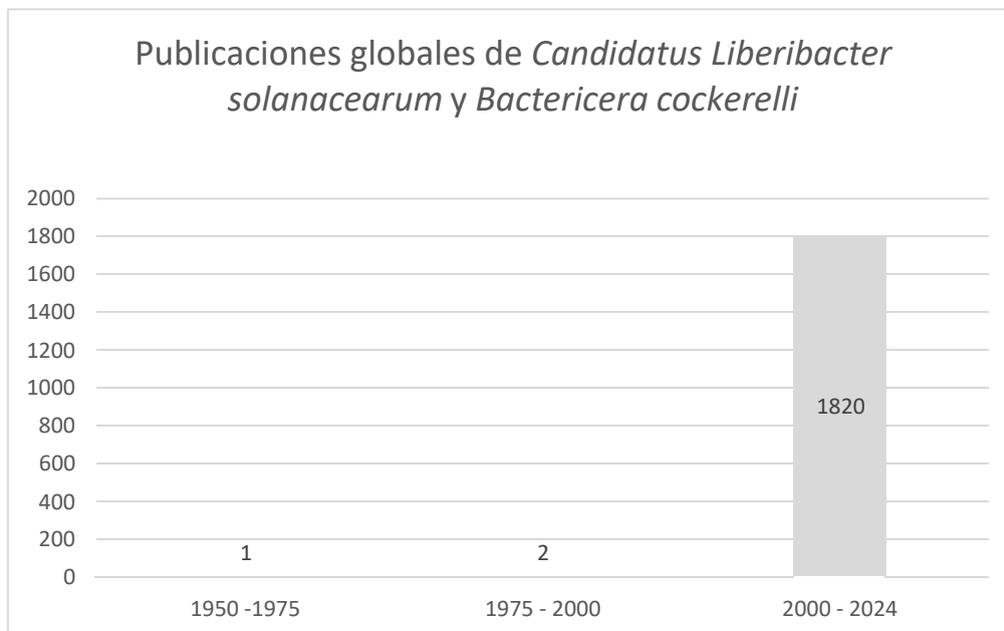


Gráfico 1. Publicaciones a nivel global de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* de 1950 al 2024.

Los datos (Gráfico 1) reflejan la producción científica sobre *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli*. La búsqueda se realizó utilizando estos términos en el título de las investigaciones, divididas en períodos desde 1950 hasta la actualidad. Se observa un aumento exponencial significativo en las últimas décadas.

Entre 1950 y 1975 se registró una sola publicación, indicando un interés inicial muy bajo. De 1975 a 2000, la producción aumentó a 2 documentos en total, señalando un leve incremento en la investigación. Sin embargo, desde el año 2000 hasta 2024, se registró un crecimiento extraordinario con 1820 publicaciones, promediando 75,83 artículos por año.

Este notable aumento puede contribuir al creciente interés global en el impacto y control de estos organismos en la agricultura.

Se realizó una búsqueda de publicaciones sobre *Candidatus Liberibacter solanacearum*, *Bactericera cockerelli* y Ecuador, utilizando la condición de que los términos 'Liberibacter', 'cockerelli' y 'Ecuador' estuvieran presentes en el título, resumen o palabras clave del documento.

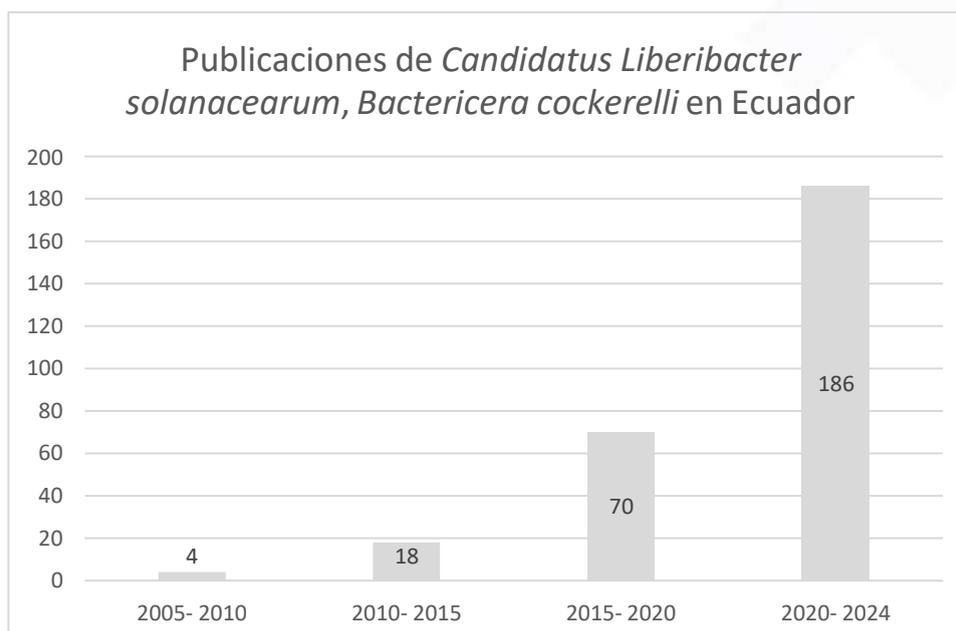


Gráfico 2. Publicaciones a nivel global de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* de 2005 al 2024 en Ecuador.

Los datos (Gráfico 2) reflejan la producción científica sobre *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* en Ecuador. La búsqueda se realizó utilizando estos términos en el título de las investigaciones, divididas en períodos desde 2005 hasta la actualidad. Se observa un aumento exponencial significativo en las últimas décadas.

Entre 2005 y 2010 se encontraron 4 publicaciones, indicando un interés inicial moderado. De 2010 a 2015, la producción aumentó a 18 documentos en total, señalando un incremento en la investigación. De 2015 a 2020 se registraron 70 publicaciones, reflejando un aumento considerable en el interés y estudio de estos patógenos. Finalmente, desde 2020 hasta 2024, se alcanzaron 186 publicaciones, demostrando un crecimiento extraordinario en la investigación sobre estos organismos en Ecuador. Este notable aumento puede contribuir al creciente interés en el impacto y control de estos patógenos en la agricultura.

Estos estudios fueron analizados en profundidad para extraer los datos más relevantes y consolidarlos en una tabla resumen (Tabla 1). La tabla recopila información sobre el autor principal, año de publicación, métodos de control biológico evaluados y los principales resultados los controles reportados.

Tabla 1. Utilización de la Metodología PICO para los artículos científicos relevantes

<u>P (Población):</u>	<u>I (Intervención):</u>	<u>C (Comparación):</u>	<u>O (Resultados):</u>	<u>Autores</u>
Cultivo de papa (Solanum tuberosum) variedad Superchola	Se evaluaron dos métodos de control: jabón potásico (al 0.5% y 1%) y ozono (al 0.25% y 0.5%). Estos métodos se aplicaron para prevenir la plaga responsable de la enfermedad punta morada, que causa enrollamiento de hojas, amarillamiento y manchas moradas en hojas nuevas, afectando la floración y tuberización	La efectividad de los tratamientos con jabón potásico y ozono se comparó con un tratamiento químico de control. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 2x2+1 con 4 repeticiones, además del análisis de varianza ANOVA y el Test LSD de Tukey para evaluar las diferencias entre tratamientos.	El jabón potásico al 1% fue el más efectivo para el control de <i>B. cockerelli</i> , resultando en un promedio de 4.67 huevos, 4.18 ninfas y 49.25 adultos, reduciendo significativamente la presencia de la plaga. Sin embargo, el tratamiento químico (testigo) presentó el mejor rendimiento con un promedio de 1.91 kg/m ² , equivalente a 19053.03 kg/ha.	(Álvarez, 2023)
Productores de papa (Solanum tuberosum)	Implementación de labores culturales de alta y baja inversión económica para el control del psílido de la papa.	Comparación entre distintos escenarios con umbrales de actuación del 20% y 80%, y un tratamiento control sin intervención.	El tratamiento control mostró altos niveles de infestación y menor porcentaje de cultivos sanos. Escenarios con umbrales del 20% resultaron en una actuación más rápida y mejor control. El escenario 4 (alta inversión, umbral 20%) presentó el mayor índice de cultivos sanos y menor presencia de psílidos. El escenario 8 (baja inversión, umbral 20%, rendimiento menor a 10 t/ha) mostró mayor porcentaje de otros cultivos.	(Vicente, 2020)
Cultivos de	Implementación de	Comparación entre	El manejo integrado	(Ayala &

pimiento afectados por la paratrioza (<i>Bactericera cockerelli</i>)	un manejo integrado (cultural-mecánico-biológico) para el control de <i>B. cockerelli</i> .	el manejo integrado propuesto y las técnicas locales actuales que principalmente utilizan productos y fumigaciones químicas.	contribuirá a un mejor control de la paratrioza, reduciendo la infestación y las pérdidas económicas que actualmente oscilan entre el 10% y el 50% de la producción, y disminuyendo el uso indiscriminado de pesticidas y los costos de producción.	Cumanda, 2022)
Cultivos de tomate afectados por plagas y enfermedades	Implementación del control biológico utilizando especies de parasitoides, depredadores, y entomopatógenos para manejar plagas y enfermedades en los cultivos de tomate.	Comparación entre el uso del control biológico y otros métodos tradicionales de control de plagas y enfermedades.	El control biológico mostró ser principalmente efectivo para el control de insectos (50%), seguido por hongos fitopatógenos (44%) y en menor proporción para nematodos fitoparásitos. Los insectos, como depredadores o parasitoides, son los agentes de biocontrol más utilizados, seguidos por hongos entomopatógenos y bacterias. La revisión demostró que existen numerosos agentes de biocontrol que pueden ser utilizados tanto en campo como en invernadero, proporcionando alternativas eficientes para el manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de tomate.	(Corrales, 2021)
<i>Bactericera cockerelli</i> en condiciones controladas.	Aplicación de extractos vegetales de higuera, chamico, ruda, y santamaria en tres dosis diferentes (5 ml, 10 ml, y 15 ml) para el control de <i>B. cockerelli</i> .	Comparación entre diferentes extractos vegetales y un tratamiento control (sin aplicación de extractos).	El extracto de higuera a una dosis de 15 ml mostró la mayor efectividad, con una mortalidad del 76% de <i>B. cockerelli</i> (38 de 50 moscas muertas), siendo el tratamiento más efectivo comparado con otros extractos y dosis, en condiciones de temperatura ambiente. Otros extractos no mostraron una significancia comparable.	(Chicaiza, 2023)

<p><i>Bactericera cockerelli</i> en condiciones de laboratorio.</p>	<p>Aplicación de extractos vegetales de Cicuta (<i>Conium maculatum</i>) y Falso Tabaco (<i>Nicotiana glauca</i>) en dos concentraciones (25% y 50%).</p>	<p>Comparación entre los diferentes extractos vegetales en ambas concentraciones y sus respectivos controles.</p>	<p>El extracto de Cicuta (<i>Conium maculatum</i>) al 50% mostró el mayor promedio de control de <i>B. cockerelli</i> con 2.85 individuos muertos en las primeras 3 horas, seguido por el extracto de Falso Tabaco (<i>Nicotiana glauca</i>) al 50% con un promedio de 2.55 individuos muertos. Se recomienda el uso del extracto de Cicuta al 50% para el control efectivo de la plaga.</p>	<p>(Peralta, 2022)</p>
<p>Ninfas de <i>Bactericera cockerelli</i></p>	<p>Aplicación de aceites esenciales en emulsión (<i>Ruta graveolens</i> y <i>Anethum graveolens</i>) a tres concentraciones (0%, 25%, 50%).</p>	<p>Comparación entre diferentes aceites esenciales (<i>Ruta graveolens</i> y <i>Anethum graveolens</i>) y sus concentraciones (25% y 50%), incluyendo un control (0%).</p>	<p><i>Ruta graveolens</i> a una concentración del 50% mostró el mayor control de ninfas de <i>B. cockerelli</i> con un promedio de 17.67 individuos muertos en los dos primeros minutos. En general, <i>Ruta graveolens</i> tuvo un promedio de 11.44 individuos muertos, mientras que <i>Anethum graveolens</i> tuvo un promedio de 3.37 individuos muertos. Los principales compuestos detectados fueron 2-undecanona (46.88%) en <i>Ruta graveolens</i> y Trans-Anetol (75.88%) en <i>Anethum graveolens</i>.</p>	<p>(Acosta, 2023)</p>
<p>Los cultivos de papa afectados por la plaga <i>Bactericera cockerelli</i></p>	<p>La intervención consiste en el uso de extracto de ajo y el producto Neem X aplicados en dos dosis diferentes, 10% y 15%, para el control de la plaga <i>B. cockerelli</i> en el cultivo de papa. La aplicación de estos tratamientos se</p>	<p>Se comparan los efectos de las dos dosis del extracto de ajo y del producto Neem X (10% y 15%) sobre el control de <i>B. cockerelli</i>. También se incluye un control (sin tratamiento) para evaluar la eficacia relativa de</p>	<p>Los resultados evaluados en el estudio incluyen el tiempo de aparición de la plaga, el número de huevos y ninfas por planta, la incidencia de la enfermedad de punta morada y el rendimiento del cultivo de papa. Se encontró que la dosis de Neem X al 15% proporcionó los mejores resultados en todas las variables analizadas,</p>	<p>(Espinoza, 2022)</p>

	realiza utilizando el método de termonebulización.	los tratamientos.	siendo el método de aplicación por termonebulización altamente efectivo para el control de <i>B. cockerelli</i> .	
Poblaciones de <i>Bactericera cockerelli</i>	La intervención incluye la aplicación de tres tipos de extractos del macerado de barbasco obtenidos por diferentes métodos (extracción en agua, extracción en alcohol, y extracción por rotavapor) a concentraciones de 5%, 10% y 15%. Estos extractos se aplicaron a las moscas en cajas de vidrio.	Se compararon los efectos de los diferentes métodos de extracción (agua, alcohol, y rotavapor) y las distintas concentraciones (5%, 10%, y 15%) del macerado de barbasco en la mortalidad de <i>Bactericera cockerelli</i> .	Los resultados demostraron que la extracción por rotavapor a una concentración del 15% fue la más efectiva, con un promedio de 81,73 moscas muertas en 2 horas. La prueba de Tukey al 5% indicó que la mejor concentración de los bioinsecticidas fue del 15%, con un promedio de 73,01 moscas muertas. Se concluyó que los extractos de hojas de barbasco son efectivos como insecticida, actuando sobre el sistema nervioso de <i>Bactericera cockerelli</i> por contacto o ingestión.	(Pastuña, 2022)
Plantas de papa cultivadas in vitro infectadas por <i>Candidatus Liberibacter</i>	La intervención consiste en la exposición de las plantas de papa a la luz ultravioleta B (UV-B) durante diferentes horas y días. El tratamiento específico evaluado fue de 4 horas diarias durante 15 días.	Se compararon los efectos de la exposición a la luz UV-B entre plantas positivas y negativas a la bacteria <i>Candidatus Liberibacter</i> . Además, se compararon plantas positivas expuestas a la radiación UV-B con plantas positivas no expuestas.	Los resultados mostraron que la radiación UV-B disminuyó la supervivencia de las plantas positivas en comparación con las negativas. El peso y la longitud de las plantas disminuyeron en ambas poblaciones expuestas a UV-B. La actividad de la enzima peroxidasa incrementó significativamente en plantas positivas en comparación con plantas negativas y con plantas positivas no expuestas a UV-B. La actividad de la catalasa también aumentó en las plantas positivas expuestas a UV-B en	(Bernal, 2016)

			comparación con las no radiadas.	
Cultivo de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)	La intervención consiste en la aplicación de cuatro planes de manejo para el control de <i>Bactericera cockerelli</i> en el cultivo de tomate de árbol. Los planes de manejo evaluados fueron orgánicos, químicos, mixtos y plantas testigo (sin tratamiento).	Se compararon los efectos de los cuatro planes de manejo (orgánicos, químicos, mixtos y testigo) en términos del número de huevos, ninfas por hoja y adultos por hoja de <i>Bactericera cockerelli</i> .	El plan de manejo orgánico (P1) fue el más efectivo para el control de <i>Bactericera cockerelli</i> , con una media de 4.41 huevos, 0 ninfas por hoja y 0 adultos por hoja. El plan de manejo químico (P2) tuvo una media de 5.44 huevos, mientras que el plan mixto (P3) tuvo una media de 1.73 ninfas por hoja. La prueba de Tukey al 0.05 indicó que el manejo orgánico es el más recomendable para el control de <i>Bactericera cockerelli</i> .	(Balderramo, 2023)
Plantas de papa, variedad Superchola	La intervención incluye la aplicación de elicitores sintéticos y microorganismos como <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Trichoderma harzianum</i> , fosfitos de potasio (K), y ácido salicílico para el manejo de la PMP. Las aplicaciones se realizaron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones.	Se compararon los efectos de los diferentes tratamientos (elicitores sintéticos y microorganismos) sobre varias variables: porcentaje de emergencia, estado de vigor, incidencia y severidad de la enfermedad, dinámica poblacional de <i>Bactericera cockerelli</i> (huevos y ninfas), rendimiento de las plantas, transmisión de fitoplasma a plantas hijas, y análisis económico de los tratamientos.	Los resultados mostraron que <i>Bacillus subtilis</i> redujo las poblaciones de ninfas en un 25%. Los tratamientos con <i>Trichoderma harzianum</i> y fosfitos de potasio generaron una menor severidad de la enfermedad, con un 71.67% y 70% respectivamente. Los tratamientos con <i>T. harzianum</i> + <i>B. subtilis</i> , ácido salicílico, y <i>Bacillus subtilis</i> presentaron severidades de 75.00%, 73.00%, y 74.67% respectivamente. El ácido salicílico resultó en el mejor rendimiento, con 19.25 t/ha. Se recomienda realizar ensayos adicionales con otras especies de solanáceas utilizando el ácido salicílico como activador de resistencia.	(Cuenca, 2021)

4.2 Interpretación de los resultados

El control biológico de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso), transmitido por el psílido *Bactericera cockerelli*, ofrece diversas estrategias para un manejo sostenible y eficaz de la plaga. Estos métodos incluyen el uso de extractos vegetales, aceites esenciales, manejo integrado y aplicaciones de luz UV-B, que han demostrado resultados prometedores en la reducción de infestaciones y daños a los cultivos.

Para analizar los estudios incluidos en esta investigación, se clasificaron en categorías según los métodos de control de *Bactericera cockerelli* como vector de CaLso.

4.2.1 Depredadores, parasitoides y entomopatógenos

En el análisis de las tácticas de control biológico como depredadores, parasitoides y entomopatógenos aplicadas a las plagas como *Bactericera cockerelli* presentes en el tomate riñón (*Solanum lycopersicum*), se observó que el control biológico se utiliza principalmente para el control de los insectos plaga (50%), seguido de los hongos fitopatógenos (44%). En menor proporción, se empleó para el control de nematodos fitoparasíticos. En cuanto a los organismos usados como agentes de biocontrol, los insectos son el grupo más utilizado en programas de control biológico, ya sea como depredadores o parasitoides. Los hongos entomopatógenos y las bacterias también fueron utilizados. La eficacia varió según el tipo de agente de biocontrol, la especie controlada y las condiciones climáticas (Corrales, 2021).

4.2.2 Extractos Vegetales

4.2.2.1 Extractos de higuera, chamico, ruda y santamaria

En un estudio de laboratorio, se evaluó los efectos de los extractos de higuera, chamico, ruda y santamaria en tres dosis diferentes (5 ml, 10 ml y 15 ml), junto con un grupo control. Los extractos se aplicaron a individuos de *Bactericera cockerelli* en cajas de vidrio, y se realizaron conteos de mortalidad dos horas después. Los resultados indicaron que el extracto de higuera, en una dosis de 15 ml, logró la mayor mortalidad de adultos de *B. cockerelli*, con un porcentaje de significancia del 0,76% en condiciones de temperatura ambiente. Los otros extractos no demostraron una eficacia significativa en el control de la plaga.

Por lo tanto, se recomendó el uso del extracto de higuierilla a una dosis de 15 ml como una opción efectiva para controlar la incidencia de *Bactericera cockerelli*, destacando su potencial como alternativa natural y amigable con el medio ambiente en el control de plagas en cultivos (Chicaiza, 2023).

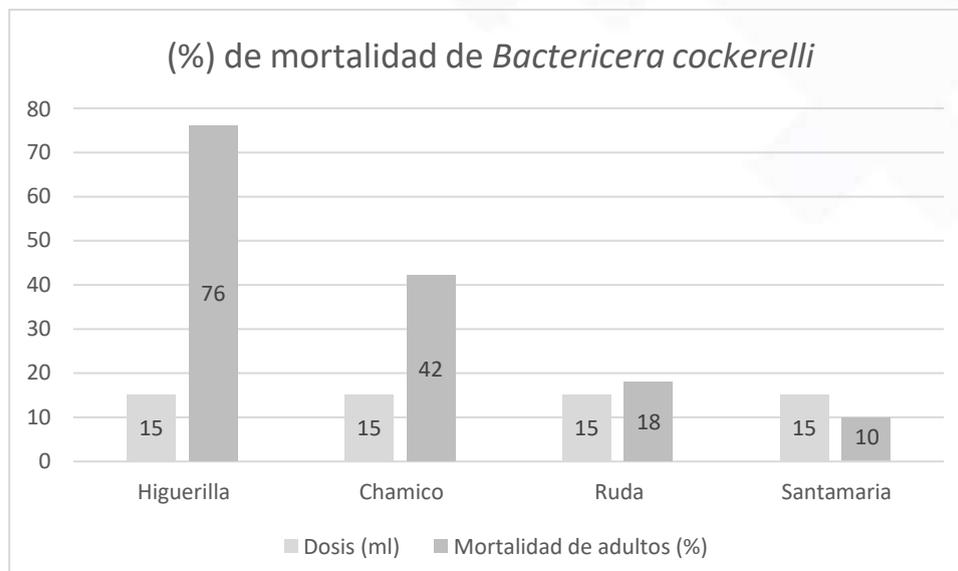


Gráfico 3. (%) de mortalidad de *Bactericera cockerelli* con extractos de higuierilla, chamico, ruda y santamaria

4.2.2.2 Extracto de cicuta y falso tabaco

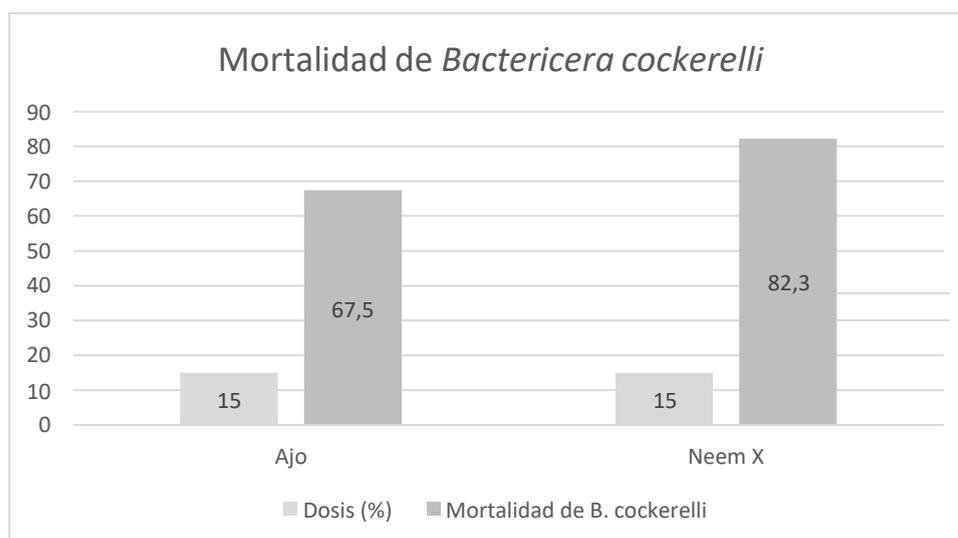
En un estudio de laboratorio para controlar *Bactericera cockerelli*, se aplicaron extractos vegetales obtenidos mediante la técnica de maceración. Estos extractos, provenientes de Cicuta (*Conium maculatum*) y Falso Tabaco (*Nicotiana glauca*), se utilizaron en concentraciones del 25% y 50%, junto con sus respectivos grupos de control. Se realizaron conteos de *B. cockerelli* después de 3 horas de la aplicación del extracto y luego cada 3 horas durante un período de 18 horas. El análisis indicó que el extracto de cicuta al 50% logró el mayor porcentaje de control durante las primeras 3 horas, con un promedio de 2,85 individuos muertos. Le siguió el extracto de falso tabaco al 50%, con un promedio de 2,55 individuos muertos. Por lo tanto, el uso del extracto de cicuta al 50% es una opción efectiva para el control de *Bactericera cockerelli* en condiciones de laboratorio (Peralta, 2022).

Cuadro 3. Mortalidad de *Bactericera cockerelli* utilizando extracto de cicuta y falso tabaco

Extracto	Concentración (%)	Mortalidad individuos en 3 horas
Cicuta	50	2,85
Falso Tabaco	50	2,55

4.2.2.3 Extracto de ajo y neem x

Se llevó a cabo un estudio en el cultivo de papa para evaluar insecticidas naturales y su efecto en el control de *Bactericera cockerelli* insecto vector de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso). Se utilizaron dos tratamientos: el extracto de ajo y el producto neem x en dos dosis diferentes (10% y 15%). Las variables analizadas incluyeron el tiempo de aparición de la plaga, el número de huevos y ninfas por planta, la incidencia de punta morada y el rendimiento del cultivo. Los resultados demostraron que la dosis más efectiva fue el neem x al 15%, que mostró un control óptimo en todas



las variables estudiadas. Además, se destacó la eficacia del método de aplicación por termonebulización, que facilitó la dispersión y acción del ingrediente activo del insecticida orgánico (Espinoza, 2022).

Gráfico 4 . Mortalidad de *Bactericera cockerelli* utilizando extracto de ajo y neem x.

4.2.2.4 Extracto de barbasco

Se evaluaron tres tipos de extracciones del macerado de barbasco (*Clibadium surinamense*): agua, alcohol y rotavapor. Estos extractos se obtuvieron a partir de las hojas de la planta. Se aplicaron concentraciones de 5%, 10% y 15%.

Durante un período de 2 horas, se registró el número de individuos muertos. Los resultados destacaron que la extracción de rotavapor de barbasco fue la más efectiva, con un promedio de 81,73 individuos muertos, mostrando una diferencia significativa con los otros tratamientos. Además, la concentración más efectiva de bioinsecticidas fue del 15%, con un promedio de 73,01 individuos muertos. La interacción entre la extracción de rotavapor de barbasco y la concentración al 15% demostró ser la combinación óptima para el control de *B. cockerelli* (Pastuña, 2022).

Cuadro 4. Mortalidad de *Bactericera cockerelli* utilizando extracto de barbasco.

Tratamiento	Concentración (%)	Individuos muertos (Promedio)
Agua + Hojas de barbasco	5	63,45
Alcohol + Hojas de barbasco	10	68,92
Rotavapor + Hojas de barbasco	15	81,73

4.2.3 Aceites esenciales en emulsión

Se evaluó el efecto de aceites esenciales en emulsión en ninfas de *Bactericera cockerelli*. Se utilizaron tres concentraciones de aceites esenciales (25%, 50% y un grupo control al 0%). Tras aplicar los aceites esenciales en emulsión, se observó la mortalidad de las ninfas dos minutos después. Los compuestos principales presentes en los aceites fueron 2-undecanona y Trans-Anetol. Los resultados indicaron que los aceites esenciales en emulsión controlaron eficazmente las ninfas de *Bactericera cockerelli* en condiciones de laboratorio. El promedio de mortalidad fue de 11,44 individuos muertos por *Ruta graveolens* y 3,37 individuos muertos por *Anethum graveolens*. Además, se observó una interacción significativa entre los aceites y las concentraciones, destacando que *Ruta graveolens* al 50% presentó el mayor promedio de mortalidad con 17,67 individuos muertos en los dos minutos posteriores a la aplicación (Acosta, 2023).

Cuadro 5. Mortalidad de *Bactericera cockerelli* utilizando aceites esenciales en emulsión

Concentración (%)	Aceite Esencial	Mortalidad Promedio (ninfas muertas)
0	Control	0
25	<i>Ruta graveolens</i>	11,44
50	<i>Ruta graveolens</i>	17,67
25	<i>Anethum graveolens</i>	3,37

4.2.4 Uso de jabón potásico y ozono

En este estudio, se investigó el efecto de jabón potásico y ozono en concentraciones del

0.25% y 0.5% para el ozono, y del 0.5% y 1% para el jabón potásico en ninfas de *Bactericera cockerelli* en el cultivo de papa variedad superchola. Se recolectaron datos a los 30, 60, 90 y 120 días después de la emergencia de la papa. Las variables evaluadas incluyeron el número de huevos, ninfas y adultos de la plaga, así como el rendimiento en kilogramos. Los resultados indicaron que el jabón potásico al 1% fue el tratamiento más efectivo para controlar la plaga. El número promedio de huevos, ninfas y adultos fue de 4,67, 4,18 y 49,25, respectivamente. El rendimiento más alto se observó en el tratamiento químico (testigo), con un promedio de 1.91 kg/m², equivalente a 19053.03 kg/ha (Álvarez, 2023).

4.2.5 Evaluación de diferentes controles (orgánico, químico, mixto y testigo)

Se evaluó distintos planes de manejo para controlar la plaga de *Bactericera cockerelli* en cultivos de tomate de árbol. Los resultados obtenidos revelaron lo siguiente: en cuanto al número de huevos, el tratamiento orgánico (P1) mostró una media de 4,41, considerado el más efectivo para controlar *Bactericera cockerelli*, seguido por el tratamiento químico (P2) con una media de 5,44. En términos de ninfas y adultos por hoja, el tratamiento orgánico (P1) presentó una media de 0, siendo el más efectivo en esta etapa del insecto, seguido por el tratamiento mixto (P3) con una media de 1,73. Se determinó que el manejo orgánico es el más recomendable para el control de *Bactericera cockerelli* en cultivos de tomate de árbol (Balderramo, 2023).

4.2.6 Estrategias y prácticas locales

4.2.6.1 Diagnóstico y técnicas locales de manejo

El estudio se enfocó en el diagnóstico y las técnicas locales de manejo de *Bactericera cockerelli* en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.). El objetivo fue evaluar las prácticas locales de manejo de esta plaga con la hipótesis de que los agricultores no emplean técnicas adecuadas para su control. Los resultados revelaron que los agricultores tienden a utilizar productos químicos y fumigaciones desde la germinación de la planta, comenzando el control desde la fase de huevos de la plaga. Sin embargo, estas prácticas no son suficientes para reducir la infestación. La implementación de un manejo integrado que combine técnicas culturales, mecánicas y biológicas para el control

de *Bactericera cockerelli* ayudaría a reducir la dependencia de pesticidas químicos y los altos costos de producción (Ayala & Cumanda, 2022).

4.2.6.2 Modelo teórico de adopción de trabajos culturales

El estudio se centró en evaluar la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica para el control de *Bactericera cockerelli* en papa. Se desarrolló un modelo teórico en la plataforma Miro. Este modelo incluyó aspectos como la diseminación, ecología y labores culturales para el control de la plaga, así como el rendimiento del cultivo de papa libres e infectados. Se creó un modelo basado en agentes que simula una sociedad de productores de papa, donde los lotes están infestados con el psílido de la papa y se implementan labores culturales para su control. El modelo consideró la capacidad adquisitiva de los agricultores para la implementación de labores culturales de alta o baja inversión económica. El tratamiento control, donde los agricultores no actúan, mostró los peores resultados, con altos niveles de población de la plaga, menor porcentaje de cultivos sanos y mayor porcentaje de cultivos infectados. Los resultados mostraron que en los escenarios con un umbral del 20%, los agricultores actuaron con mayor rapidez. El escenario 4, que involucra labores culturales de alta inversión económica, mostró un mayor índice de cultivos sanos y una menor presencia de la plaga. El escenario 8, con labores de baja inversión económica y un umbral del 20%, mostró un mayor porcentaje de otros cultivos (Vicente, 2020).

4.2.6.3 Uso de elicitores sintéticos y microorganismos

Se evaluó el impacto de elicitores sintéticos y microorganismos para el manejo agroecológico de la punta morada. Se analizó el porcentaje de emergencia a los 30 y 40 días después de la siembra, el estado de vigor a los 60 y 80 días después de la siembra, la incidencia y severidad de la enfermedad, la dinámica poblacional de *Bactericera cockerelli*, el rendimiento y la transmisión de fitoplasma a plantas hijas. Los resultados mostraron que las plantas tratadas con *Bacillus subtilis* redujeron en un 25% las poblaciones de ninfas. Los tratamientos con *Trichoderma harzianum* y fosfitos de K demostraron menor grado de afectación, con un porcentaje de severidad de 71,67% y 70%, respectivamente. Además, se observó que el ácido salicílico generó el mejor rendimiento, alcanzando 19,25 toneladas por hectárea. Al final se sugiere realizar

ensayos con otras especies de solanáceas, utilizando el ácido salicílico como activador de resistencia (Cuenca, 2021).

4.2.7 Efecto de la radiación UV-B en plantas infectadas con *Candidatus Liberibacter*

En plantas de papa infectadas con *Candidatus Liberibacter*, se estableció un modelo biológico utilizando plantas cultivadas in vitro, tanto negativas como positivas para *Candidatus Liberibacter*, para determinar los efectos de la exposición a la radiación UV-B en diferentes horas y días. Se evaluaron la supervivencia, el crecimiento (ganancia de peso y longitud) y la actividad enzimática de las enzimas catalasa (CAT) y peroxidasas (POX). Los resultados mostraron que la radiación UV-B afectó negativamente la supervivencia, la ganancia de peso y la longitud del tallo en plantas tanto negativas como positivas para *Candidatus Liberibacter*. Además, se observó un incremento significativo en la actividad enzimática de la peroxidasas (POX) en las plantas infectadas con respecto a las no infectadas, así como un aumento en la actividad enzimática de la catalasa (CAT) en las plantas infectadas expuestas a la radiación UV-B. Es decir, la radiación UV-B disminuyó la supervivencia y el crecimiento de las plantas de papa, especialmente en aquellas infectadas con *Candidatus Liberibacter*. Además, se observó un incremento en la actividad enzimática de las peroxidasas y catalasa en las plantas infectadas expuestas a la radiación UV-B, lo que sugiere una respuesta de estrés oxidativo en estas plantas (Bernal, 2016).

4.2.8 Análisis comparativo de estudios

El reporte de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) en la provincia de Pichincha, Ecuador, es un hito significativo en la fitopatología regional. En junio de 2019, se observaron síntomas característicos en cultivos de papa, correlacionados con altas poblaciones del vector *Bactericera cockerelli*. Análisis moleculares detallados confirmaron la presencia de CaLso haplotipo A en muestras de plantas e insectos. Este descubrimiento representa el primer registro molecular de CaLso haplotipo A en Ecuador y el primer informe de esta bacteria en papa y en *B. cockerelli* en América del Sur, destacando la necesidad de monitoreo y manejo de esta enfermedad emergente (Caicedo et al., 2020).

La interacción entre *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso) y su vector principal, *Bactericera cockerelli*, es crucial para entender la propagación y severidad de la enfermedad en cultivos solanáceos. *Bactericera cockerelli* transmite CaLso a través de su aparato bucal y la bacteria se multiplica dentro del insecto, permitiendo una transmisión persistente (Cicero, 2016; Beltrán, 2014). La transmisión puede ocurrir tanto horizontal como verticalmente entre las poblaciones de psílidos, lo que amplía las vías de dispersión de la enfermedad (Hansen, 2008). La complejidad de esta interacción resalta la necesidad de una comprensión profunda para desarrollar estrategias efectivas de manejo y control (Nachappa, 2011).

En relación con los métodos de control biológicos, el estudio de Álvarez (2023) evaluó métodos alternativos como el uso de jabón potásico y ozono para controlar *B. cockerelli* en el cultivo de papa, encontrando que el jabón potásico al 1% fue efectivo para reducir la presencia de la plaga. En contraste, Vicente (2020) se centró en la adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica, utilizando un modelo basado en agentes para simular escenarios de control de plagas, y encontró que las labores de alta inversión económica resultaron en un mayor índice de cultivos sanos .

Ayala & Cumanda (2022) se enfocaron en las prácticas locales de manejo de plagas en el cultivo de pimiento, destacando la ineficacia de las técnicas químicas utilizadas por los agricultores y recomendando un manejo integrado de plagas para reducir la dependencia de pesticidas y mejorar la sostenibilidad . De manera similar, Corrales (2021) mostró la importancia del control biológico utilizando depredadores, parasitoides y entomopatógenos en cultivos de tomate, destacando la sostenibilidad y efectividad de estas estrategias frente al control químico .

Chicaiza (2023) y Peralta (2022) investigaron el uso de extractos vegetales para controlar *Bactericera cockerelli* en condiciones de laboratorio. Chicaiza encontró que el extracto de higuerrilla a una dosis de 15 ml fue el más efectivo, mientras que Peralta identificó al extracto de *Cicuta* al 50% como la opción más efectiva . Estos estudios sugieren que los extractos vegetales pueden ser una alternativa viable y amigable con el medio ambiente para el control de plagas.

Acosta (2023) evaluó el uso de aceites esenciales en emulsión y encontró que *Ruta graveolens* al 50% presentó el mayor promedio de mortalidad de ninfas de *Bactericera cockerelli*, lo que destaca el potencial de los aceites esenciales como alternativas al control químico. Espinoza (2022) se centró en la termonebulización con insecticidas naturales como el extracto de ajo y Neem X, encontrando que Neem X al 15% fue particularmente efectivo, destacando la eficiencia de la termonebulización en la dispersión de insecticidas orgánicos .

Pastuña (2022) investigó la efectividad del macerado de barbasco y encontró que la extracción de rotavapor al 15% fue la más efectiva en el control de *Bactericera cockerelli*, lo que resalta la eficacia de métodos de extracción específicos para maximizar el control de plagas. Bernal (2016) evaluó el impacto de la radiación UV-B en plantas de papa infectadas con *Candidatus Liberibacter*, concluyendo que la radiación disminuyó la supervivencia y el crecimiento de las plantas, especialmente las infectadas, sugiriendo una respuesta de estrés oxidativo .

Balderramo (2023) evaluó diferentes planes de manejo en cultivos de tomate de árbol, encontrando que el manejo orgánico fue el más efectivo para controlar *Bactericera cockerelli*, superando a los tratamientos químicos y mixtos . Finalmente, Cuenca (2021) evaluó elicitores sintéticos y microorganismos en el manejo de la punta morada de la papa, demostrando que *Bacillus subtilis* y ácido salicílico fueron efectivos en la reducción de la plaga y en el aumento del rendimiento, respectivamente, recomendando la integración de estas técnicas en el manejo agroecológico.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

El reporte de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en Pichincha, Ecuador, en 2019, marca el primer registro molecular del haplotipo A en la región y en América del Sur, detectado en papa y *Bactericera cockerelli*, esto resalta la urgencia de monitoreo y manejo con métodos alternativos de esta enfermedad.

La interacción entre *Candidatus Liberibacter solanacearum* y *Bactericera cockerelli* es clave para comprender la propagación de la enfermedad en cultivos solanáceos, destacando la necesidad de estrategias de manejo efectivas debido a la transmisión persistente de la bacteria.

El uso de depredadores, parasitoides y entomopatógenos es prometedor para controlar *Bactericera cockerelli*, mostrando efectividad y destacándose como una alternativa sostenible y ecológica en el manejo de plagas.

Las investigaciones indican que extractos de higuierilla, cicuta y Neem X reducen efectivamente *Bactericera cockerelli*, presentándose como alternativas naturales y ecológicas a los pesticidas químicos tradicionales.

La integración de prácticas culturales locales y la consideración de factores externos, como la radiación UV-B y factores económicos, son esenciales en el manejo de *B. cockerelli*, mejorando la efectividad de las estrategias de control mediante la comprensión de las interacciones planta-patógeno.

Un enfoque integrado, combinando agentes biológicos, prácticas culturales y factores ambientales, es esencial para un control sostenible y efectivo de *B. cockerelli*. La combinación de estrategias aborda las limitaciones individuales, destacando la importancia de seguir investigando y desarrollando prácticas de manejo basadas en evidencia reciente.

5.2 Recomendaciones

- Realizar monitoreos regulares en los cultivos de solanáceas para detectar tempranamente la presencia de *Bactericera cockerelli* y síntomas de CaLso. Esto ayudará a aplicar medidas de control antes de que la infestación se vuelva severa.
- Introducir y promover el uso de agentes biológicos como depredadores, parasitoides y entomopatógenos, que han demostrado ser efectivos en el control de *B. cockerelli*.
- Utilizar extractos de plantas como higuierilla y cicuta, y productos como Neem X, que han mostrado eficacia en reducir las poblaciones de *B. cockerelli*, ofreciendo una alternativa menos perjudicial para el medio ambiente
- Adoptar prácticas culturales locales que puedan ayudar en el manejo de *B. cockerelli*, considerando factores económicos y ambientales que influyen en la adopción de estas técnicas.
- Fomentar la investigación continua para mejorar y desarrollar nuevas estrategias de manejo basadas en los descubrimientos recientes sobre la interacción planta-patógeno y vector
- Capacitar a los agricultores sobre la identificación de síntomas de CaLso y métodos de control de *B. cockerelli*, asegurando una correcta implementación de las estrategias recomendadas.
- Promover políticas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) a nivel regional y nacional que incluyan todas las recomendaciones anteriores para un control efectivo y sostenible de *B. cockerelli* y CaLso.

Bibliografía

Arias, L. (2013). Comportamiento agronómico de 4 híbridos de pimiento (*Capsicum annum* L.) en la parroquia Luz de América cantón Santo Domingo. Quevedo. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Acosta Segovia, C. B. (2023). Efecto de aceites esenciales en emulsión en el control de ninfas de *Bactericera cockerelli*, en condiciones de laboratorio, provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

Aguilar, E., Sengoda, V., Bextine, B., McCue, K., & Munyaneza, J. (2013). First report of "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" on tomato in Honduras. PLANT DIS.97,10, 1375.

Álvarez, A. (2023). Evaluación del jabón potásico y ozono como alternativa para control de paratíoxa (*Bactericera cockerelli* sulc) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Superchola.

Ayala, O., & Cumanda, S. (2022). Diagnóstico y técnicas locales de manejo de *Bactericera cockerelli* Sulc en el cultivo de pimiento, (*Capsicum annum* L.), en la parroquia de San Vicente de Pusir, cantón Bolívar, provincia del Carchi. UPEC.

Balderramo Suarez, K. A. (2023). Evaluación de planes de manejo para el control de (*Bactericera cockerelli*) en tomate de árbol (*Solanum betaceum*) (Bachelor's thesis).

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. Journal of Pharmaceutical Analysis, 6(2), 71-79.

Beltrán, M. (2014). "Inducción de resistencia en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a *Candidatus Liberibacter solanacearum*, mediante la aplicación de alcaloides". Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo.

Bernal Elizalde, L. A. (2016). Efecto de la radiación UV-B sobre plantas de *Solanum tuberosum* L. (papa) infectadas con *Candidatus Liberibacter*.

Bussmann, R. W., Malca-García, G., Glenn, A., Sharon, D., Chait, G., Díaz, D., ... & Bennett, B. C. (2010). Toxicity of medicinal plants used in traditional medicine in Northern Peru. Journal of Ethnopharmacology, 132(1), 173-191.

Caicedo, J., Simbaña, L., Calderón, D., Lalangui, K., & Rivera, L. (2020a). First report of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' in Ecuador and in South America. PLANT DIS. Notes 15.

Caicedo, J., Vallejo, M., Simbaña, L., & Rivera, L. (2020b). First report of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' causing leaf discoloration and wilting in tamarillo and cape gooseberry in Ecuador. New Disease Reports 41, 30.

Casteel, C., & Jander, G. (2013). New synthesis: investigating mutualisms in virus-vector interactions. J.Chem.Ecol.39, 809-809.

Castillo, C., Paltrinieri, S., Buitrón, J., & Bertaccini, A. (2018). Detection and molecular characterization of a 16Srl-F phytoplasma in potato showing purple top disease in Ecuador. *Australasian Plant Pathology*, 47, 311-315.

Chicaiza Perez, C. L. (2023). Evaluación de cuatro extractos vegetales a tres dosis para el control de *Bactericera cockerelli* en condiciones de laboratorio (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

Cicero, J., Fisher, T., & Brown, J. (2016a). Localization of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' and evidence for surface appendages in the potato psyllid vector. *Phytopathology*, 106, 142-154.

Cos, P., Vlietinck, A. J., Berghe, D. V., & Maes, L. (2006). Anti-infective potential of natural products: How to develop a stronger in vitro 'proof-of-concept'. *Journal of Ethnopharmacology*, 106(3), 290-302.

Cooper, W. R., Sengoda, V. G., & Munyaneza, J. E. (2014). Localization of "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" (Rhizobiales: Rhizobiaceae) in *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 107(1), 204–210. <https://doi.org/10.1603/AN13087>

Corrales Paredes, C. J. (2021). Uso de depredadores, parasitoides y entomopatógenos para el control biológico de plagas y enfermedades de hortalizas con énfasis en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Master's thesis, Corrales Paredes Cristian Javier (2021); Uso de depredadores, parasitoides y entomopatógenos para el control biológico de plagas y enfermedades de hortalizas con énfasis en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) UTC. Latacunga. 105 p.).

Cuenca Morocho, J. S. (2021). Evaluación de dos elicitores sintéticos y dos microorganismos para el manejo agroecológico de punta morada de la papa (PMP), variedad superchola.

Cushnie, T. P. T., & Lamb, A. J. (2005). Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 26(5), 343-356.

De, F., & Agropecuarias, G. (1993). Estudio sobre el fitoplasma causante de la enfermedad de la punta morada en tomates y papas. *Publicaciones Agropecuarias*.

Delgado-Ortiz, J. C., Beltrán-Beache, M., Cerna-Chávez, E., Aguirre-Uribe, L. A., Landero-Flores, J., Rodríguez-Pagaza, Y., & Ochoa-Fuentes, Y. M. (2019). *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22, 1–12. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.177>

Durán, J., Jarquín, A., Gómez, I., & Díaz, J. (2018). Detección molecular de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Zebra Chip) en papa (*Solanum tuberosum* L.) en Nicaragua. *La Calera*.

Enriquez, C. (2019). Un 'superalimento' que va de la Sierra al mundo. *Líderes*, Ecuador.

Espinoza Peña, E. F. (2022). Evaluación de insecticidas naturales para el control de paratíozia (*Bactericera cockerelli*) en papa (*Solanum tuberosum* var. Super chola) utilizando el método de termonebulización, en la parroquia Izamba del cantón Ambato, provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis).

Flores, O., Gallegos, M., & García, M. (2004). Memorias del simposio punta morada de la papa. . Saltillo, Cohauila, México.: Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro.

Gamarra, F., Chávez, J., & Castillo, J. (1998). Efecto de la temperatura en el desarrollo del psílido de la papa y tomate. Revista de Entomología Aplicada, 12(3), 45-53.

Gutierrez, G., & De La Torre, R. (2008). Fitoplasmas: Síntomas y características moleculares. Rev.Chapingo Ser.Cienc. For.Am., 81-87.

Hansen, A., Trumble, J., Stouthamer, R., & Paine, T. (2008). A new Huanglongbing Species, "*Candidatus Liberibacter psyllaourous*," found to infect tomato and potato, is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). Appl.Environ.Microbiol., 5862-5865.

IPPC. (2017). DP 21: '*Candidatus Liberibacter solanacearum*'. Diagnostic protocols for regulated pests.ISPM 27.

Jácome - Mogro, A., Ortega, D., & Gómez, M. (2022). Biología y control de *Bactericera cockerelli* en cultivos de solanáceas. Boletín de Entomología Agrícola, 25(1), 12-28.

Karley, A., Douglas, A., & Parker, W. (2002). Amino acid composition and nutritional quality of potato leaf phloem sap for aphids. . J.Exp.Biol.205, 3009-3018.

Levinson, W., & Jawetz, E. (2002). Medical microbiology & immunology: Examination & board review. McGraw-Hill.

Liefting, L., Sutherland, P., Ward, L., Paice, K., Weir, B., & Clover, G. (2009b). A new '*Candidatus Liberibacter*' species associated with diseases of solanaceous crops. PLANT DIS, 93, 208- 214.

Lin, H., Lou, B., Glynn, J., Doddapaneni, H., Civerolo, E., Chen, C., . . . Vahling, C. (2011). The complete genome sequence of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*', the bacterium associated with potato zebra chip disease. PloS One.6, 1-13.

Martin, A. (2019). Hospedantes y distribución de *Bactericera cockerelli* en cultivos solanáceos. Journal of Agricultural Research, 15(2), 99-110.

McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. PLoS Med, 18(3), e1003583.

McKenzie, C., & Shatters, R. (2009). First report of "*Candidatus Liberibacter psyllaourous*" associated with psyllid yellows of tomato in Colorado. PLANT DIS.93, 1074-1074.

- Melgoza, V., León, S., López, V., Hernández, E., Velarde, F., & Garzón, T. (2018). Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Bactericera cockerelli* Sulc. asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. *Rev.Mec.Cienc.Agrí.*, 9, 499-509.
- Methley, A. M., Campbell, S., Chew-Graham, C., McNally, R., & Cheraghi-Sohi, S. (2014). PICO, PICOS and SPIDER: A comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC Health Services Research*, 14, 579.
- Mohammad H. Badii, Flores, A. E., & Hernández, M. M. (2003). Impacto de *Bactericera cockerelli* en la agricultura: Daño directo a las plantas. *Revista de Entomología Aplicada*, 15(2), 45-53.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med*, 6(7), e1000097.
- Munyanaza, J., Fisher, T., Sengoda, V., Garczynski, S., Nissinen, A., & Lemmetty, A. (2010a). Association of "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" With the Psyllid, *Trioza apicalis* (Hemiptera: Triozidae) in Europe. *J.Econ.Entomol.*103, 1060-1070.
- Munyanaza, J., Fisher, W., Sengoda, G., & Garczynski, F. (2010b). First report of "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" associated with psyllid affected carrots in Europe. *PLANT DIS.* 94, 639.
- Munyanaza, J. (2012a). Zebra chip disease of potato: biology, epidemiology, and management. *Am.J.Potato Research*, 89, 329-350.
- Munyanaza, J., Sengoda, V., Stegmark, R., Arvidsson, A., Anderbrant, O., Yuvaraj, J., Nissinen, A. (2012b). First report of "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" associated with psyllid affected carrots in Sweden. *Am.J.Potato Res.*92, 230-235.
- Munyanaza, J., Sengoda, V., Aguilar, E., Bextine, B., & McCue, K. (2013). First Report of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' Infecting Eggplant in Honduras. *PLANT DIS.*97,12, 1654.
- Munyanaza, J. (2015). Zebra Chip Disease, *Candidatus Liberibacter*, and Potato Psyllid: A Global Threat to the Potato Industry. *Am.J.Potato Res.*92, 230-235.
- Nachappa, P., Levy, J., Pierson, E., & Tamborindeguy, C. (2011). Diversity of endosymbionts in the potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae), vector of zebra chip disease of potato. *Current microbiology*, 62, 1510-1520.
- Navarro, R. (2002). Impacto económico del psílido de la papa y del tomate en la agricultura. *Informe Técnico de la Universidad de Colorado*, 10(1), 67-75.
- Nascimento, G. G., Locatelli, J., Freitas, P. C., & Silva, G. L. (2000). Antibacterial activity of plant extracts and phytochemicals on antibiotic-resistant bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*, 31(4), 247-256.

Ocampo-Hernández, J. A., Tamayo-Mejía, F., Tamez-Guerra, P., Gao, Y., & Guzmán-Franco, A. W. (2019). Different host plant species modifies the susceptibility of *Bactericera cockerelli* to the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Journal of Applied Entomology*, 143(9), 984-991. <https://doi.org/10.1111/jen.12680>

OIRSA. (2015). Informe sobre el impacto del psílido de la papa y tomate en América Central. Organización Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria.

Pastuña Pastuña, F. W. (2022). Evaluación de la concentración de tres extracciones del macerado de barbasco (*Clibadium surinamense*) para el control de paratrioza (*Bactericera cockerelli*). Salache-cotopaxi-2022 (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

Peralta Velasco, J. L. (2022). Efecto de extractos vegetales en el control de *Bactericera cockerelli*, en condiciones de laboratorio, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, 2022 (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

Perez, C., Pauli, M., & Bazerque, P. (2016). An antibiotic assay by the agar-well diffusion method. *Acta Biologicae et Medicinae Experimentalis*, 15, 113-115.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., & Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>

Powell, D. (2000). Desarrollo morfológico de *Bactericera cockerelli* en condiciones controladas. *Entomology Journal*, 18(4), 77-89.

Quinaluiza Jaguaco Franklin Marcelo (2022); Estudio de tres métodos de control de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en seis ecotipos de Tomate de Árbol solanum betaceum en etapa de desarrollo, Cusubamba – Cotopaxi 2021. UTC. Latacunga. 98 p.

Ramírez, J., Zamora, A., Sánchez, I., & Blandón, J. (2018). Detección molecular de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Zebra Chip) en papa (*Solanum tuberosum* L.) en Nicaragua. *La Calera*, 18, 30., 33-38.

Rashed, A., Wallis, C., Paetzold, L., Workneh, F., & Rush, C. (2013). Zebra chip disease and potato biochemistry: tuber physiological changes in response to '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' infection over time. *Phytopathology*, 103, 419-426.

Ravindran, A., Saenkham, P., Lévy, J., Tamborindéguy, C., Lin, H., Grossm, D., & Pierson, E. (2017). Characterization of the Serralysin-like gene of '*Ca. Liberibacter solanacearum*' associated with potato zebra chip disease. *Phytopathology*, 108, 327-335.

Rehman, M., Melgar, J., Rivera, J., Idris, A., & Brown, J. (2010). First report of "*Candidatus Liberibacter psyllaurosus*" or "*Ca. Liberibacter solanacearum*" associated with severe foliar chlorosis, curling, and necrosis and tuber discoloration of potato plants in Honduras. *PLANT DIS.* 94, 376-377.

Rios, J. L., & Recio, M. C. (2005). Medicinal plants and antimicrobial activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 100(1-2), 80-84.

Rios-Velasco, C., Pérez-Corral, D. A., Salas-Marina, M. Á., Berlanga-Reyes, D. I., Ornelas-Paz, J. J., Muñiz, C. H. A., Cambero-Campos, J., & Jacobo-Cuellar, J. L. (2014). Pathogenicity of the Hypocreales Fungi *Beauveria Bassiana* and *Metarhizium Anisopliae* Against Insect Pests of Tomato. *Southwestern Entomologist*, 39(4), 739-750. <https://doi.org/10.3958/059.039.0405>

Secor, G., & Rivera, V. (2004). Emerging diseases of cultivated potato and their impact on Latin America. *Revista Latinoamericana de la papa*, 1, 1-8.

Sengoda, V., Munyaneza, J., Crosslin, J., Buchman, J., & Pappu, H. (2010). Phenotypic and etiological differences between psyllid yellows and zebra chip diseases of potato. *Am.J.Potato Res.* 87, 41-49.

Sengoda, V., Cooper, W., Swisher, K., Henne, D., & Munyaneza, J. (2014). Latent period and transmission of "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" by the potato psyllid *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae). *PloS One*, 9, 3.

SPHDS. (2017). Diagnostic protocol for the identification and detection of *Candidatus Liberibacter solanacearum*, the causal agent of zebra chip of potatoes. National Diagnostic Protocol (NDP), 18, 38.

Suárez-Núñez, J., Cortez-Madrigal, H., & García-Munguía, A. M. (2017). Epidemiology of *Beauveria bassiana* in Controlled Populations of *Bactericera cockerelli*. *Southwestern Entomologist*, 42(4), 1041-1056. <https://doi.org/10.3958/059.042.0423>

UNPL, E. universitaria de oficios. (2016). Analizar la diferencia entre plagas y enfermedades . Control biológico y químico de las mismas.

Valgas, C., Souza, S. M. D., Smânia, E. F. A., & Smânia Jr, A. (2007). Screening methods to determine antibacterial activity of natural products. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38(2), 369-380.

Vereijssen, J., Smith, G., & Weintraub, P. (2018). *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) and *Candidatus Liberibacter solanacearum* in Potatoes in New Zealand: Biology, Transmission, and Implications for Management. *J.Integr.Pest Manag.*9, 1-13.

Vicente Astudillo, J. A. (2020). Evaluación de la dinámica de adopción de labores culturales de alta y baja inversión económica en manejos para el control del psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*), en lotes de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la aplicación de modelos basados en agentes (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi UTC.).

Wallis, C., Chen, J., & Civerolo, E. (2012). Zebra chip-diseased potato tubers are characterized by increased levels of host phenolics, amino acids, and defense-related proteins. . *Physiol.Mol. Plant Pathol.*78, 66-72.

Workneh, F., Paetzold, L., & Rush, C. (2019). Interactions between Solanaceous Crops and "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" Haplotypes in Relation to Infection and Psyllid Survival on the Hosts. . *PLANT DIS.*

Xicay, R. 2014. Evaluación de insecticidas en diferentes aplicaciones al follaje y aplicaciones al suelo para el control de paratrioza (*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

Zhang, J., Li, W., Xiang, T., Liu, Z., Laluk, K., Ding, X., & al., e. (2010). Receptor-like cytoplasmic kinases integrate signaling from multiple plant immune receptors and are targeted by a *Pseudomonas syringae* effector. *Cell Host Microbe*, 7, 290-301.

Zapata, M. R. (2001). Efectos de la enfermedad punta morada en cultivos de solanáceas. *Journal of Phytopathology*, 23(1), 67-75.

Zonora, R., Fernández, L., & López, M. (2020). Características morfológicas de las ninfas de *Bactericera cockerelli*. *Revista de Biología Insectil*, 22(3), 35-42.

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

