



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**MANEJO BIORRACIONAL DE *Corynespora cassiicola* Y  
ÁCAROS EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense*  
Jacq.)**

Que presenta:

**Adriana Rubi Rivero Uribe**

Con requisito parcial para obtener el grado de:

**Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical**

Director:

**Dr. José María Tun Suárez.**

Conkal, Yucatán, México

Marzo, 2026.



**TecNM**



EDUCACIÓN  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Conkal  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Conkal, Yucatán, México a 27 de marzo de 2026

El comité de tesis del candidato a grado: Adriana Rubi Rivero Uribe, constituido por los CC., Dr. José María Tun Suárez, Dra. Felicia Amalia Moo Koh, Dr. Jairo Cristóbal Alejo y Dr. Arturo Reyes Ramírez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **MANEJO BIORRACIONAL DE *Corynespora cassiicola* Y ÁCAROS EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. José María Tun Suárez  
Director de Tesis

Dra. Felicia Amalia Moo Koh  
Co-Directora de Tesis

Dr. Jairo Cristóbal Alejo  
Asesor de Tesis

Dr. Arturo Reyes Ramírez  
Asesor de Tesis



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Conkal  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Conkal, Yucatán, México a 27 de marzo de 2026

### DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

---

Adriana Rubi Rivero Uribe

## INDICE DE CONTENIDO

|                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN                                                                                                                                              | xii |
| ABSTRACT                                                                                                                                             | Xiv |
| <br>                                                                                                                                                 |     |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL                                                                                                                     | 1   |
| 1.1 INTRODUCCIÓN                                                                                                                                     | 1   |
| 1.2 ANTECEDENTES                                                                                                                                     | 4   |
| 1.2.1 Principales problemas fitosanitarios en chile habanero                                                                                         | 4   |
| 1.2.2 Control de fitoparásitos                                                                                                                       | 5   |
| 1.2.3 Extractos vegetales como bioplaguicida                                                                                                         | 7   |
| 1.2.4 <i>Bacillus subtilis</i> como biocontrol                                                                                                       | 8   |
| 1.2.5 Características fitoquímicas de <i>Croton chichenensis</i>                                                                                     | 10  |
| 1.2.6 Fitotóxicidad de extractos vegetales                                                                                                           | 11  |
| 1.2.7 <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Croton</i> spp. como promotores de crecimiento                                                                   | 11  |
| 1.3 HIPÓTESIS                                                                                                                                        | 13  |
| 1.4 OBJETIVOS                                                                                                                                        | 14  |
| 1.4.1 General                                                                                                                                        | 14  |
| 1.4.2 Específicos                                                                                                                                    | 14  |
| 1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL                                                                                                                       | 15  |
| 1.6 LITERATURA CITADA                                                                                                                                | 16  |
| <br>                                                                                                                                                 |     |
| CAPÍTULO II. CONTROL IN VITRO DE <i>Corynespora cassicola</i> CON<br><i>Bacillus subtilis</i> CBCK47 Y EXTRACTO ACUOSO DE <i>Croton chichenensis</i> | 27  |
| RESUMEN                                                                                                                                              | 27  |
| ABSTRACT                                                                                                                                             | 28  |
| INTRODUCCIÓN                                                                                                                                         | 30  |
| MATERIALES Y MÉTODOS                                                                                                                                 | 32  |
| Prueba de patogenicidad de <i>C. cassicola</i> ITC7                                                                                                  | 32  |
| Efecto antagonista de <i>B. subtilis</i> CBCK47 contra <i>C. cassicola</i> ITC7                                                                      | 33  |
| Efecto fitotóxico del extracto acuoso de <i>C. chichenensis</i> en <i>C. chinense</i>                                                                | 34  |
| Efectividad del extracto acuoso de <i>C. chichenensis</i> contra <i>C. cassicola</i> IT7                                                             | 35  |

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Sensibilidad de <i>B. subtilis</i> CBCK47 a <i>C. chichenensis</i>                                                                                                                        | 37 |
| Análisis estadístico                                                                                                                                                                      | 37 |
| RESULTADOS                                                                                                                                                                                | 37 |
| Prueba de patogenicidad de <i>C. cassiicola</i> ITC7                                                                                                                                      | 37 |
| Efecto antagonista de <i>B. subtilis</i> CBCK47 contra <i>C. cassiicola</i> ITC7                                                                                                          | 39 |
| Efecto fitotóxico del extracto acuoso de <i>C. chichenensis</i> en <i>C. chinense</i>                                                                                                     | 40 |
| Efectividad del extracto acuoso de <i>C. chichenensis</i> contra <i>C. cassiicola</i> ITC7                                                                                                | 40 |
| Sensibilidad de <i>B. subtilis</i> CBCK47 a <i>C. chichenensis</i>                                                                                                                        | 42 |
| DISCUSIÓN                                                                                                                                                                                 | 42 |
| CONCLUSIONES                                                                                                                                                                              | 46 |
| AGRADECIMIENTOS                                                                                                                                                                           | 46 |
| LITERATURA CITADA                                                                                                                                                                         | 46 |
| CAPÍTULO III. EFECTO DE <i>Croton chichenensis</i> y <i>Bacillus subtilis</i> CBCK47<br>COMO PROMOTORES DE CRECIMIENTO DE CHILE HABANERO Y<br>CONTROL DE <i>Polyphagotarsonemus latus</i> | 53 |
| RESUMEN                                                                                                                                                                                   | 53 |
| ABSTRACT                                                                                                                                                                                  | 54 |
| INTRODUCCIÓN                                                                                                                                                                              | 55 |
| MATERIALES Y MÉTODOS                                                                                                                                                                      | 58 |
| Área experimental                                                                                                                                                                         | 58 |
| Producción de plántulas                                                                                                                                                                   | 58 |
| Diseño experimental y tratamientos                                                                                                                                                        | 58 |
| Preparación de extracto acuoso de <i>C. chichinensis</i> al 9%                                                                                                                            | 58 |
| Preparación de inóculo de <i>B. subtilis</i> CBCK47                                                                                                                                       | 59 |
| Manejo agronómico                                                                                                                                                                         | 59 |
| Capacidad endófitade <i>B. subtilis</i> en plantas inoculadas                                                                                                                             | 59 |
| Variable de respuesta                                                                                                                                                                     | 60 |
| Grado de daño del ácaro blanco ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> )                                                                                                                       | 61 |
| Análisis estadístico                                                                                                                                                                      | 61 |
| RESULTADOS                                                                                                                                                                                | 62 |
| Crecimiento vegetativo de plantas de <i>Capsicum chinense</i>                                                                                                                             | 62 |
| Evaluación de calidad de fruto y rendimiento                                                                                                                                              | 64 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Daño por el ácaro blanco ( <i>P. latus</i> )                  | 65 |
| Capacidad endófitade <i>B. subtilis</i> en plantas inoculadas | 68 |
| DISCUSIÓN                                                     | 69 |
| CONCLUSIONES                                                  | 73 |
| LITERATURA CITADA                                             | 74 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO II

- Figura 1. Síntomas de mancha foliar en hojas de *C. chinense* a los tres días de inoculadas con *C. cassiicola*. a) planta inoculada, b) planta sin inóculo, c) hoja inoculada con mancha foliar y micelio, d) hoja sin inocular ausencia de micelio. 38
- Figura 2. Aislamiento de *C. cassiicola* ITC7 agente causal de la mancha foliar inoculado en hojas de *C. chinense*. a) Daño en hoja a los 30 días de inoculada, b) Crecimiento de micelio en PDA a los tres días de la siembra, c) cepa pura del hongo, d) esporas. 39
- Figura 3. Inhibición del crecimiento micelial de *C. cassiicola* ITC7 por *B. subtilis* CBCK47. A) *C. cassiicola* ITC7, B) confrontación *B. subtilis* CBCK47-*C. cassiicola* ITC7, C) *B. subtilis* CBCK47. 39
- Figura 4. Efecto fitotóxico de la concentración del extracto acuoso de *C. chichenensis* en hojas de *C. chinense* a las 72 h de aplicadas. 40
- Figura 5. Efecto del extracto acuoso (EA) de *C. chichenensis* sobre el crecimiento micelial *in vitro* de *C. cassiicola* ITC7. a) Testigo, b) EA al 3%, c) EA al 9%. 41
- Figura 6. Esporas de *C. cassiicola* (ITC7) sin o con extracto acuoso de *C. chichenensis* observadas bajo el microscopio óptico a 40X. a) esporas sin exposición al extracto acuoso, b) esporas en exposición con el extracto acuoso de *C. chichenensis* al 9%. 41
- Figura 7. Sensibilidad de *B. subtilis* CBCK47 al extracto acuoso de *C. chichenensis* al 9% a las 24 h de su exposición. 42

### CAPITULO III

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Daños de <i>P. latus</i> en hojas de <i>C. chinense</i> . A) hoja sana, B) hoja dañada por <i>P. latus</i> .                                                          | 66 |
| Figura 2. Escala logarítmica diagramática para la evaluación del patosistema <i>P. latus</i> - <i>C. chinense</i>                                                               | 67 |
| Figura 3. Presencia de <i>B. subtilis</i> CBCK47, Gram positiva en tratamientos y la combinación (extracto acuoso de <i>C. chichenensis</i> al 9% + <i>B. subtilis</i> CBCK47). | 68 |

## ÍNDICE DE CUADROS

### CAPITULO II

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Efectividad del extracto acuoso de <i>C. chichenensis</i> contra <i>C. cassicola</i> ITC7 | 41 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### CAPITULO III

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Efecto de tratamientos en el crecimiento vegetativo en plantas de chile habanero a los 150 DDT.     | 63 |
| Cuadro 2. Efecto de tratamientos en el crecimiento vegetativo de plantas de chile habanero a los 200 DDT.     | 64 |
| Cuadro 3. Efecto de los tratamientos en el rendimiento total de <i>C. chinense</i>                            | 64 |
| Cuadro 4. Efecto de tratamientos sobre la calidad de fruto en chile habanero a los 150 DDT                    | 65 |
| Cuadro 5. Efecto de los tratamientos sobre el comportamiento epidemiológico de <i>P. latus</i> a los 200 DDT. | 67 |

## **ANEXOS**

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1. Promedio de temperatura y humedad relativa por semana en cultivo de chile habanero | 81 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## RESUMEN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es de importancia por su impacto económico, social y beneficios en la salud, sin embargo, por su demanda se ha recurrido al uso excesivos de plaguicidas que permitan el control de insectos plagas y fitopatógenos como *Polyphagotarsonemus latus* y *Corynespora cassiicola*. Por lo anterior se recurre a tácticas de control como el uso de productos naturales de bajo impacto como extractos vegetales y microorganismos para la reducción de químicos de síntesis química. Con el objetivo de evaluar la efectividad *in vitro* de *Croton chichenensis* y *Bacillus subtilis* CBCK47 en el control de fitoparásitos y su aplicación en la producción del chile habanero. En este trabajo se evaluaron en dos fases, la primera *in vitro*: donde se determinó la patogenicidad de *C. cassiicola* ITC7 en *C. chinense*, con la inoculación de *C. cassiicola* ITC7 en hojas con y sin herida, posteriormente la efectividad de *Bacillus subtilis* CBCK47 en confrontación dual en cajas Petri con medio de cultivo PDA, y el extracto acuoso (EA) de *C. chichenensis* a concentraciones de 3, 9, 12, 15 y 18 % sobre fragmentos de hojas de *C. chinense* en cajas Petri para determinar su fitotóxicidad y la inhibición de *C. cassiicola* ITC7. La sensibilidad de *B. subtilis* CBCK47 al EA, mediante colonias bacterianas en exposición a discos de papel filtro con el EA, cloranfenicol y otro con agua destilada estéril como testigo control. La segunda *in vivo*: se evaluó el EA de *C. chichenensis* y *B. subtilis* CBCK47, sobre la productividad en chile habanero y biocontrol de *P. latus*. para este estudio, se estableció un experimento con 40 plantas de *C. chinense* en invernadero, distribuidas en un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos (T1: testigo, T2: EA, T3: *B. subtilis* CBCK47, T4: EA+ *B. subtilis* CBCK47) y cinco repeticiones con dos unidades experimentales. Los tratamientos se aplicaron al momento del trasplante, 30, 60 y 120 días después de trasplante (DDT), a partir de la última aplicación se estimó la severidad causada por *P. latus*. A los 150 DDT se evaluó las variables de crecimiento y calidad de fruto, a los 200 DDT las variables de crecimiento y el daño por *P. latus* para determinar el área bajo la curva del progreso de la plaga (ABCPE). Se confirmó la vulnerabilidad de *C. chinense* a *C. cassiicola* ITC7, además, *B. subtilis* CBCK47 inhibió el crecimiento micelial de *C. cassiicola* ITC7. Por otro lado, el EA de *C. chichenensis* presentó efectos fitotóxicos en concentraciones superiores, para lo cual, se obtuvo la inhibición del crecimiento de *C. cassiicola* ITC7 y su compatibilidad con *B. subtilis* CBCK47. Mientras que, se observó mejoras en la calidad del fruto y variables de crecimiento vegetativo; incluso la disminución

del daño de *P. latus*, que fue reflejado en un menor ABCPE. Por lo tanto, la combinación *B. subtilis* CBCK47 y EA se propone como una estrategia sustentable para reducir el uso de plaguicidas en el cultivo de chile habanero, debido a que, *C. chichenensis* destaca como bioinsumo para mejorar la salud en *C. chinense* y con ello su crecimiento, mientras que, *B. subtilis* CBCK47 destaca como agente de biocontrol contra fitopatógenos.

**Palabras clave:** *Bacillus subtilis*, *Croton chichenensis*, Fitopatógeno

## ABSTRACT

The habanero chili pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) is significant for its economic and social impact and its health benefits; however, due to high demand, there has been excessive use of pesticides to control insect pests and plant pathogens such as *Polyphagotarsonemus latus* and *Corynespora cassiicola*. Consequently, control strategies such as the use of low-impact natural products—including plant extracts and microorganisms—are being employed to reduce the use of synthetic chemicals. The objective of this study was to evaluate the in vitro effectiveness of *Croton chichenensis* and *Bacillus subtilis* CBCK47 in controlling plant pathogens and their application in habanero pepper production. In this study, two phases were evaluated: the first in vitro, where the pathogenicity of *C. cassiicola* ITC7 on *C. chinense* was determined by inoculating *C. cassiicola* ITC7 onto leaves with and without wounds; subsequently, the effectiveness of *Bacillus subtilis* CBCK47 was assessed in a dual challenge in Petri dishes containing PDA culture medium, and the aqueous extract (AE) of *C. chinense* at concentrations of 3, 9, 12, 15, and 18% on *C. chinense* leaf fragments in Petri dishes to determine its phytotoxicity and the inhibition of *C. cassiicola* ITC7. The sensitivity of *B. subtilis* CBCK47 to the AE was assessed by exposing bacterial colonies to filter paper discs impregnated with the AE, chloramphenicol, and sterile distilled water as a control. The second in vivo study evaluated the effect of *C. chichenensis* AE and *B. subtilis* CBCK47 on habanero pepper productivity and the biocontrol of *P. latus*. For this study, an experiment was set up with 40 *C. chinense* plants in a greenhouse, distributed in a completely randomized block design, with four treatments (T1: control, T2: EA, T3: *B. subtilis* CBCK47, T4: EA + *B. subtilis* CBCK47) and five replicates with two experimental units. The treatments were applied at transplanting and 30, 60, and 120 days after transplanting (DAT); the severity of damage caused by *P. latus* was assessed starting from the last application. At 150 DAT, fruit growth and quality variables were evaluated; at 200 DAT, growth variables and damage caused by *P. latus* were evaluated to determine the area under the pest progression curve (AUDPC). The susceptibility of *C. chinense* to *C. cassiicola* ITC7 was confirmed; furthermore, *B. subtilis* CBCK47 inhibited the mycelial growth of *C. cassiicola* ITC7. On the other hand, the EA of *C. chichenensis* exhibited phytotoxic effects at higher concentrations, resulting in the inhibition of *C. cassiicola* ITC7 growth and its compatibility with *B. subtilis* CBCK47. Meanwhile, improvements were observed in fruit quality and

vegetative growth variables, including a reduction in *P. latus* damage, which was reflected in a lower AUDPC. Therefore, the combination of *B. subtilis* CBCK47 and EA is proposed as a sustainable strategy to reduce pesticide use in habanero pepper cultivation, since *C. chichenensis* stands out as a bio-input to improve the health of *C. chinense* and thereby its growth, while *B. subtilis* CBCK47 stands out as a biocontrol agent against plant pathogens.

**Key words:** *Bacillus subtilis*, *Croton chichenensis*, phytopathogens

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La importancia del chile habanero, radica en la industrialización del fruto para obtener metabolitos secundarios (capsaicina, dihidrocapsaicina y carotenos), vitaminas, colorantes y minerales, empleados para la elaboración de diversos productos como salsas, medicamentos, pinturas, gas lacrimógeno, antiinflamatorios por mencionar algunos (Ruiz-Lau *et al.*, 2011).

En México, los principales estados productores fueron Sinaloa, Yucatán, Campeche y Chiapas, que aportaron el 78.5% de la producción, con 21 mil 606 toneladas. El estado de Yucatán ocupó el segundo lugar con 5,050 toneladas (SIAP, 2025).

El incremento de la superficie cultivada y el manejo agronómico del cultivo ha contribuido entre otros factores, al aumento de la incidencia y severidad de los problemas fitosanitarios, destacando la presencia de *Corynespora cassiicola*, agente causal de la mancha foliar que afecta hojas, tallo y frutos (Rondon y Lawrence, 2021); y el ácaro *Polyphagotarsonemus latus* que al succionar la savia de los brotes tiernos causa reducción de la lámina foliar y afecta el crecimiento apical de la planta, lo que reduce el rendimiento (Alcántara *et al.*, 2011). Para disminuir las pérdidas de producción que causan se emplea de manera práctica fungicidas e insecticidas, pero su uso indiscriminado y continuo, ha propiciado efectos colaterales como contaminación del ambiente (agua y suelo), problemas de salud de los aplicadores y consumidores de los frutos tratados, reducción de la biodiversidad y selección de cepas o poblaciones resistentes (Bácmaga *et al.*, 2024).

Para reducir los efectos al uso de pesticidas se han explorado estrategias de manejo fitosanitario que demostraron su efectividad en el control de plagas y enfermedades, y que pueden ser consideradas como parte de un esquema para una agricultura sustentable. Tal es el caso de los extractos vegetales que tienen propiedades antimicrobianas, repelentes o insecticidas como: los extractos de agua-glicerol de bulbos de ajo (*Allium sativum*) y capullo de flores de clavo (*Syzygium aromaticum*) que tienen efecto inhibitorio contra *Rhizoctonia solani* y *Alternaria solani*, mientras que el extracto de bulbo de cebolla (*Allium cepa*), los extractos de hojas y tallo de bistorta (*Polygonum bistorta*) y pasto nudo común (*Polygonum aviculare*) mostraron actividad contra *Pectobacterium carotovorum*, bacteria causante de la podredumbre blanda en papa (Steglińska *et al.*, 2022). Los extractos ácidos de semillas de salvia moscatel (*Salvia sclarea*), hojas de salvia (*Salvia*

*officinalis*) y romero (*Rosmarinus officinalis*) tuvieron actividad fungicida contra cepas de *Alternaria* spp, en comparación con fungicida convencional (Dellavalle *et al.*, 2011). Mientras el extracto etanólico de Epazote (*Dysphania ambrosioides*) causó la mortalidad y repelencia del escarabajo ampolla (*Epicauta atomaria*) (Fernández *et al.*, 2025). Los extractos etanólicos de hoja de menta (*Mentha viridis*), *zygophyllum* (*Zygophyllum coccineum*), cilantro (*Coriandrum sativum*), arnoglosse (*Plantago albicans*), harmel (*Rhazya stricta*) y solanum (*Solanum villosum*), inhibieron la ovoposición de la polilla de papa (*Phthorimaea operculella*); y el extracto de albahaca (*Ocimum basilicum*) redujo el número de huevos y la eclosión de larvas por hembra (Sharaby *et al.*, 2020); mientras que el extracto de semillas de maculís (*Handroanthus impetiginosus*) causó mortalidad en larvas de polilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*) en plantas de col (Silva *et al.*, 2023). También, el extracto acuoso de ortiga (*Urtica dioica*) y salvia (*S. officinalis*) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) y chile (*Capsicum annuum*) propiciaron el incremento en la producción de 38 y 53% respectivamente, además del aumento en la biomasa seca y contenido de clorofila hasta en un el 20% (Tăbărașu, *et al.*, 2025). Extractos de hoja de espinillo blanco (*Crataegus monogyna*), piel de uva (*Vitis vinífera*) y frutos de arándanos (*Vaccinium vitis-idaea*) en plántulas de maíz (*Zea mays*), mejoraron la biomasa de raíz, hoja, azúcares y clorofila (Ertani *et al.*, 2016); también el extracto acuoso de cebolla (*Allium sativum*) en plántulas de berenjena (*Solanum melongena*) causaron mayor altura, área foliar y rendimiento de la planta (Ali *et al.*, 2019).

Así mismo, *Bacillus subtilis* ha demostrado su capacidad para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos como la cepa PGPMori7 que inhibió el 50% del crecimiento micelial *Macrophomina phaseolina*, agente causal de la podredumbre carbonosa (Torres *et al.*, 2015). La cepa BN1 manifestó un efecto antifúngico contra *M. phaseolina*, *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani* (Singh *et al.*, 2008). También, algunas cepas de *B. subtilis* tienen la capacidad de estimular la resistencia sistémica inducida (ISR) en plantas contra fitopatógenos como la cepa *B. subtilis* K47; en chile habanero (*C. chinense*) redujo la severidad y expresión de síntomas del *Pepper golden mosaic virus* (PepGMV) debido a la expresión de genes de las rutas metabólicas del ácido jasmónico y el etileno (Samaniego *et al.*, 2023) y, la cepa *B. subtilis* NBRI-W9 activó la ISR y la resistencia sistémica adquirida (SAR) en tomate (*S. lycopersicum*) contra *F. chlamydosporum* NBRI-FOL7 (Yadav *et al.*, 2024). Además *B. subtilis* promueve el crecimiento vegetal como la cepa *B. subtilis* HC8 en rábano (*Rhaphanus sativus* cv. Duro) incrementó en 46% la biomasa fresca de raíz (Malfanova *et al.*, 2011). También, la cepa

*B. subtilis* BS8 en *S. lycopersicum* promovió la elongación de tallo, número de foliolos, raíces secundarias, peso fresco y seco de la planta (Anguiano-Cabello *et al.*, 2019).

En consideración a lo anterior, en el presente trabajo se planteó evaluar la efectividad *in vitro* del extracto acuoso de *Croton chichenensis* y *B. subtilis* CBCK47 en el control de fitoparásitos y su aplicación en la producción del chile habanero (*C. chinense*).

## 1.2 ANTECEDENTES

### 1.2.1 Principales problemas fitosanitarios en chile habanero

El chile habanero es afectado por diferentes enfermedades causadas por agentes de origen fúngico, bacteriano, viral y nematodos; también por artrópodos plaga que producen daños de manera directa al cultivo o indirecta como vectores de enfermedades, trayendo como consecuencias pérdidas en la calidad y rendimiento de frutos (Rodríguez-Buenfil *et al.*, 2020).

#### a) Sintomatología de *Corynespora cassiicola*

Entre las enfermedades destaca la mancha foliar causada por *Corynespora cassiicola*, el cual pertenece al filo Ascomycota, familia Corynesporascaceae: presenta micelio de color gris blanquecino que con el tiempo se torna gris oscuro, café pálido o verdoso. Los conidióforos son rectos, ramificados de color marrón, individuales o en grupos, con células basales hinchadas de 1-20 pseudoseptos. La morfología de los conidios también puede variar dependiendo de donde fue aislado, ya que puede presentarse ovalado, cilíndrico, curvo o recto, solitarios o en cadena, lisos de color marrón, con la presencia de un hilio central en el extremo basal, de 3-20 pseudoseptos, el hilum grueso y obscuro bien marcado es característico de la especie (Qi *et al.*, 2011; Rondon y Lawrence, 2021). Los síntomas se presentan en las hojas pequeñas a manera de lesiones necróticas con centros café claro y márgenes oscuras rodeadas con un halo amarillo característico de la enfermedad, debido a la síntesis de la toxina cassiicolin (Ruiz-Hernández, 2016). El patógeno infecta principalmente hojas, aunque también puede dañar tallos, raíces y frutos (Shimomoto *et al.*, 2008). Este fitopatógeno afecta al menos 530 especies de plantas pertenecientes a 380 géneros. Se encuentra distribuido en zonas tropicales y subtropicales de diversos países, esporula preferentemente entre 25-30 °C, con humedad relativa de por lo menos 75% (Dixon *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2009), infecta a pera balsámica (Kwon *et al.*, 2005), chile (Kwon *et al.*, 2001; Shimomoto *et al.*, 2008), tomate (Smith *et al.*, 2009), pepino (Gao *et al.*, 2011), algodón (Fulmer *et al.*, 2012), jamaica (Ortega *et al.*, 2015), entre otros, con pérdidas de producción hasta del 100%.

## **b) Daño del ácaro *Polyphagotarsonemus latus***

En el caso de los artrópodos plaga, el ácaro blanco *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae). Es una especie de importancia económica por ser polífaga y cosmopolita, tamaño de 0.2-3 mm con diferentes formas globosa, ovalada, elíptico o vermiforme. De color amarillo pálido, hasta tonos intensos de verde, naranja o pardo, pero en muchos casos es transparentes, esto dependerá del tipo de alimentación y condiciones ambientales. Además, pasa por cuatro etapas en su ciclo de vida (huevo, larva, ninfa inactiva y adulto) en aproximadamente de 3-7 días, dependiendo de las condiciones ambientales. Las hembras adultas ponen alrededor de 30-76 huevos, viven de 8-13 días, mientras que los machos viven de 5-9 días. Al principio, en la etapa larval son lentos, sin embargo, al llegar a ninfa inactiva (pupa), los machos aparecen de primero y a menudo se les ve transportando a ninfas hembras sobre su dorso, lo que asegura su apareamiento cuando la hembra emerge. Las condiciones óptimas para su desarrollo son de 13-29 °C y humedad relativa de por lo menos 75% (Mesa-Cobo *et al.*, 2010; Abou-Awad *et al.*, 2013). Se alimenta de cultivos como tomate y berenjena (Cross y Bassett, 1982), papa (Andreu y Gómez, 2007), cítricos (Rogers *et al.*, 2009), papaya (Alcántara *et al.*, 2011), chile (Feria y Pérez, 2018) entre otros. Los principales daños que ocasionan son: deformación de hojas jóvenes con distorsión de la nervadura central y bordes enrollados hacia el haz. El crecimiento de los brotes disminuye y produce aborto floral. En altas poblaciones el ácaro puede causar la muerte de la planta.

## **1.2.2. Control de fitoparásitos**

### **a) Control químico**

El control químico es la principal estrategia para reducir el impacto de enfermedades y artropodos plaga en el cultivo de chile habanero.

Para el control de las manchas foliares causadas por *Cercospora capsici*, *Alternaria solani* y *C. cassiicola*, se emplean fungicidas con ingrediente activo: benomilo, mancozeb, oxiclورو de cobre, chlorothalonil, pyraclostrobin, azoxystrobin y difenoconazole (Tun-Suárez *et al.*, 2011; Guerrero *et al.*, 2016), entre otros.

Sin embargo, debido al uso excesivo e irracional de estos fungicidas se han reportado casos de resistencia de cepas de *C. cassiicola* a benzimidazoles (carbendazim) y ciproconazol (Avozani *et al.*, 2014; Tonin *et al.*, 2017; Teramoto *et al.*, 2017). En un

estudio de efectividad de 12 fungicidas en 100 aislamientos de *C. cassiicola*; estos aislamientos resultaron resistentes a trifloxistrobina y carbendazim y el 2% a fluopiram, boscalid, pidflumetofeno, isopirazam y fluxapiroxad. Lo cual demostró la capacidad de *C. cassiicola* de generar resistencia a los fungicidas (Deng *et al.*, 2023).

Con respecto a *P. latus*, se emplean acaricidas con ingredientes activos: abamectina imidacloprid, fenazaquin y dicofol (Alvarado *et al.*, 2017).

Pero la constante exposición de *P. latus* a estas moléculas seleccionó poblaciones resistentes a fenazaquin y resistencia cruzada moderada a Diafentiurón, Dicofol y espiromesifeno (Augustine *et al.*, 2023). También se ha reportado altos índices de resistencia a espiromesifeno, diafentiuron, dicofol, fenazaquina, y propargita (Augustine *et al.*, 2023b). La azadiractina y el espiromesifeno han disminuido su efectividad sobre la población de *P. latus* (De Santana *et al.*, 2020).

## **b) Control biológico**

Para el control biológico de *C. cassiicola* se reporta el uso de especies del *Trichoderma* como: *T. harzianum*, *T. viridae*, *T. asperellum*, *Klebsiella pneumoniae* y *Bacillus velezensis* en cultivos como: pepino (*Cucumis sativum*), caucho (*Hevea brasiliensis*), tomate (*Solanum lycopersicum*), jamaica (*hibiscus sabdariffa*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*), donde se han obtenido resultados de disminución de la incidencia y severidad de la enfermedad, e incremento de la producción (Ferrer, 2006; Seekham *et al.*, 2024; Celis-Perera *et al.*, 2022; Patricio-Hernández *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2025).

En el caso de *P. latus* la efectividad de su control se ha basado principalmente con otros ácaros como: *Amblyseius largoensis* y *Amblyseius swirskii* en plantas de chile (*Capsicum annum*), berenjena gboma (*Solanum macrocarpon*) y té (*Camellia sinensis*) (Montoya, 2011; Onzo *et al.*, 2012; Akyazi *et al.*, 2019). La efectividad de *Neoseiulus anonymus*, *Neoseiulus californicus*, *Iphiseiodes zuluagai* y *A. herbicolus* es similar a lo obtenido con el insecticida abamectina (Imbachi *et al.*, 2012).

### 1.2.3. Extractos vegetales como bioplaguicida

Las plantas cuentan con mecanismos de defensa como estructuras físicas y síntesis de metabolitos secundarios con efecto antimicrobiano. Los compuestos que destacan son: flavonoides, fenoles, aceites esenciales, terpenos, alcaloides, lectinas y polipéptidos (Cowan, 1999). Los metabolitos secundarios se pueden obtener a partir de procesos como; maceración, fermentación, infusión, decocción y esencias.

Existe evidencia de la efectividad de los extractos vegetales sobre la inhibición del crecimiento de microorganismos fitopatógenos y actividad repelente o insecticida/acaricida sobre artrópodos plaga.

#### a) Extractos vegetales para el control de hongos fitopatógenos

En este sentido, el extracto etanólico (EE) de *Croton chichenensis* mostró inhibición del 78% en el crecimiento micelial en *C. gloeosporioides*, 83% en *F. oxysporum* y 62% en *Rhizopus* sp., mientras que el extracto crudo de las hojas un 62% en *Alternaria tagetica* (Gamboa-Angulo *et al.*, 2008). Con el EE de *Acalypha gaumeri*, se reportó 91% en la inhibición del crecimiento micelial en *Alternaria* sp., 68% en *C. capsici*, 86% en *C. gloeosporioides*, 97% en *C. cassiicola*, 83% en *Curvularia* sp. y 87% en *Helminthosporium* sp. (Vargas-Díaz *et al.*, 2014). El EE de la corteza de tallo de *Mosannonna depressa* y raíces de *Parathesis cubana* inhibieron en 100% el crecimiento micelial de *F. equiseti* y *F. oxysporum*. El EE de las hojas de *Piper beesianum* causó inhibición del 100% en *F. equiseti* y 75% en *F. oxysporum* (Cruz-Cerino *et al.*, 2020).

El extracto acuoso (EA) de *Bonellia flammea* registró la disminución en el crecimiento de *Curvularia verruculosa*, *C. lunata* y *C. cassiicola* en 50-100% y *Exserohilum rostratum* en 2% (Moo-Koh *et al.*, 2014). El EA de *Calea jamaicensis* presentó inhibición en el crecimiento micelial del 75% en *F. equiseti*. El EA de raíz de *Cameraria latifolia* y hojas de *Heteropterys laurifolia* lograron el 25% de inhibición micelial contra *F. equiseti* (Cruz-Cerino *et al.*, 2020). El EA de raíz de *C. chichenensis* mostró inhibición en el crecimiento del fitopatógeno *C. cassiicola* en 79-100% (Moo-Koh *et al.*, 2022).

## **b) Extractos vegetales para el control de insectos plaga**

El extracto etanólico (EE) de flor de loto (*Nelumbo nucifera*) y *Ulva lactuca* bajo condiciones *in vitro* tuvieron actividad insecticida superior al 80% de mortalidad sobre pulgón verde (*Myzus persicae*) y, los extractos de semillas de Sandía (*Citrullus vulgaris*), flor de girasol (*Helianthus annuus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) causaron un 80% de mortalidad en poblaciones de araña roja (*Tetranychus urticae*) (Lee *et al.*, 2001). El EE de hojas y ramas de *Croton sellowii* causó el 69% de mortalidad de *T. urticae* (Pontes *et al.*, 2011).

Mientras que, el aceite esencial de ajeno (*Artemisia absinthium*) mostró reducción en poblaciones de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) en 87.6%, seguido de *Cyperus articulatus* con el 85% y tomillo (*Thyme vulgaris*) en 81.9% (Ibrahim y Mostafa *et al.*, 2018). Los aceites esenciales de canutillo (*Piper hispidum*), anís (*Pimpinella anisum*), tomillo (*T. vulgaris*), albahaca de clavo (*Ocimum gratissimum*) y albahaca (*Ocimum basilicum*), registraron mortalidad del 100% de adultos de *B. tabaci* y un 70% con *P. hispidum* (Baños *et al.*, 2019). El aceite de neem (*Azadirachta indica*) produjo 89.05%, de mortalidad de *P. latus* y el extracto de hojas de *A. indica* un 87.03%, extracto de semillas de caoba (*Swietenia macrophylla*) un 79.60%, cúrcuma (*Curcuma longa*) un 78.02% y extracto de pasta de ajo (*A. sativum*) un 80.06% (Rahman *et al.*, 2022).

Los EA de hoja y flor de laurel (*Prunus laurocerasus*) al 30% (p/v) y de semilla al 10% (p/v) tuvieron efecto sobre huevos de *P. latus* y la mortalidad de adultos con extracto de semilla, flor y hojas al 30% (p/v) fue de 91%-98% siendo su efectividad similar a la aplicación de espiromesifeno + abamectina (Akyazı *et al.*, 2023).

En el estado de Yucatán se encuentran las especies *C. chichenensis*, *A. gaumeri* y *B. flammea* que en estudios donde se evaluaron como extractos acuosos o etanólicos demostraron su efectividad antifúngica.

### **1.2.4 *Bacillus subtilis* como biocontrol**

Es una bacteria facultativa (oxibiotica y antioxibiotico) Gram positiva; con forma de bacilo, con flagelos peritricos, además de catalasa positiva que hidrolisa el almidón. Crece en un rango de pH de 4.9 a 9.3, y temperatura de 10 a 48 °C. Con capacidad de formar endosporas (Errington y Wu, 2017). Es agente biocontrolador debido a que produce una gama de lipopéptidos, como surfactinas, iturinas y fengicinas (Kaspar *et al.*, 2019),

además produce antibióticos peptídicos llamados bacteriocinas (Joseph *et al.*, 2013), y los mecanismos indirectos asociados con la actividad de biocontrol que incluye la formación de biopelículas en la superficie radicular, la promoción del crecimiento vegetal (PCV), la competencia por nutrientes y sitios de colonización, la capacidad de inducir lisis celular y la resistencia sistémica inducida (ISR) a través de las rutas metabólicas del ácido jasmónico y etileno (Wang *et al.*, 2018), la resistencia adquirida (RSA) por la ruta del ácido salicílico que disminuyen los síntomas de la enfermedad (Samaniego-Gómez *et al.* 2017).

#### **a) *B. subtilis* para el control de hongos fitopatógenos**

En condiciones *in vitro* la cepa de *B. subtilis* NCIMB 12376 causó anomalías y distorsiones en hifas y vacuolas de *Rhizoctonia solani* y *Pythium ultimum*, debido a la producción de antibióticos y compuestos volátiles (Fiddaman y Rossall, 1993). La cepa de *B. subtilis* B25 inhibió el crecimiento de *F. oxysporum*, *A. solani*, *Botrytis cinerea*, *C. gloesporioides* y *C. cassiicola*, provocando hinchazón, distorsión y anormalidad del micelio y esporas (Tan *et al.*, 2013). Al igual, la cepa *B. subtilis* Y-1 inhibió en 64.90% el crecimiento de *F. oxysporium* y del 62.77% en *F. solani* (Ju *et al.*, 2014). Por su parte la cepa *B. subtilis* IAB/BS03, registró la inhibición del 73-88 % en *B. cinerea* (Hinarejos, 2016). *B. subtilis* WXCDD105 inhibió el crecimiento de *C. cassiicola* en 94.47%, *Septoria lycopersici* en 90.31%, *F. oxysporium* en 88.96% y *B. cinerea* con 97.37% (Wang *et al.*, 2018). En el caso de la cepa *B. subtilis* CBCK47 inhibió el crecimiento micelial de *C. gloesporioides* en 74.4%, *A. alternata* en 64.1%, *C. lunata* en 75.8% y *H. rostratum* en 56.6% (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2014, Ruiz-Sánchez *et al.*, 2016). Además, la cepa *B. subtilis* GUCC4 aislada de hojas de maracuyá (*Passiflora edulis*) inhibió 71% el crecimiento de *Nigrospora sphaerica*; mientras que, en invernadero aplicado en plantas de *P. edulis* redujo la enfermedad y aumento significativamente el crecimiento de las plantas (Wang *et al.*, 2023). En melón (*Cucumis melo*) la inoculación de la cepa *B. subtilis* UMAF6614 indujo la resistencia sistémica inducida (ISR), mediante las rutas del ácido jasmónico y ácido salicílico, lo que disminuyó en 50% la afectación de mildiú polvoroso (*Podosphaera fusca*) (García-Gutiérrez *et al.*, 2013).

## **b) *Bacillus* spp. para el control de plaga**

Por su parte la cepa *B. subtilis* BEB-DN (BSDN) inoculada en plantas de tomate (*S. lycopersicum*) manifestó una ISR a largo plazo contra *B. tabaci*, al disminuir el número de ninfas y la población de adultos (Valenzuela-Soto *et al.*, 2009). Además, las cepas *B. subtilis* EPCO102 y *B. subtilis* EPCO106 propiciaron la ISR en plantas de algodón contra el pulgón verde (*A. gossypii*), lo que redujo la infestación (Rajendran *et al.*, 2011). Por otro lado, el efecto tóxico de los biosurfactantes de la cepa *B. subtilis* SPB1 en larvas de *Spodoptera littoralis* causó interrupción en la función intestinal, lo que disminuyó la emergencia de adultos (Ghribi *et al.*, 2011). De igual manera, la cepa *B. subtilis* BBG131 que produce surfactinas lo que ocasionó la mortalidad de ninfas y adultos del pulgón negro (*Aphis fabae*) (Denoirjean *et al.*, 2021). Mientras que *Bacillus* spp. ROSS2, produjo tres biosurfactantes con actividad acaricida, con un 57.97% de mortalidad en el ácaro *Tyrophagus putrescentiae* (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2023). También las cepas *B. subtilis* 26D y *B. subtilis* 11VM indujeron la resistencia sistémica en plantas de trigo contra el pulgón verde (*Schizaphis graminum*) (Rumyantsev *et al.*, 2023).

### **1.2.5 Características fitoquímicas de *Croton chichenensis***

El género *Croton* comprende aproximadamente 1300 especies de plantas en todo el mundo, perteneciente a la familia Euphobiaceae, muchas han sido utilizadas en la medicina popular, se han reportado 399 nuevos compuestos, incluidos diterpenoides, característicos del género entre ellos se encuentran flavonoides, eugenol, fenoles, terpenos y derivados diterpenos (Xu y Liang, 2018), como metabolitos principales con actividad antifúngica (Athikomkulchai *et al.*, 2006), larvícida (Quevedo *et al.*, 2007), antiinflamatorias (Kuo *et al.*, 2013), promotoras del crecimiento de neuritas en células nerviosas (Sun *et al.*, 2014) e inhibidoras de la acetilcolinesterasa (Queiroz *et al.*, 2014).

En la península de Yucatán, se encuentra la especie endémica *Croton chichenensis*, en la cual se han identificado metabolitos secundarios como ácidos grasos, ledol, diterpenos, triterpeno denominado ácido 3-acetilauritólico, también en otro estudio mencionaron metabolitos como los terpenos  $\beta$ -Selineno,  $\beta$ -Guaíeno y  $\beta$ -Maaíeno, ácidos grasos hexadecanoicos, oleico y esteárico, además de magnoflorina (Concha-Franco, 2020).

### 1.2.6 Fitotóxicidad de extractos vegetales

La definición de fitotoxicidad es variable, pero se resume como el daño potencial o efectos que ciertas sustancias, como productos o compuestos químicos (fitotoxinas) que pueden tener sobre las plantas, lo que provoca el retraso en la germinación de semillas, inhibición en el crecimiento y desarrollo de las plantas, daños foliares graves como quemaduras, clorosis o necrosis, incluso puede provocar la muerte; sin embargo, está sujeto de las concentraciones, dosis, frecuencia de aplicación así como de la planta receptora, (Gahukar, 2013; Blok *et al.*, 2019). Como es el caso del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) que inhibió la germinación de semillas y el crecimiento de plantas de pepinos (*C. sativus*) y tomates (*S. lycopersicum*) (Ibáñez y Blázquez, 2019).

Se ha reportado el uso de extractos a base de materia fresca y seca de plantas de *Dionaea muscipula* que mostró inhibición en la germinación de semillas y crecimiento de raíz-tallo de lechuga (*Lactuca sativa*) y cebolla (*Allium cepa*), similar al contacto con glifosato aparentemente por la cantidad de plumbagina como principal compuesto en la materia vegetal (Valente *et al.*, 2022), de igual manera, el extracto metanólico de residuos de hojas de jengibre (*Zingiber officinale*) mostró mayor inhibición en la elongación de raíz y tallo de *L. sativa* (Bandara *et al.*, 2025), mientras que el extracto de neem (*Azadirachta indica*) provocó lesiones del 35% en hojas de *Ixora coccinea* (Esparza-Díaz *et al.*, 2010).

### 1.2.7 *Croton* spp. y *Bacillus subtilis* como promotores de crecimiento

Las especies del género *Croton* son conocidas principalmente por sus propiedades medicinales y actividades bioactivas mediante sus metabolitos secundarios como diterpenos, alcaloides y flavonoides (Moremi *et al.*, 2021). Pero existe poca información sobre su capacidad como promotores de crecimiento, sin embargo, se tiene registro de que, los extractos de hojas y tallo de *Croton ciliatoglandulifer* en tres disolventes aplicados *in vitro* en plántulas de *Echinocactus* sp., *Agave marmorata* y *Spathiphyllum* sp., determinaron que el extracto acuoso e hidroalcohólico inhibió el 67% del crecimiento de *Echinocactus*, mientras que en *A. marmorata* y *Spathiphyllum* presentaron necrosis en tejido; mientras que, el extracto etanólico no garantizó la supervivencia de los ejemplares de estudio (Aguilar-Jiménez *et al.*, 2024), en cambio, el extracto etanólico de *Croton funkianus* en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* ‘Monterey’) con estrés hídrico presentaron mejoras en el proceso de intercambio gaseoso, aumento en el crecimiento de

la plantas y mayor peso en frutos aunque el número de frutos fue menor (Bernal-Salazar, 2025).

Mientras que, *B. subtilis* es una rizobacteria con la capacidad de promover el crecimiento vegetal mediante la disponibilidad de nutrientes, por medio de la solubilización del fósforo del suelo, mejora la fijación de nitrógeno y la producción de sideróforos, además de la producción de compuestos antimicrobianos y el estímulo de la resistencia sistémica inducida, que a su vez favorece la tolerancia al estrés por medio de la inducción de genes de respuesta, de fitohormonas y metabolitos que permiten suprimir el establecimiento de patógenos y resistir el estrés (Blake y Kovács, 2020; Hashem *et al.*, 2019). La cepa *B. subtilis* SYST2 en plantas de tomate (*S. lycopersicum*) incrementó la biomasa vegetal, la fotosíntesis y contenido de giberelinas, auxinas y citoquininas (Tahir *et al.*, 2017). También el cultivo fermentado de la cepa *B. subtilis* JY-7-2L en plantas de *Aconitum carmichaelii* redujo en 30% la afectación del tizon sureño (*Sclerotium rolfsii*) prolongando su efectividad hasta por 62 días y mejoró el peso fresco y seco de tallo, así como la raíz de la planta (Zhou *et al.*, 2023). Mientras que *B. subtilis* en plantas de arroz (*Oryza sativa*) bajo estrés salino fue capaz de mitigar la toxicidad y mejorar el crecimiento de altura, peso fresco y seco de la planta, área foliar, además de reforzar la síntesis hormonal y restaurar el equilibrio iónico (Siddika *et al.*, 2024).

### **1.3 HIPÓTESIS**

La combinación del extracto *Croton chichenensis* y *Bacillus subtilis* CBCK47, en condiciones de invernadero, reduce la presencia de fitoparásitos, mejorando la sanidad y rendimiento de las plantas de chile habanero, en comparación a su aplicación individual, con y sin pesticidas.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar la efectividad *in vitro* del extracto acuoso de *Croton chichenensis* y *Bacillus subtilis* CBCK47 en el control de fitoparásitos y su aplicación en la producción del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.).

### **1.4.2 Objetivos específicos**

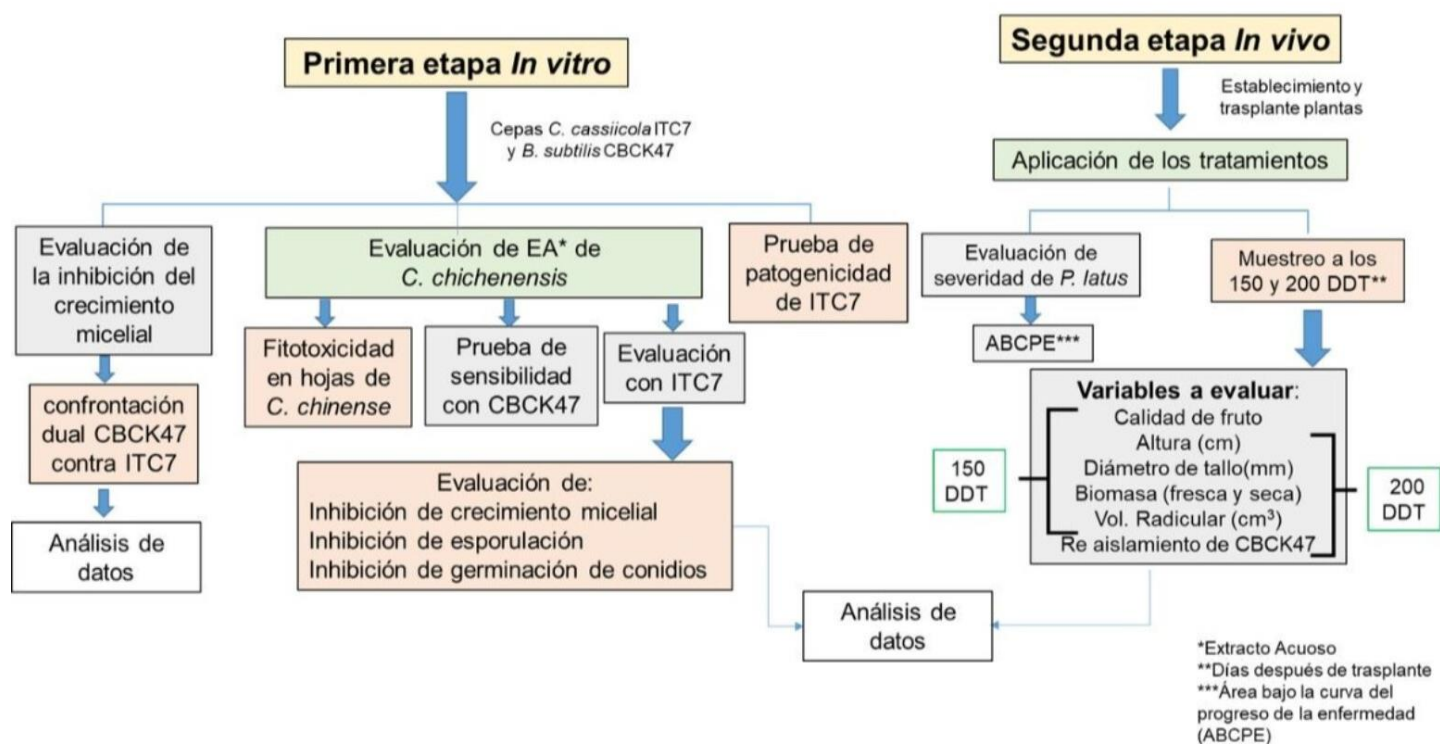
Estimar la inhibición *in vitro* de *B. subtilis* CBCK47 sobre el crecimiento de *C. cassiicola* ITC7.

Evaluar la efectividad *in vitro* de *C. chichenensis* sobre la inhibición del crecimiento de *C. cassiicola* ITC7.

Determinar la sensibilidad *in vitro* de *B. subtilis* CBCK47 a *C. chichenensis*.

Evaluar *in vivo* el efecto del extracto de *C. chichenensis* y *B. subtilis* CBCK47, sobre la productividad en chile habanero y control de *P. latus*.

## 1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



## 1.6 LITERATURA CITADA

- Abou-Awad BA, Hafez SM, Farahat BM. 2013. Bionomics and control of the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* Banks) (Acari:Tarsonemidae). Archives Of Phytopathology And Plant Protection 47(5): 631-641. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.817068>
- Aguilar-Jiménez D, Salgado-Bravo R, Rodríguez-Monfil Y, Merino-Cerezo AR, Orellana-Caballero ML, Mendoza-Morales CR. 2024. Cultivo *in vitro* de tres modelos vegetales en extractos de *Croton ciliatoglandulifer* como bioestimulantes. Revista MIX-TEC 5(8): 48-62.
- Akyazi R, Sekban R, Soysal M, Akyol D, Colee J, Bostan SZ. 2019 . Ecofriendly control approaches for *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) on tea (*Camellia sinensis* L.). International Journal Of Acarology 45(1-2): 79-89. <https://doi.org/10.1080/01647954.2018.1544989>
- Akyazi R, Soysal M, Özen B, Hassan E. 2023. Assessment of toxicidal and repellency activity of extracts from aerial parts of *Prunus laurocerasus* for controlling broad mite *Polyphagotarsonemus latus*. International Journal Of Acarology 49(7-8): 440-447. <https://doi.org/10.1080/01647954.2023.2288255>
- Alcántara JA, Santillán-Galicia MT, Otero-Colina G, Mora AA, Gutiérrez EMA, Hernández, CE. 2011. Relación entre *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) y el virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p). Revista Colombiana de Entomología 37(2): 228-233.
- Ali M, Cheng Z, Hayat S, Ahmad H, Ghani MI, Liu T. 2019. Foliar spraying of aqueous garlic bulb extract stimulates growth and antioxidant enzyme activity in eggplant (*Solanum melongena* L.). Journal Of Integrative Agriculture 18(5): 1001-1013. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(18\)62129-x](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(18)62129-x)
- Alvarado CM, Rosendo M.H., Díaz FA, Allende AF. 2017. Producción de pimiento, chile habanero y pepino en casa de malla. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Río Bravo Río Bravo, Tamaulipas, México, INIFAP. Publicación Especial MX-0-310701-52-03-13-14-01.
- Andreu CM, Gómez J. 2007. La Sanidad Vegetal en la Agricultura Sostenible. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba.
- Anguiano-Cabello JC, Flores-Olivas A, Olalde-Portugal V, Arredondo-Valdés R, Laredo-Alcalá, EI. 2019. Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth. Revista Bio Ciencias 6: 418. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e418>

- Athikomkulchai S, Prawat H, Thasana N, Ruangrunsi N, Ruchirawat S. 2006. COX-1, COX-2 Inhibitors and Antifungal Agents from *Croton hutchinsonianus*. Chemical And Pharmaceutical Bulletin 54(2): 262-264. <https://doi.org/10.1248/cpb.54.262>
- Augustine N, Selvapandian U, Ramaiah CB, Jambagi SR, Venkatesan T, Mohan M. 2023. Resistance to fenazaquin in broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae): Realized heritability, risk assessment and cross-resistance. Journal Of Applied Entomology 148(3): 279-286. <https://doi.org/10.1111/jen.13187>
- Augustine N, Thiruvengadam V, Selvapandian U, Muthugounder M. 2023b. Acaricide Resistance among Broad Mite (*Polyphagotarsonemus latus* (Banks) Populations in Karnataka, India. Current Science, 124(12): 1462. <https://doi.org/0.18520/cs/v124/i12/1462-1468>
- Avozani A, Reis EM, Tonin RB. 2014. Sensitivity loss by *Corynespora cassicola*, isolated from soybean, to the fungicide carbendazim. Summa Phytopathologica 40(3): 273-276. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1928>
- Baćmaga M, Wyszowska J, Kucharski J. 2024. Environmental Implication of Herbicide Use. Molecules 29(24): 5965. <https://doi.org/10.3390/molecules29245965>
- Bandara BGRR, Jayasinghe L, Koosha M, Yang X, Li T, Araya H, Fujimoto Y. 2025. Valorization of *Zingiber officinale* (Ginger) Leaf Waste by Extraction and Identification of Compounds with High Phytotoxicity. Waste And Biomass Valorization, 16(11): 5843-5862. <https://doi.org/10.1007/s12649-025-03025-5>
- Baños HL, Gutiérrez-González Y, Pino-Pérez O. 2019. Potencialidades de aceites esenciales de especies de tres familias botánicas para el manejo de *Bemisia tabaci* Biotipo B. Revista de Protección Vegetal, 34.
- Bernal-Salazar YL. 2025. Mitigación del estrés hídrico en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) mediante el uso de extractos etanólicos de *Croton funckianus*. Tesis de Licenciatura, no publicada, Universidad Militar Nueva Granada. Repositorio constitucional. <https://agris.fao.org/search/en/providers/124652/records/6943cc42f2f3b972440798f9>
- Blake C, Christensen MN, Kovács ÁT. 2020. Molecular Aspects of Plant Growth Promotion and Protection by *Bacillus subtilis*. Molecular Plant-Microbe Interactions, 34(1): 15-25. <https://doi.org/10.1094/mpmi-08-20-0225-cr>
- Blok C, Baumgarten A, Baas R, Wever G, Lohr D. 2019. Analytical methods used with Soilless substrates. Elsevier eBooks: 509-564. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63696-6.00011-6>

- Celis-Perera SE, Cristóbal-Alejo J, Reyes-Ramírez A, Garruña-Hernández R, Tun-Suárez JM, Gamboa-Angulo M. 2022. *Trichoderma asperellum* Ta13-17 in the growth of *Solanum lycopersicum* and biocontrol of *Corynespora cassiicola*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 41 (1). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2207-1>
- Concha-Franco S. 2020 Caracterización de metabolitos minoritarios de las raíces de *Croton chichenensis* y su evaluación antifúngica. Tesis de Licenciatura, no publicada, Universidad Autónoma de Yucatán. Repositorio constitucional.
- Cowan M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clin Microbiologia Revista* 10:564-566
- Cross JV, Bassett P. 1982. Damage to tomato and aubergine by broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks). *Plant Pathology* 31: 391–393.
- Cruz-Cerino P, Cristóbal-Alejo J, Ruiz-Carrera V, Carnevali G, Vera-Ku M, Martín J, Reyes F, Gamboa-Angulo M. 2020. Extractos de seis plantas nativas de la Península de Yucatán obstaculizan el crecimiento micelial de *Fusarium equiseti* y *F. oxysporum*, patógenos de *Capsicum chinense*. *Patógenos* 9(10): 827. <https://doi.org/10.3390/pathogens9100827>
- De Santana MF, De Oliveira JV, Breda MO, Barbosa DRES, Filho ABE, De Oliveira, CM. 2020. Host preference, acaricides effects and population growth of *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) on white and colored cotton cultivars. *Pest Management Scienc* 77: 217-223. <https://doi.org/10.1002/ps.6010>
- Dellavalle PD, Cabrera A, Alem D, Larrañaga P, Ferreira F, Rizza MD. 2011. Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *Alternaria* spp. *Chilean Journal Of Agricultural Research* 71(11): 231-239. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392011000200008>
- Deng Y, Wang T, Zhao P, Du Y, Zhang L, Qi Z, Ji M. 2023. Sensitivity to 12 Fungicides and Resistance Mechanism to Trifloxystrobin, Carbendazim, and Succinate Dehydrogenase Inhibitors in Cucumber *Corynespora* Leaf Spot (*Corynespora cassiicola*). *Plant Disease*, 107(2): 3783-3791. <https://doi.org/10.1094/pdis-04-23-0615-re>
- Denoirjean T, Ameline A, Couty A, Dubois F, Coutte F, Doury G. 2021. Effects of surfactins, *Bacillus* lipopeptides, on the behavior of an aphid and host selection by its parasitoid. *Pest Management Science*, 78(3): 929-937. <https://doi.org/10.1002/ps.6702>
- Dixon LJ, Schlub, RL, Pernezny K, Datnoff LE. 2009. Host Specialization and Phylogenetic Diversity of *Corynespora cassiicola*. *Phytopathology*, 99(9): 1015-1027. <https://doi.org/10.1094/phyto-99-9-1015>
- Errington J, Wu LJ. 2017. Cell Cycle Machinery in *Bacillus subtilis*. *Sub-cellular Biochemistry*, 84, 67-101. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53047-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53047-5_3)

- Ertani A, Pizzeghello D, Francioso O, Tinti A, Nardi S. 2016. Biological Activity of Vegetal Extracts Containing Phenols on Plant Metabolism. *Molecules* 21(2): 205. <https://doi.org/10.3390/molecules21020205>
- Esparza-Díaz G, López-Collado J, Villanueva-Jiménez JA, Osorio-Acosta F, Otero-Colina G, Camacho-Díaz E. 2010. Concentración de azadiractina, efectividad insecticida y fitotoxicidad de cuatro extractos de *Azadirachta indica* A. Juss. *Agrociencia*, 44(7): 821-833
- Feria CP, Pérez KIA 2018. Comportamiento poblacional y manejo de *polyphagotarsonemus latus* (banks) (acari: tarsonemidae) en el pimiento (*Capsicum annuum* L) en condiciones de las casas de cultivo la siguaraya en el municipio de Puerto Padre, Las Tunas, Cuba. *Tlatemoani: Revista académica de investigación*, 9(28): 122-138
- Fernández EN, Sequin CJ, González A, Herrera JM. 2025. Ethanolic Botanical Extracts: A Bioinsecticide Approach to Controlling *Epicauta atomaria* (Coleoptera: Meloidae). *Neotropical Entomology*, 54(1): 57. <https://doi.org/10.1007/s13744-025-01271-9>
- Ferrer CA. 2006. Comportamiento y control de la enfermedad tizón de fuego causada por el hongo *Corynespora cassiicola* (Berk. & Curt.) Wei. en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en sistemas de organopónicos en la provincia de Camagüey y su relación con otros patógenos fúngicos presentes en el cultivo. *Fitosanidad*.
- Fiddaman P, Rossall S. 1993. The production of antifungal volatiles by *Bacillus subtilis*. *Journal Of Applied Bacteriology* 74(2): 119-126.
- Fulmer AM, Walls J, Dutta B, Parkunan V, Brock J, Kemerait RC. 2012. First Report of Target Spot Caused by *Corynespora cassiicola* on Cotton in Georgia. *Plant Disease*, 96(7): 1066. <https://doi.org/10.1094/pdis-01-12-0035-pdn>
- Gahukar R. 2013. Potential and Utilization of Plant Products in Pest Control. Elsevier eBooks 9:125-139. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-398529-3.00009-9>
- Gamboa-Angulo MM, Cristóbal-Alejo J, Medina-Baizabal IL, Chí-Romero F, Méndez-González R, Simá-Polanco P, May-Pat F. 2008. Antifungal properties of selected plants from the Yucatan peninsula, Mexico. *World Journal Of Microbiology And Biotechnology*, 24(9): 1955-1959. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9658-x>
- Gao W, Li BJ, Shi YX, Xie XW. 2011. Studies on pathogenicity differentiation of *Corynespora cassiicola* isolates, against cucumber, tomato and eggplant. *Acta Horti Sin.* 38:465–470.
- García-Gutiérrez L, Zerrouh H, Romero D, Cubero J, De Vicente A, Pérez-García A. 2013. The antagonistic strain *B. subtilis* UMAF 6639 also confers protection to melon plants against cucurbit powdery mildew by activation of jasmonate- and salicylic acid-

- dependent defence responses. *Microbial Biotechnology*, 6(32): 264-274.  
<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12028>
- Ghribi D, Abdelkefi-Mesrati L, Boukedi H, Elleuch M, Ellouze-Chaabouni S, Tounsi S. 2011. The impact of the *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant on the midgut histology of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) and determination of its putative receptor. *Journal Of Invertebrate Pathology* 109(2): 183-186.  
<https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.10.014>
- Gómez-Gutiérrez JA, Wong-Villarreal A, Aguilar-Marcelino L, Yañez-Ocampo G, Hernández-Nuñez E, Caspeta-Mandujano JM, García-Flores A, Cruz-Arévalo J, Vargas-Uriostegui P, Gomez-Rodríguez O. 2023. *In vitro* nematicidal and acaricidal effect of biosurfactants produced by *Bacillus* against the root-knot nematode *Nacobbus aberrans* and the dust mite *Tyrophagus putrescentiae*. *Brazilian Journal Of Microbiology*, 54(2): 1127-1136.  
<https://doi.org/10.1007/s42770-023-00981-9>
- Guerrero JC, Fernández E, Zamora E. 2016. La mancha de la hoja del pepino *Corynespora cassiicola* (Berkeley & Curtis). *Enfermedades de las Plantas (Cultivos Protegidos)*, Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería. Hermosillo sonora. ENFPL-CP-002.
- Hashem A, Tabassum B, Abd\_Allah, E. F. 2019. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal Of Biological Sciences*, 26(6): 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
- Hinarejos E, Castellano M, Rodrigo I, Bellés JM, Conejero V, López-Gresa MP, Lisón P. 2016. *Bacillus subtilis* IAB/BS03 as a potential biological control agent. *European Journal Of Plant Pathology* 146(3): 597-608. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0945-3>
- Huang C, Guo Z, Yang X, Long X, Wen M, Wu H, Rashad YM, Hu J, Deng J. 2025. Biocontrol efficacy of *Bacillus velezensis* YZU 173039 against *Corynespora* leaf spot on tobacco. *Biocontrol Science and Technology* 35(5): 527-540.  
<https://doi.org/10.1080/09583157.2025.2481506>
- Ibáñez MD, Blázquez MA. 2019. Phytotoxic effects of commercial essential oils on selected vegetable crops: Cucumber and tomato. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 15, 100209. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100209>
- Ibrahim HYE, Mostafa ME. 2018. Efficacy of some Plant Essential Oils as Green Insecticides to Control Whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius). *International Journal of Entomology and Nematology*, 4(2): 085-08\92.

- Imbachí LK, Mesa CNC, Rodríguez TIV, Gómez GI, Cuchimba M, Lozano H., Matabanchoy, JH, Carabalí A. 2012. Evaluación de estrategias de control biológico de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) y *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) en naranja Valencia. Universidad Nacional de Colombia Palmira, Colombia. Acta Agronómica 61 (4): 364-370.
- Kaspar F, Neubauer P, Gimpel M. 2019. Bioactive Secondary Metabolites from *Bacillus subtilis*: A Comprehensive Review. Journal Of Natural Products 82(7): 2038-2053. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b00110>
- Kuo P, Yang M, Hwang T, Lai Y, Li Y, Thang TD, Wu T. 2013. Anti-inflammatory Diterpenoids from *Croton tonkinensis*. Journal Of Natural Products, 76(2): 230-236. <https://doi.org/10.1021/np300699f>
- Kwon JH, Kang SW, Kim JS, Park CS. 2001. First report of *Corynespora* leaf spot in pepper caused by *Corynespora cassiicola* in Korea. Plant Pathol J. 17:180–183.
- Kwon J, Jee H, Park C. 2005. *Corynespora* Leaf Spot of Balsam Pear Caused by *Corynespora cassiicola* in Korea. The Plant Pathology Journal, 21(2): 164-166. <https://doi.org/10.5423/ppj.2005.21.2.164>
- Lee SG, Park JD, Song C, Cho KY, Lee SG, Kim MK, Lee HS. 2001. Insecticidal activities of various vegetable extracts against five agricultural insect pests and four stored-product insect pests. The Korean Journal of Pesticide Science 5(2): 18-25.
- Malfanova N, Kamilova F, Validov S, Shcherbako A, Chebotar V, Tikhonovich I, Lugtenberg B. 2011. Characterization of *Bacillus subtilis* HC8, a novel plant-beneficial endophytic strain from giant hogweed. Microbial Biotechnology, 4(4): 523-532. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2011.00253.x>
- Mesa-Cobo NC, Ochoa R, Kondo RDT. 2010. Ácaros. En: tecnología para el cultivo del mango con énfasis en mangos criollos. Editorial Produmedios. Colombia. 141-151.
- Montoya RA. 2011. Control de *Polyphagotarsonemus latus* (BANKS) con el ácaro depredador *Amblyseius largoensis* (muma) en la producción protegida de pimiento (*capsicum annuum* L.). Revista de Protección Vegetal, 26(2): 136.
- Moo-Koh, FA, Cristóbal-Alejo J, Reyes-Ramírez A, Tun-Suárez JM, Sandoval-Luna R, Ramírez-Pool JA. 2014. Actividad *in vitro* del extracto acuoso del *Bonellia flammaea* contra hongos fitopatógenos. Agrociencia, 48(8): 833-845.
- Moo-Koh FA, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suárez JM, Medina-Baizaba IL, Arjona-Cruz AA, Gamboa-Angulo M. 2022. Activity of Aqueous Extracts from Native Plants of the Yucatan Peninsula against Fungal Pathogens of Tomato *In Vitro* and from *Croton*

- chichenensis* against *Corynespora cassiicola* on Tomato. Plants, 11(21): 2821. <https://doi.org/10.3390/plants11212821>
- Moremi MP, Makolo F, Viljoen AM, Kamatou GP. 2021. A review of biological activities and phytochemistry of six ethnomedicinally important South African Croton species. Journal Of Ethnopharmacology 280: 114416. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114416>
- Onzo A, Houedokoho AF, Hanna R. 2012. Potential of the predatory mite, *Amblyseius swirskiito* suppress the Broad Mite, *Polyphagotarsonemus latus* on the Gboma Eggplant, *Solanum macrocarpon*. Journal Of Insect Science, 12(7): 1-11. <https://doi.org/10.1673/031.012.0701>
- Ortega-Acosta SA, Hernández-Morales J, Ochoa-Martínez DL, Ayala-Escobar V. 2015. First Report of *Corynespora cassiicola* Causing Leaf and Calyx Spot on Roselle in Mexico. Plant Disease, 99(7): 1041. <https://doi.org/10.1094/pdis-04-14-0438-pdn>
- Patricio-Hernández A, Ortega-Acosta SÁ, Ramírez-Peralta A, Ayala-Sánchez A, Palemón-Alberto F, Toledo-Hernández E, Romero-Ramírez Y, Toribio-Jiménez J. 2020. Antagonistic bacteria for biospace control of roselle spot (*Corynespora cassiicola*) of *Hibiscus sabdariffa*. Revista Mexicana de Fitopatología, 38(3). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2006-1>
- Pontes WT, De Oliveira JCG, Da Câmara CAG, De Assis CPO, De Oliveira JV, Júnior MGCG, Barros R. 2011. Effects of the Ethanol Extracts of Leaves and Branches from Four Species of the Genus *Croton* on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). BioAssay 6. <https://doi.org/10.14295/ba.v6.0.89>
- Qi Y, Zhang X, Pu J, Liu X, Lu Y, Zhang H, Zhang H, Lv Y, Xie Y. 2011. Morphological and molecular analysis of genetic variability within isolates of *Corynespora cassiicola* from different hosts. European Journal Of Plant Pathology 130(1): 83-95. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9734-6>
- Queiroz M, Queiroz E, Zeraik M, Marti G, Favre-Godal Q, Simões-Pires C, Marcourt L, Carrupt P, Cuendet M, Paulo M, Bolzani V, Wolfender J. 2014. Antifungals and acetylcholinesterase inhibitors from the stem bark of *Croton heliotropiifolius*. Phytochemistry Letters, 10. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2014.08.013>
- Quevedo R, Núñez L, Moreno-Murillo B. 2007. Contribución al estudio químico y de bioactividad de dos especies nativas: (*Croton bogotanus*. Cuatr. y *Croton funckianus*. Cuatr.) Euphorbiaceae. Scientia Et Technica, 13(33): 391-393.
- Rahman MS, Talukder FU, Islam MN. 2022. Pesticidal effect of selected plant extracts on *Polyphagotarsonemus latus* (BANKS) infestation in *Corchorus olitorius* L. JUTE.

- Rajendran L, Ramanathan A, Durairaj C, Samiyappan R. 2011. Endophytic *Bacillus subtilis* enriched with chitin offer induced systemic resistance in cotton against aphid infestation. Archives Of Phytopathology and Plant Protection, 44(14): 1375-1389. <https://doi.org/10.1080/03235408.2010.499719>
- Rodríguez-Buenfil IM, Ramírez-Sucre MO, Ramírez-Rivera E. 2020. Metabolómica y Cultivo del Chile Habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.) de la Península de Yucatán, 1ª ed.; CIATEJ: Jalisco, México. ISBN 978-607-8734-09-2.
- Rogers ME, Stansly PA, Childers CC, McCoy CW, Nigg HN. 2009. Florida Citrus Pest Management Guide: Rust Mites, Spider Mites, and Other Phytophagous Mites. University of Florida. IFAS. ENY- 603.
- Rondon MN, Lawrence K. 2021. The fungal pathogen *Corynespora cassiicola*: A review and insights for target spot management on cotton and Soya bean. Journal Of Phytopathology, 169(6): 329-338. <https://doi.org/10.1111/jph.12992>
- Ruiz-Hernández J. 2016. Bioecología y control de *Corynespora cassiicola* (Berk. & MA Curtis) en *Solanum lycopersicum* (L.). Rev. de Protección Vegetal. 31: 148.
- Ruiz-Lau N, Medina-Lara F, Martínez-Estévez M. 2011. El chile habanero: su origen y usos. Ciencia 62: 70–78.
- Ruiz-Sánchez E, Mejía-Bautista MÁ, Cristóbal-Alejo J, Valencia-Botín A, Reyes-Ramírez A. 2014. Actividad antagónica de filtrados de *Bacillus subtilis* contra *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(7), 1325-1332.
- Rumyantsev SD, Alekseev VY, Sorokan AV, Burkhanova GF, Cherepanova EA, Garafutdinov RR, Maksimov IV, Veselova SV. 2023. Additive Effect of the Composition of Endophytic Bacteria *Bacillus subtilis* on Systemic Resistance of Wheat against Greenbug Aphid *Schizaphis graminum* Due to Lipopeptides. Life, 13(1): 214. <https://doi.org/10.3390/life13010214>
- Samaniego-Gámez, BY, Reyes-Ramírez A, Moreno-Valenzuela OA, Tun-Suárez JM. 2017. Resistencia sistémica inducida contra virus fitopatógenos mediada por la inoculación con la rizobacteria *Bacillus* spp. Revista de Protección Vegetal 32(1):10-22
- Samaniego-Gámez BY, Valle-Gough RE, Garruña-Hernández R, Reyes-Ramírez A, Latournerie-Moreno L, Tun- Suárez JM, Villanueva-Alonzo HdJ, Nuñez-Ramírez F, Diaz LC, Samaniego-Gámez SU, et al. 2023. Induced Systemic Resistance in the *Bacillus*

- spp. —*Capsicum chinense* Jacq. —PepGMV Interaction, Elicited by Defense-Related Gene Expression. *Plants* 12:2069. <https://doi.org/10.3390/plants12112069>
- Seekham N, Kaewsalong N, Jantasorn A, Dethoup T. 2024. Biological control of *Corynespora* leaf fall disease in rubber by endophytic *Trichoderma* spp. under field conditions. *European Journal Of Plant Pathology* 170(2): 207-218. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02875-4>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2025. Anuario estadístico de la producción agrícola: Cierre de la producción agrícola 2024 para el cultivo de chile habanero en Yucatán. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola> (Recuperado: Julio 2025).
- Sharaby AMF, Gesraha MA, Fallatah SAB. 2020. Botanical extracts against the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller 1873) (Lepidoptera: Gelechiidae), during storage conditions. *Egyptian Journal Of Biological Pest Control* 30(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00294-1>
- Shimomoto Y, Adachi R, Morita Y, Yano K, Kiba A, Hikichi Y, Takeuchi S. 2008. *Corynespora* blight of sweet pepper (*Capsicum annuum*) caused by *Corynespora cassicola* (Berk. & Curt.) Wei. *Journal Of General Plant Pathology* 74(4): 335-337. <https://doi.org/10.1007/s10327-008-0100-x>
- Siddika A, Rashid AA, Khan SN, Khatun A, Karim MM, Prasad PV, Hasanuzzaman M. 2024. Harnessing plant growth-promoting rhizobacteria, *Bacillus subtilis* and *B. aryabhatai* to combat salt stress in rice: a study on the regulation of antioxidant defense, ion homeostasis, and photosynthetic parameters. *Frontiers In Plant Science* 15:1419764. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1419764>
- Silva AB, Montagnini DL, Katchborian-Neto A, Andrade JV, Manuquian HA, Cavallari PSSR, Almeida SG, Barbosa EP, Cunha WR, Soares MG, Santos MFC, Silva MLA, Vacari AM. 2023. Insecticidal activity of extracts of *Handroanthus impetiginosus* on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: plutellidae) larvae. *Natural Product Research* 38(21): 3823-3830. <https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2260069>
- Singh N, Pandey P, Dubey RC, Maheshwari DK. 2008. Biological control of root rot fungus *Macrophomina phaseolina* and growth enhancement of *Pinus roxburghii* (Sarg.) by rhizosphere competent *Bacillus subtilis* BN1. *World Journal Of Microbiology And Biotechnology* 24(9): 1669-1679. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9680-z>

- Smith L, Datnoff L, Pernezny K, Schlub, R. 2009. phylogenetic and pathogenic characterization of *Corynespora cassiicola* isolates. *Acta Horticulturae* 808:51-56. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.808.6>
- Steglińska A, Bekhter A, Wawrzyniak P, Kunicka-Styczyńska A, Jastrzębek K, Fidler M, Śmigielski K, Gutarowska B. 2022. Actividades antimicrobianas de extractos de plantas contra *Solanum tuberosum* L. *Fitopatógenos. Moléculas* 27 (5):1579. <https://doi.org/10.3390/molecules27051579>
- Sun Y, Wang M, Ren Q, Li S, Xu J, Ohizumi Y, Xie C, Jin D, Guo Y. 2014. Two novel clerodane diterpenes with NGF-potentiating activities from the twigs of *Croton yanhuii*. *Fitoterapia* 95: 229-233. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2014.03.012>
- Tăbărașu AM, Vlăduț NV, Nenciu F, Cârdei P, Găgeanu I, Catană L, Begea M, Matache MG, Anghelache DN, Persu IC, Oncescu TA. 2025. Improved Hybrid Percolation–Ultrasound Extraction of Bioactive Compounds and Their Application as Nettle and Sage-Derived Biostimulants in Tomato and Pepper Crops. *Foods* 14(22), 3900. <https://doi.org/10.3390/foods14223900>
- Tahir HAS, Gu Q, Wu H, Raza W, Hanif A, Wu L, Colman MV, Gao X. 2017. Plant Growth Promotion by Volatile Organic Compounds Produced by *Bacillus subtilis* SYST2. *Frontiers In Microbiology* 8: 171. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00171>
- Tan Z, Lin B, Zhang R. 2013. A novel antifungal protein of *Bacillus subtilis* B25. *SpringerPlus*, 2(1): 543. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-543>
- Teramoto A, Meyer MC, Suassuna ND, Da Cunha MG. 2017. *In vitro* sensitivity of *Corynespora cassiicola* isolated from soybean to fungicides and field chemical control of target spot. *Summa Phytopathologica* 43(4): 281-289. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2195>
- Tonin RB, Reis EM, Avozani A. 2017. Reduction in the *in vitro* sensitivity of *Drechslera tritici-repentis*, isolated from wheat, to strobilurin and triazole fungicides. *Summa Phytopathologica* 43(1): 20-25. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2160>
- Torres M, Brandan CP, Petroselli G, Erra-Balsells R, Audisio M. 2015. Antagonistic effects of *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* and *B. amyloliquefaciens* against *Macrophomina phaseolina*: SEM study of fungal changes and UV-MALDI-TOF MS analysis of their bioactive compounds. *Microbiological Research* 182: 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.09.005>
- Tun-Suárez JM, Castillo-Peraza ME, Cristóbal-Alejo J, Latournerie-Moreno L. 2011. Etiología de la mancha foliar del chile dulce (*Capsicum annum* L.) y su control *in vitro* en Yucatán, México. *Fitosanidad* 15(1): 05-10.

- Valente PM, Valente VMM, Silva MC, Reis LBD, Silva FD, Praça-Fontes MM. 2022. Phytotoxicity and cytogenotoxicity of *Dionaea muscipula* Ellis extracts and its major compound against *Lactuca sativa* and *Allium cepa*. *Biologia*, 77(10): 2975-2988. <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01153-0>
- Valenzuela-Soto JH, Estrada-Hernández MG, Ibarra-Laclette E, Délano-Frier JP. 2009. Inoculation of tomato plants (*Solanum lycopersicum*) with growth-promoting *Bacillus subtilis* retards whitefly *Bemisia tabaci* development. *Planta* 231(2): 397-410. <https://doi.org/10.1007/s00425-009-1061-9>
- Vargas-Díaz AA, Gamboa-Angulo M, Medina-Baizabal IL, Pérez-Brito D, Cristóbal-Alejo J. & Ruiz-Sánchez, E. 2014. Evaluación de extractos de plantas nativas yucatecas contra *Alternaria chrysanthemi* y espectro de actividad antifúngica de *Acalypha gaumeri*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 32: 1-11.
- Wang J, Guo R, Wang W, Ma G, Li S. 2018. Insight into the surfactin production of *Bacillus velezensis* B006 through metabolomics analysis. *Journal Of Industrial Microbiology & Biotechnology* 45(12): 1033-1044. <https://doi.org/10.1007/s10295-018-2076-7>
- Wang J, Qin S, Fan R, Peng Q, Hu X, Yang L, Liu Z, Baccelli I, Migheli Q, Berg G, Chen X, Cernava T. 2023. Promoción del crecimiento vegetal y biocontrol del tizón foliar causado por *Nigrospora sphaerica* en maracuyá mediante la cepa endófito GUCC4 de *Bacillus subtilis*. *Journal of Fungi* 9 (2), 132. <https://doi.org/10.3390/jof9020132>
- Xu W, Liu W, Liang Q. 2018. Chemical Constituents from *Croton* Species and Their Biological Activities. *Molecules* 23(9), 2333. <https://doi.org/10.3390/molecules23092333>
- Yadav U, Anand V, Kumar S, Verma I, Anshu A, Pandey IA, Kumar M, Behera SK, Srivastava, S, Singh PC 2024. *Bacillus subtilis* NBRI-W9 simultaneously activates SAR and ISR against *Fusarium chlamydosporum* NBRI-FOL7 to increase wilt resistance in tomato. *Journal Of Applied Microbiology* 135(3). <https://doi.org/10.1093/jambio/lxae013>
- Zhao B, Peng S, He W, Liu Y, Wang J, Zhou X. 2016. Antitubercular and cytotoxic tiglane-type diterpenoids from *Croton tiglium*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* 26(20): 4996-4999. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2016.09.002>

## CAPITULO II

## CAPITULO II

**Adriana Rubi Rivero-Urbe**<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0000-9362-7635>

**Felicia Amalia Moo-Koh**<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9346-1783>

**Jairo Cristóbal-Alejo**<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-9354-1129>

**Arturo Reyes-Ramírez**<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-2348-5146>

**José María Tun-Suárez**<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3325-8430>

**María Marcela Gamboa-Angulo**<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-0618-0335>

<sup>1</sup> Laboratorio de Fitopatología, Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal. Av. Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

<sup>2</sup> Laboratorio de Microbiología. Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal. Av. Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

<sup>3</sup> Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Calle 43 No.130, Col. Chuburná de Hidalgo, Yucatán, Mérida 97205, México.

Primer autor: Adriana Rubi Rivero Uribe (correo: [MM09800318@conkal.tecnm.mx](mailto:MM09800318@conkal.tecnm.mx))

Autor de correspondencia: José María Tun-Suárez (correo: [jose.ts2@conkal.tecnm.mx](mailto:jose.ts2@conkal.tecnm.mx))

### Enviado a la Revista Polibotánica

#### RESUMEN:

El objetivo del trabajo fue determinar la patogenicidad de *Corynespora cassiicola* ITC7 en *Capsicum chinense* y la efectividad *in vitro* de *Bacillus subtilis* CBCK47 y el extracto acuoso de *Croton chichenensis* sobre la inhibición del crecimiento micelial, esporulación y germinación. La prueba de patogenicidad consistió en inocular hojas de *C. chinense* con y sin herida, un disco de PDA con *C. cassiicola* ITC7; la efectividad de *B. subtilis* CBCK47 contra *C. cassiicola* ITC7 se realizó en confrontación dual en cajas Petri con medio de cultivo PDA, depositando en un extremo una solución bacteriana de  $1 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> y en el otro extremo un disco de PDA con *C. cassiicola* ITC7 se incubaron y registró cada 24h el crecimiento micelial del hongo. El extracto acuoso de *C. chichenensis* se evaluó a diferentes concentraciones sobre fragmentos de 2 cm hojas de *C. chinense* contenidos en cajas Petri para determinar su fitotóxicidad, la máxima concentración que no presentó fitotóxicidad se sometió a la prueba de efectividad sobre *C. cassiicola* ITC7, en cajas Petri con PDA mezclado con el extracto acuoso se depositó en el centro un disco de 5 mm del hongo se incubaron. La sensibilidad de la bacteria antagonista al extracto

acuoso, se llevó a cabo en cajas Petri con agar nutritivo sobre el cual se distribuyó una solución bacteriana de  $1.6 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> y después se depositaron cuatro discos de papel filtro impregnados con 20 µL, dos con el extracto acuoso, uno cloranfenicol y uno agua destilada estéril. Los resultados indicaron que el chile habanero es susceptible a la inoculación de *C. cassiicola* ITC7 al manifestar los síntomas característicos de la enfermedad. *B. subtilis* CBCK47 inhibió el crecimiento micelial de *C. cassiicola* ITC7. Algunas concentraciones del extracto acuoso de *C. chichenensis* causan fitotoxidad. Mientras que el extracto acuoso de *C. chichenensis* inhibió el desarrollo de *C. cassiicola* ITC7 y no afecta el crecimiento de *B. subtilis* CBCK47. El extracto acuoso de *C. chichenensis* y *B. subtilis* CBCK47 aplicados en combinación para el manejo de *C. cassiicola* en *C. chinense* representa una alternativa viable.

**Palabras clave:** Extracto acuoso, *Bacillus subtilis*, *Croton chichenensis*, *Corynespora cassiicola*, inhibición

### CAPITULO III

Tesista: Adriana Rubi Rivero Uribe (correo: [MM09800318@conkal.tecnm.mx](mailto:MM09800318@conkal.tecnm.mx))

Director de tesis: José María Tun-Suárez (correo: [jose.ts2@conkal.tecnm.mx](mailto:jose.ts2@conkal.tecnm.mx))

#### RESUMEN

En el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense*) se buscan estrategias como el uso de extractos vegetales y microorganismos con el fin de incrementar la producción y controlar plagas como *Polyphagotarsonemus latus*; que permita reducir el uso de agroquímicos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar *in vivo* el efecto del extracto acuoso (EA) de *C. chichenensis* y *Bacillus subtilis* CBCK47, sobre la productividad en chile habanero y control racional de *P. latus*. Para ello se establecieron plantas de *C. chinense* en invernadero y, en un diseño experimental de bloques completamente al azar, se aplicaron cuatro tratamientos (T1: testigo, T2: EA, T3:CBCK47, T4: EA+CBCK47) con cinco repeticiones y dos unidades experimentales. Los tratamientos se aplicaron al momento 30, 60 y 120 días después de trasplante (DDT), a partir de la última aplicación se estimó la severidad o daño de *P. latus*, en cuatro evaluaciones, con apoyo de una escala pictórica-diagramática. Las variables respuesta fueron: altura de planta(A), diámetro de tallo (DT), volumen radicular (VR), biomasa seca foliar (BSF) y biomasa seca de raíz (BSR). A los 150 y 200 DDT; la calidad de fruto: peso (P), diámetro ecuatorial (DE) y diámetro longitudinal (DL) fue a 150 DDT. Con la severidad se estimó el área bajo la curva del progreso de la plaga (ABCPE). Los resultados mostraron que, el EA tiene potencial para mejorar el crecimiento vegetativo y *B. subtilis* CBCK47 en la disminución de daño por *P. latus*.

**Palabras clave:** promoción de crecimiento vegetal, extracto vegetal, *Bacillus subtilis*, *Polyphagotarsonemus latus*.