



Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

¿Afecta la domesticación a la interacción planta-bacteria? Una prueba en plantas de chile silvestre y domesticado (*Capsicum annum* L.) y la bacteria *Bacillus cabrialesii*.

Tesis presentada por:

Emil Omar Téllez Villagómez

Para obtener el grado en

Maestro en Ciencias

Director: Dr. Rafael Bello Bedoy

Codirector: Dr. Edgardo Alfredo Sepúlveda Sánchez Hidalgo

Ensenada, Baja California, México

Noviembre de 2025

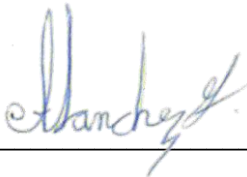
Tesis defendida por
Emil Omar Téllez Villagómez
y aprobada por el siguiente comité



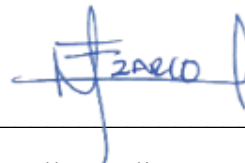
Dr. Rafael Bello Bedoy
Director de tesis



Dr. Edgardo Alfredo Sepúlveda Sánchez Hidalgo
Codirector de Tesis



Dr. Alejandro Sánchez González
Sinodal



M.C. Estrella Azalia Núñez Zarco
Sinodal

Resumen de la tesis que presenta **Emil O. Téllez Villagómez** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en ciencias

“¿Afecta la domesticación a la interacción planta- bacteria? Una prueba en plantas de chile silvestre y domesticado (*Capsicum annuum* L.) y la bacteria *Bacillus cabrialesii*.”

Resumen aprobado por



Dr. Rafael Bello Bedoy
Director de Tesis



Dr. Edgardo Alfredo Sepúlveda Sánchez
Codirector de Tesis

Las plantas en sus ambientes naturales desarrollan sistemas mutualistas con microorganismo benéficos, tal es el caso de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB), que pueden actuar mediante acciones directas o indirectas en el desarrollo de las plantas. Sin embargo, la domesticación al ser un proceso que modifica genética y fenotípicamente a los cultivares, se ha demostrado que en especies de cultivo como el trigo, tomate o maíz, el beneficio del mutualismo planta bacteria se ve disminuido. En este estudio se evaluaron cuatro genotipos domesticados de chile (*Capsicum annuum* var *annuum*) correspondientes a Jalapeño, Pimiento, Serrano y Yahualica) y dos genotipos silvestres (*Capsicum annuum* var *glabriusculum*) de poblaciones de Sonora y Sinaloa, tratadas con un bioinoculante de *Bacillus cabrialesii* TE3^T, una PGPB aislada de campos de cultivo de trigo en el Valle de Yaqui. Se compararon la tasa de crecimiento, biomasa fresca y seca de la raíz y parte aérea, producción de clorofila, fenoles, biomasa de los frutos, fenología, caracteres defensivos utilizando el herbívoro generalista *Spodoptera frugiperda*, y la colonización endófito. La mayoría de los caracteres medidos no presentaron diferencias estadísticamente significativas por el tratamiento bacteriano, incluyendo biomasa fresca y seca, caracteres reproductivos, fenoles y colonización endófito. Solo la tasa de crecimiento los primeros 20 días incrementó un 66.6% en el genotipo silvestre de Sinaloa, igual que un incremento de clorofila en las primeras 6 semanas en esta variedad. Los genotipos domesticados de Yahualica y Pimiento mostraron un efecto contrario al esperado por el tratamiento bacteriano con menor clorofila y una tendencia a menor biomasa. La mayor diferencia se observa en el incremento de la resistencia contra herbívoros debido al tratamiento, donde se percibe una tendencia a aumentar la resistencia en todas las variedades y es estadísticamente significativa en el genotipo domesticado de Serrano (43% más resistente). Los pocos resultados nos indican que hay baja compatibilidad de *B. cabrialesii* TE3^T en plantas de chile, los resultados son más notorios en etapas tempranas del desarrollo vegetal y que hay efectos de magnitud similar en los genotipos de chile independientemente de su estado de domesticación.

Palabras clave: Domesticación, bacteria promotora del crecimiento vegetal, *Capsicum annuum*, *Bacillus cabrialesii* TE3^T, interacción planta-bacteria, colonización endófito, resistencia a herbívoros, fenología, desarrollo vegetativo, contenido de clorofila.

Summary of the thesis presented by **Emil O. Téllez Villagómez** as a partial requirement for the degree of Master of Science

“Does domestication affect the plant–bacteria interaction? A test in wild and domesticated chili plants (*Capsicum annuum* L.) and the bacteria *Bacillus cabrialesii*.”

Summary approved by



Dr. Rafael Bello Bedoy
Thesis director



Dr. Edgardo Alfredo Sepúlveda Sánchez
Thesis codirector

In their natural environments, plants develop mutualistic systems with beneficial microorganisms, such as plant growth-promoting bacteria (PGPB), which can act directly or indirectly on plant development. However, domestication, as a process that genetically and phenotypically modifies cultivars, has been shown to reduce the benefits of the plant–bacteria mutualism in crop species such as wheat, tomato, and maize. In this study, four domesticated genotypes of chili (*Capsicum annuum* var. *annuum*) corresponding to Jalapeño, Pimiento, Serrano, and Yahuahualica, and two wild genotypes (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) from populations in Sonora and Sinaloa were evaluated. These plants were treated with a bioinoculant of *Bacillus cabrialesii* TE3^T, a PGPB isolated from wheat cultivation fields in the Yaqui Valley. Growth rate, fresh and dry biomass of roots and shoots, chlorophyll production, phenols, fruit biomass, phenology, defensive traits using the generalist herbivore *Spodoptera frugiperda*, and endophytic colonization were compared. Most of the measured traits did not show statistically significant differences due to the bacterial treatment, including fresh and dry biomass, reproductive traits, phenols, and endophytic colonization. Only the growth rate during the first 20 days increased by 66.6% in the wild genotype from Sinaloa, along with an increase in chlorophyll content during the first six weeks in this variety. The domesticated genotypes Yahuahualica and Pimiento showed an opposite effect to that expected from the bacterial treatment, with lower chlorophyll content and a trend toward lower biomass. The most notable difference was observed in the increased resistance to herbivores due to the treatment, with a trend toward increased resistance in all varieties, and a statistically significant effect in the domesticated Serrano genotype (43% more resistant). The limited results suggest a low compatibility of *B. cabrialesii* TE3^T in chili plants, with more evident effects at early stages of plant development, and similar effect magnitudes across chili genotypes regardless of their domestication status.

Keywords: Domestication, plant growth-promoting bacteria, *Capsicum annuum*, *Bacillus cabrialesii* TE3^T, plant–bacteria interaction, endophytic colonization, herbivore resistance, phenology, vegetative development, chlorophyll content.

A mi familia,
a la de sangre, y la que no.

Agradecimientos

Agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) anteriormente Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCyT) por brindar el financiamiento de esta tesis mediante el proyecto “Variación genética de la defensa constitutiva e inducida contra herbívoros y patógenos en chile silvestre *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*” (Clave: 255631) y por el apoyo de la beca de estudios de posgrado (CVU: 1293534).

A mi *alma mater*, la Universidad Autónoma de Baja California y al posgrado en Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería MyCDI por abrirme nuevamente sus puertas y permitir que me siga desarrollando profesionalmente. Al Subcomité Académico por Campo del Conocimiento (SACC) por aceptar mi proyecto y al coordinador del posgrado Dr. Ramon Lerma y Dr. Andrés Aquino por guiarme cuando necesitaba ayuda.

A mi director de tesis y amigo, el Dr. Rafael Bello Bedoy, por seguir permitiéndome trabajar en el Laboratorio de Genética ecológica y Evolución. Y aun después de 6 años me sigue ensañando nuevas cosas además de abrir las puertas de su casa, contarnos historias de su época de estudiante, invitarnos la carne asada y al caldo de Opah.

A mi director de tesis y nuevo colega, Dr. Edgardo Alfredo Sepúlveda Sánchez, por aceptar colaborar conmigo en el Laboratorio de Microbiología agrícola y Traducción de Señales en el CICESE, darme consejos dentro y fuera del ámbito académico, e invitarnos por unas hamburguesas.

A mi comité evaluador, el Dr. Alejandro Sánchez y la M.C Estrella Núñez. Gracias por el apoyo, consejos y platicas alentadoras. También a los profesores que compartieron su conocimiento y enriquecieron este proyecto, el Dr. Gorgonio Ruiz, Dra. Evaristo Arellano, Dr. Daniel Salgado, Dra. María Clara Arteaga, Dra. Selene Delgado y al Dr. Roberto Romo. también al equipo de laboratoristas que apoyaron, Anita, Esly, Deyanira, y Juan.

Al Dr. Sergio de los Santos, por aceptarme en la estancia en el Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano en el ITSON, por enseñarme otros aspectos de la biología que me emocionaron de nuevo. Y a su equipo, Dra. Cristina, Dra. Ixchel, Dra. Errika, Berenice, Pamela, Jaqueline, Alina, Roberto, Isabel, y las y los muchos estudiantes por recibirme en su espacio, tenerme la paciencia de enseñarme y hacerme sentir bienvenido en Ciudad Obregón.

A las instituciones que bridaron su material para que este proyecto fuera posible. A COLMENA por donar la *Bacillus* usada en este proyecto, a ECOSUR unidad Tapachula por donar las larvas de *Spodoptera*, al CRESIAP por donar las semillas del chile Yhualica y todos los que mandaron semillas de chiltepín que hemos usado.

Al equipo de trabajo y amigos del Bello-Lab, Gabino, Bere, Mario, Gerardine. Miguel, Ángel, Marina, Caro, Andrea, Alan, Valentina, Camila y todos los y las estudiantes que pasaron sus tardes ahí trabajando, aprendiendo, riendo y muchas veces solo chismeando hasta que diera el momento de irnos. Mis compañeros de MyDCI, Poli, Mayra, Roberto, Luis, Abraham y Carlos Arturo. A las personas que conocí y conviví cuando iba al CICESE, Grecia, Yess, Zaret, Gema, Jorge, y Kendy.

A mis amistades que se quedaron y las nuevas que llegaron. Fanny, mi mejor amiga y una compañera importante en este proyecto. Mis amigos que hicieron más llevadero este

posgrado, con los que salí a la playa, a nuestros depas y agradezco tanto que me hayan aceptado esa cheve, Luis e Isaac. A las amistades que a pesar de la distancia se mantienen y aprecio mucho, Celia, Malkah, Varela, Daniela, Chema y Elisa.

A mi novia, Natalia Sofía Gómez Parra, quien agradezco infinitamente su amor y su cariño. Por todo el tiempo que compartimos, las caminatas viendo plantas y aves. Quien me enseñó a ver el arte en todas partes y me dio una perspectiva que jamás había imaginado tener, me enseñó más de esta ciudad que me ha recibido por más de 8 años. Por ayudarme en mis presentaciones, en mis decisiones y a hacer esta vida más llevadera. Te amo.

A mi familia, mi tribu. Por ellos son quien soy y sentaron las bases para ser quien seré. Gracias a mi madre Corina Villagómez, y a mi padre Marcelino Téllez, por su inmenso amor incondicional, por su apoyo y seguir alentado mi sueño. A mis hermanos sin orden de amor, Melisa, Marcela y Marco por ser compañeros de vida que no escogí pero agradezco todo el tiempo porque sean ustedes, y a mi cuñado Víctor. Gracias por siempre ser mi hogar.

Agradezco a la vida. Este fenómeno que decidí estudiar de manera profesional desde hace 7 años, pero comencé a admirar desde que era un pequeño niño maravillado por las flores abriéndose y los colores de las mariposas que había en el jardín de mi casa. Este hilo que de alguna manera nos conecta a todos y a todo en este mundo. Gracias vida.

Y sin temor a la prepotencia, me agradezco a mí. Por escoger este posgrado y trabajarlo con dedicación y disciplina. Ser determinado en cumplir y abierto para aprender de mis profesores, compañeros, alumnos y amigos que no solo me están haciendo un mejor profesionista, están haciendo mejor persona. Me agradezco por seguir cumpliendo el sueño de ese niño curiosos que de grande quería ser un científico y descubrir nuevas cosas.

Índice

A) Contenidos

1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Hipótesis	7
1.3 Objetivos	7
2. Metodología.....	8
2.1 Sistemas de estudio	8
2.2 Preparación del material biológico.	9
2.3 Medidas de desarrollo vegetativo.	11
2.4 Medidas del desarrollo fisiológico.....	11
2.5 Medidas de caracteres reproductivos	12
2.6 Resistencia contra herbívoros	13
2.7 Prueba de colonización endófito	14
2.8 Análisis estadísticos	14
3. Resultados	17
3.1 Desarrollo vegetativo	17
3.2 Concentración de clorofila y contenido fenólico foliar	23
3.3 Características reproductivas.	26
3.4 Resistencia contra herbívoros	30
3.5 Colonización endófito	35
4. Discusión	37
4.1 Efecto de la domesticación en la interacción planta-bacteria.....	37
4.2 <i>B. cabrialesii</i> en el desarrollo vegetativo y fisiológico	38
4.3 Características reproductivas	41
4.4 Cambios en la resistencia contra herbívoros.....	42
4.5 Colonización endófito de <i>B. cabrialesii</i> en Chile	44
4.6 Microbioma del suelo e implicaciones ecológicas	45
5. Conclusiones	50
5.1 Perspectivas futuras	50

6. Bibliografía.....	51
7. Anexos.....	59
7.1 Anexo 1: Metodología para extracción de ADN en tejido vegetal lignificado	59

B) Figuras

Figura 1. Frutos de los genotipos utilizados en este experimento	9
Figura 2. Biomasa fresca y biomasa seca de diferentes genotipos domesticados y silvestres de Chile con tratamiento de <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	20
Figura 3. Cambio en ICC a través de 6 semanas en genotipos silvestres y domesticados con tratamiento de <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	24
Figura 4. Contenido de compuestos fenólicos en la hoja en chiles de genotipo domesticado y silvestre	25
Figura 5. Días a la aparición de estructuras reproductivas en plantas silvestres y domesticadas de Chile con tratamiento de <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	27
Figura 6. Índice de resistencia de plantas a larvas de <i>S. frugiperda</i> en 1 hora ...	30
Figura 7. Índice de resistencia de plantas a larvas de <i>S. frugiperda</i> en 10 días..	31
Figura 8. Supervivencia de <i>S. frugiperda</i> alimentado con hojas de chiles silvestres y domesticados con tratamiento de <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	33
Figura 9. Resultado de la amplificación de un marcador específico para <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	35
Figura 10. Plantas de Chile a los 60 días desde el inicio del tratamiento	36

C) Tablas

Tabla 1. Tasa de crecimiento relativo en diferentes períodos de tiempo en plantas silvestres y domesticadas de Chile con tratamiento de <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	18
Tabla 2. Resultados de las ANOVAS de dos vías en la tasa de crecimiento a los 20, 40 y 60 días después del inicio del tratamiento.....	19

Tabla 3. Biomosas frescas y secas de chiles silvestres y domesticados con tratamiento de <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	21
Tabla 4. Resultados de las ANOVAS de dos vías de la biomasa fresca y seca de las plantas	22
Tabla 5. Resultados de las ANOVAS de dos vías del ICC a los 60 días y contenido de fenoles de plantas tratadas con <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	25
Tabla 6. Características reproductivas de chiles silvestres y domesticados con tratamiento de <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	28
Tabla 7. Resultados de las ANOVAS de dos vías de caracteres reproductivos de plantas tratadas con <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	29
Tabla 8. Tiempo de vida de larvas de <i>S. frugiperda</i> alimentadas con plantas silvestres y domesticadas de Chile con tratamiento de <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	32
Tabla 9. Resultados de las ANOVAS de dos vías de caracteres de resistencia de plantas tratadas con <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	34
Tabla 10. Comparación de los cambios porcentuales con respecto al control en plantas de trigo inoculadas con <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T y con un consorcio de bacterias nativas donde se encuentra <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	48

1. Introducción

La domesticación es un proceso evolutivo determinado por la selección artificial, consciente o inconsciente, mediante el cual el ser humano favorece rasgos útiles o deseables en los organismos (Meyer & Purugganan, 2013). Este proceso origina un conjunto de características recurrentes que difieren de sus parientes silvestres, denominado síndrome de domesticación (Hammer, 1984). Estos cambios incluyen diferencias morfológicas (i.e. mayor tamaño de frutos y semillas, reducción de tricomas), fisiológicas (i.e. menor plasticidad fenotípica) y de historia de vida (i.e. homogenización del crecimiento y la fructificación) (Meyer & Purugganan, 2013; Milla et al., 2015; Munguía-Rosas, 2021). Además, la domesticación puede modificar rasgos foliares, florales y rizosféricos que intervienen directamente en las interacciones ecológicas de las plantas, afectando su relación con herbívoros, polinizadores y microorganismos del suelo (Mejía-Serrano et al., 2020; Chabane et al., 2022). En particular, los cambios en el fenotipo radicular pueden alterar la habilidad de las plantas para interactuar con bacterias rizosféricas, reduciendo su colonización y los beneficios asociados a la adquisición de nutrientes y el crecimiento (Munguía-Rosas et al., 2021). Dada la importancia que tienen las bacterias rizosféricas en el desarrollo vegetal, resulta relevante evaluar cómo la domesticación puede modificar esta interacción.

Las plantas en los ecosistemas naturales y antropizados interactúan con una amplia diversidad microorganismos (Taulé et al., 2021). Entre las interacciones planta-microorganismo más relevantes se encuentran las bacterias capaces de colonizar la rizosfera o el tejido vegetal sin causar patologías, y que favorecen el desarrollo vegetal. Se conocen como bacterias promotoras del crecimiento (PGPB, por sus siglas en inglés *Plant Growth Promoting*

Bacteria) (de los Santos Villalobos et al., 2019; Hartlova et al., 2011). Este mutualismo es mediado por compuestos metabolitos secundarios que son exudados por la raíz de planta compatibles con la respuesta metabólica de las bacterias al ambiente que generan, facilitando una comunicación entre ambos elementos del sistema (Pedraza et al., 2020). En condiciones estresantes de nutrientes o agua, la relación planta-bacteria actúa favorece aquellos genotipos que sí logran entablar este mutualismo de manera efectiva (Lambers et al., 2009). Esta dinámica es la base para los procesos de evolución conjunta, estableciendo un sistema de comunicación que conducen al desarrollo relaciones mutualistas (Delaux & Schornack, 2021).

El efecto de la domesticación se observa cuando algunas de las ventajas proporcionadas por las PGPB disminuyen en las especies cultivadas en comparación a sus parientes silvestres, como se ha documentado en cultivos como el maíz o el tomate (Gutierrez & Grillo, 2022). Sin embargo, no hay una generalidad de que esto pase; en algunos cultivos no se observan diferencias en el rendimiento de la planta por la actividad de las PGPB (Kavamura et al., 2020; Mirskaya et al., 2022). Además, aun cuando la mayoría de las bacterias PGPB se han descrito como generalistas, se debe considerar la compatibilidad que tienen con la planta hospedera para el éxito de la interacción mutualista (Santoyo et al., 2021; Shakir et al., 2021).

El chile (*Capsicum annuum* L.) representa un caso de estudio particularmente interesante, ya que esta especie se ajusta poco a la idea generalizada de que la domesticación reduce las respuestas ecológicas de las plantas cultivadas (Luna-Zúñiga, 2023; Téllez-Villagómez, 2023). En plantas de chile, se ha encontrado que la domesticación provoca cambios como la disminución en el tamaño de la raíz, la reducción de la respuesta fototrópica, una menor tolerancia ante condiciones ambientales adversas, entre otras (Lopez-Moreno et al., 2023; Valenzuela-Apodaca, 2019). Además, en el contexto nacional, el chile representa un cultivo de gran interés agrícola, ya que en el México contemporáneo se siguen consumiendo variedades silvestres (como el chile chiltepín o chile de monte) así como una gran cantidad de

variedades domesticadas (entre ellas, jalapeño, chile de árbol, serrano). México es el segundo exportador de chiles a nivel mundial, con ingresos mayores a los veinte mil millones de pesos anuales (SADER, 2016). Comprender el efecto de la domesticación, si es que se presenta, podría orientar el desarrollo de estrategias agrícolas con beneficios científicos y económicos.

En paralelo, existe una gran presión agrícola para satisfacer las necesidades alimentarias, importantes por su influencia en aspectos ecológicos, económicos y sociales (FAO, 2018; Cerutti, 2019). En este contexto, el uso de bioestimulantes, como son las PGPB o productos derivados de ella han sido propuestos como una biotecnología prometedora ya que pueden mejorar el rendimiento de los cultivos al aumentar el aprovechamiento de nutrientes o inducir mayor resistencia contra plagas o patógenos (Espinosa-Antón et al., 2020; Glick, 2012; Wu et al., 2009). Si bien se ha estudiado la relación entre el microbioma y la aptitud biológica de algunas especies de cultivo (Chávez-Luzanía et al., 2022; Glick, 2012; Gutierrez & Grillo, 2022), es valioso realizar estudios que analicen cómo la domesticación influye en el desempeño de esta interacción y si este contexto afecta la efectividad de bioestimulantes sustentables, lo cual podría proporcionar bases para el desarrollo de estrategias que optimicen el uso de estas prácticas en plantas de interés agrícola como el chile.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Capsicum annuum L.

Capsicum annuum var. *glabriusculum* es el pariente silvestre de las variedades domesticadas mexicanas *C. annuum* var. *annuum*. Su distribución abarca desde el sur de Estados Unidos hasta Centroamérica (Vibrans et al., 2009). Esta especie ha tenido a México como su centro de domesticación desde hace más de 6000 años ha brindado al menos 120 variedades domesticadas distintas (Kraft et al., 2014). Hay evidencia de consumo de chile que

data de hace poco menos de 7000 años de antigüedad, sugiriendo que los seres humanos contribuyeron a su dispersión en esta etapa a través de sociedades cazadoras-recolectoras. Las evidencias arqueológicas encontradas en el valle de Tehuacán, Puebla (México) de hace aproximadamente 6400 años nos indican que el chile ya era una especie manejada junto con el cultivo de maíz y calabaza (Kraft et al., 2014). Más recientemente, en la época prehispánica, se estima que ocurrió la mayor diversificación de chiles domesticados impulsada por mercaderes que comerciaban variedades cultivadas en diferentes localidades (Román & Del Río, 2017). La domesticación del chile se comenzó originalmente seleccionando rasgos del fruto como el sabor, el tamaño y la cantidad de pericarpio (Aguilar-Rincón et al., 2010).

1.1.3 Efectos de la domesticación en chile

C. annuum es una especie ideal para estudios sobre domesticación, ya que aún es posible encontrar poblaciones silvestres, además de una cantidad elevada de variedades domesticadas. De acuerdo con la teoría del síndrome de domesticación, algunos de los efectos de esta condición son la reducción o pérdida de características que ya no tienen una fuerte presión selectiva (Serrano-Mejía, 2023).

Valenzuela-Apodaca (2019) y Peiro-Nuño (2021) demostraron que las variedades domesticadas presentan mecanismos de tolerancia más atenuados (78% menos tolerancia) y resistencia ante herbívoros (200% menos mortalidad) en comparación a los chiles silvestres. El análisis de metabolómica indica que las diferencias entre chiles y domesticados no es tan evidente, ya que variedades como el chile de Yahualica ha mostrado ser un ejemplar intermedio entre los silvestres y otras variedades más industrializadas (Arvizu-Díaz, 2021). Esto se refuerza al analizar otros elementos no relacionados con la defensa. Las interacciones de las plantas con su ambiente, determinadas por la plasticidad fenotípica, han mostrado que en esta característica no difiere significativamente entre genotipos únicamente por el estado de

domesticación, y se sugiere que es parte de un proceso de adaptación local (Luna-Zúñiga, 2023; Téllez-Villagómez, 2023).

Se ha mostrado que algunas variedades domesticadas de Chile tienen efectos inducidos por la presencia de PGPB en su rizobioma (Montoya-Martínez et al., 2023; Sari et al., 2024; Thilagar et al., 2018) donde los resultados muestran un aumento en rasgos agrónomicamente relevantes (*i.e.* mayor biomasa de frutos). Sin embargo, no está claro si en esta especie la domesticación atenúa la efectividad de estos beneficios, así como otros caracteres no se ven influenciados por ese proceso de deriva genética.

1.1.4 Bacterias promotoras del crecimiento

Las rizobacterias han mostrado efectos positivos en el desarrollo vegetal (Chávez-Luzanía et al., 2022; Hartlova et al., 2011). Entre ellas, las bacterias del género *Bacillus* spp., Grampositivas, termorresistentes y con amplia diversidad metabólica, destacan por su potencial como PGPB (Pedraza et al., 2020). Sus mecanismos de acción pueden ser directos, como la solubilización de nutrientes y la producción de hormonas de crecimiento (IAA, etileno, giberelinas), o indirectos, como la secreción de metabolitos antifúngicos que favorecen la resistencia frente a hongos fitopatógenos (Hyder et al., 2023; Santoyo et al., 2021; Ramos-Solano et al., 2010; Kumar et al., 2019; Montoya-Martínez et al., 2023).

1.1.5 Bacillus cabrialesii TE3^T

En plantas de trigo inoculadas con esta bacteria se ha mostrado un incremento en la producción de clorofila, un aumento del 32.7% biomasa seca aérea con respecto al control, además de influir positivamente en el desarrollo de la planta en condiciones de estrés térmico, salino e hídrico (Robles Montoya et al., 2020; Valenzuela-Ruiz et al., 2022). Esta especie es igualmente considerada como agente de control biológico (BCA por sus siglas en inglés,

Biological Control Agent). Se ha reportado su potencial para sintetizar antifúngicos, ya que en pruebas de laboratorio logró inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos como *Bipolaris sorokiniana* y *Fusarium languescens* (Montoya-Martínez et al., 2023). Esta capacidad de control contra hongos fitopatógenos se le atribuye a un complejo de lipopéptidos de surfactina y homólogos de fengicina que produce la bacteria (Valenzuela-Ruiz et al., 2022).

1.1.6 Domesticación y PGPB

Los beneficios de promoción del crecimiento por bacterias se pueden ver alteradas por la domesticación. Por ejemplo, en el tomate *Solanum lycopersicum* se encontró que las plantas domesticadas presentaron una menor respuesta en la defensa inducida por bacterias en comparación a sus parientes silvestres (Jaiswal et al., 2020). En otro estudio similar, Valente (2018) mostró que las plantas de trigo presentaron una menor eficiencia en las interacciones con los microorganismos, lo cual estaba relacionada con una reducción de la raíz primaria y en la densidad de pelos radiculares. Otro caso en plantas medicinales silvestres (*Psammosilene tunicoides*) se registra que la diversidad microbiana asociada está más ligada a la expresión de ciertos genes, que se pierde en los mutantes domesticados que no sobre expresan lo mismo (Junnan et al., 2024).

1.2 Hipótesis

Sí la domesticación disminuye la habilidad de las plantas para interactuar con las bacterias, los genotipos silvestres de Chile (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) mostrará una mayor respuesta a la inoculación con *Bacillus cabrialesii* TE3^T en comparación con los genotipos domesticados (*Capsicum annuum* var. *annuum*).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Comparar el efecto que tienen las bacterias *Bacillus cabrialesii* TE3^T en genotipos silvestres y domesticados de Chile (*Capsicum annuum* L).

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las diferencias en el desarrollo vegetativo y fisiológico de las plantas domesticadas y silvestres de Chile *C. annuum* cuando presentan una interacción con la bacteria *B. cabrialesii* TE3^T.
- Evaluar los efectos en las características reproductivas de plantas domesticadas y silvestres de plantas de Chile *C. annuum* cuando están una interacción con la bacteria *B. cabrialesii* TE3^T.
- Comparar los cambios en la resistencia contra herbívoros de las plantas domesticadas y silvestres de Chile *C. annuum* cultivadas en un sustrato rico en *B. cabrialesii* TE3^T.
- Identificar la colonización endófitica de *B. cabrialesii* TE3^T en las raíces de plantas silvestres y domesticadas de *C. annuum*.

2. Metodología

2.1 Sistemas de estudio

Actualmente, se reconocen más de 120 variedades cultivadas de chile parientes de *C. annuum* var. *glabriusculum* (Kraft et al., 2014) cada una con su propia historia evolutiva. La variedad Pimiento (chile morrón, chile campana, pimiento) fue introducida a Europa en la época colonial, consolidándose su cultivo en Castilla (Novo, 2017). El chile de árbol tiene su origen en la región de los Altos de Jalisco, México. El chile de árbol Yahualica (de ahora en adelante, chile Yahualica) se cultiva el municipio homónimo, Yahualica Gonzales Gallo, Jalisco (DOF, 2018). El chile jalapeño de gran relevancia económica en México se originó a la del Golfo de México y se cultiva en estados como Veracruz, Chiapas, Tabasco y Quintana Roo (Aguirre-Hernández & Muñoz-Ocoter, 2015). Por su parte, la variedad de chile Serrano tiene origen en las Sierras del norte de Puebla e Hidalgo (Aguirre-Hernández & Muñoz-Ocoter, 2015).

Para evaluar el efecto de la domesticación se utilizaron dos genotipos silvestres de *C. annuum*, de localidades de San Pedro de la Cueva, Sonora (México) y de Sinaloa (México) tomadas del reservorio de germoplasma del Laboratorio de Genética Ecológica y Evolución de la Universidad Autónoma de Baja California; y cuatro genotipos domesticados de la variedad Pimiento, Jalapeño, Serrano de la marca comercial HortaFlor © y chile de árbol Yahualica proveniente de productores locales del municipio Yahualica de González Gallo, Jalisco (México) donados por el Centro Regional de Servicios Integrales en Agricultura Protegida (CRESIAP) (referencia de los frutos en la figura 1).

Bacillus cabrialesii TE3^T es una bacteria con características de PGPB, aislada del suelo con más de 40 años de actividad agrícola de cultivo de trigo en el Valle Yaqui, Sonora, México. También se ha encontrado en el tejido vegetativo demostrando de capacidad eneolítica en este

cultivo (Valenzuela-Aragón et al., 2019). *B. cabrialesii* TE3^T fue mantenida en el Laboratorio de Microbiología Agrícola y Traducción de Señales del Departamento de Microbiología Experimental en el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Esta fue donada e inicialmente aislada y descrita por el Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) (Valenzuela-Aragón et al., 2019).

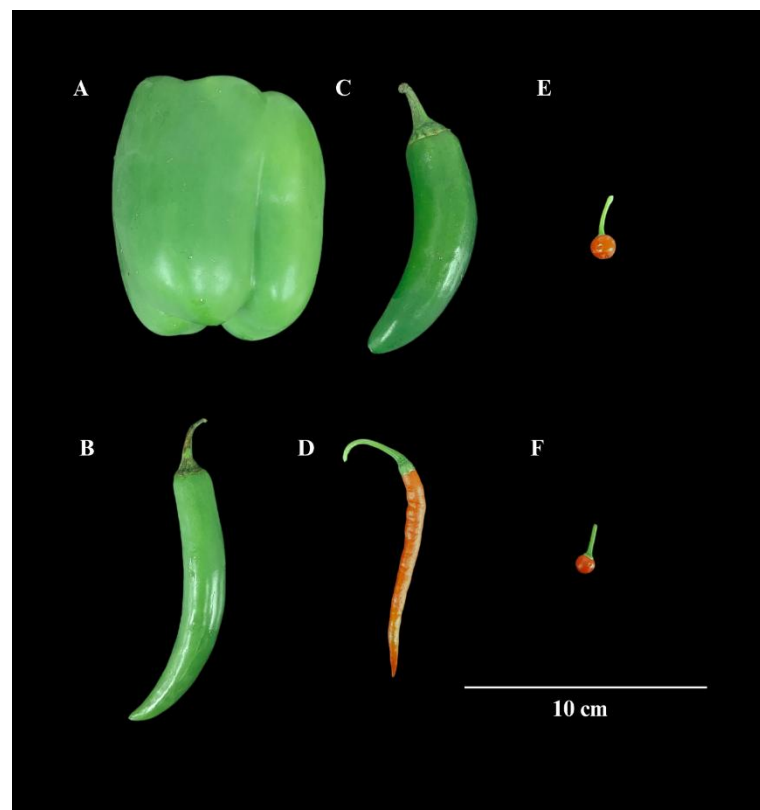


Figura 1. Frutos de los genotipos utilizados en este experimento. A la derecha se presentan los genotipos domesticados: (A) Pimiento, (B) Serrano, (C) Jalapeño y (D) Yhualica. A la izquierda se muestran los genotipos silvestres (E) San Pedro de la Cueva, Sonora y (F) Sinaloa.

2.2 Preparación del material biológico.

Para el crecimiento de *B. cabrialesii* TE3^T se utilizó un medio de cultivo líquido de peptona y extracto de levadura (PY). Su elaboración consistió en mezclar 0.38 g de cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 3 g de extracto de levadura y 6 g de peptona de caseína en 1 L de agua destilada. Con un agitador magnético se mezclan los reactivos a 500 rpm durante 5

minutos para asegurar que todo quede integrado. La solución líquida se guarda en frascos de vidrio y se lleva a esterilizar en autoclave en condiciones de 15 *psi* a 121°C por 15 minutos. En condiciones de esterilidad, se inocula el medio PY líquido con colonias previamente aisladas en medio PY sólido (PY líquido con agar bacteriológico al 1.5%). El medio inoculado se llevó a incubación con agitación constante a 150 rpm y 30 °C durante 24 horas. Una vez pasado el tiempo, se analiza la absorbancia con un espectrofotómetro con longitud de onda $\lambda=600$ nm en busca que tenga una absorbancia de 0.7 con respecto al blanco control (medio PY líquido sin la bacteria). Una vez conseguido esto, se agregó 1 volumen de agua destilada. Este método estandarizado por el Laboratorio de Transducción de Señales y Microbiología Agrícola nos brinda una concentración de 1×10^6 UFC por mL.

Para la germinación se utilizaron cien semillas de cada genotipo utilizado. Estas se sumergieron en agua corriente durante dos días; posteriormente, se remojan 24 horas en una solución de ácido giberélico con una concentración de 500 ppm. Pasado este tiempo se colocaron en charolas de germinación con sustrato estéril BM 2 hp Berger® donde se conservaron en condiciones controladas de 27 °C, ~46.5% de humedad ambiental y fotoperiodo de 16 horas de luz. Una vez que la mayoría de las plántulas exhibieron la cuarta-quinta hoja verdadera totalmente desarrollada, fueron seleccionadas 10 plántulas de maduración similar por genotipo para cada tratamiento, excepto el chile Pimiento que solo se logró conseguir 5 plantas por tratamiento (N = 110). Las plántulas fueron trasplantadas en macetas de 2.5 litros con sustrato estéril BM 2 hp Berger® y fueron crecidas en condiciones de invernadero de la Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada Baja California. Se colocaron con una separación aproximada de 30 cm entre macetas y se regaron *ad libitum* con agua corriente durante todo su desarrollo. Para asegurar la presencia de la bacteria, se realizará una reinoculación cada 15 días con 1 mL de medio PY con bacterias a la concentración previamente descrita.

2.3 Medidas de desarrollo vegetativo.

Tasa de crecimiento. Como una medida sobre la adquisición de biomasa, se estimó la tasa de crecimiento relativo (TCR) utilizando la medida de altura a los 20, 40 y 60 días, tomada desde la base del cotiledón hasta el ápice. Se calculó con la siguiente fórmula:

$$TCR = \frac{\text{Altura final} - \text{Altura inicial}}{\text{Tiempo de crecimiento}} \quad [1]$$

dónde altura inicial fue el día del trasplante y altura final se refiere a la medida en centímetros del tallo hasta el tiempo de crecimiento, es decir, el número de días entre ambas fechas (Valenzuela-Apodaca, 2019). Cuando la planta ya presentaba bifurcación, se consideraba como altura la punta más alta.

Biomasa: Una vez que al menos la mitad de los frutos llegó a la maduración (caracterizada por un color carmesí), se tomaron las medidas de biomasa. Primero se hizo una colecta de todos los frutos y posteriormente, se cortó la parte aérea comprendida por tallo, ramas y hojas. Las raíces fueron lavadas con agua corriente para quitar todo el sustrato alrededor y fueron secadas con papel secante. Cada sección de la planta fue pesada en balanza analítica MS204S Mettler Toledo® para obtener la biomasa fresca. Después de esta medida, se colocaron en bolsas de papel los tejidos y se llevaron a secar en horno de convección a 60 °C durante 3 a 5 días hasta que estuvieran totalmente secas para volver a pesarse y obtener su biomasa seca.

2.4 Medidas del desarrollo fisiológico.

Clorofila. La clorofila se cuantificó con un clorofilómetro modelo CCM-200 plus Apogee® para determinar si hay efectos en la capacidad fotosintética de la planta cuando hay una interacción con la PGPB. El clorofilómetro arroja un índice de concentración de clorofila (ICC) que va de 1 en adelante. Las medidas fueron tomadas en la misma sección de tres hojas

diferentes por planta maduras y se obtuvo un promedio en el ICC de las tres hojas para tener un calor promedio por cada planta de la planta. La medición se repitió semanalmente durante 6 semanas, que fue la fecha en la que dejó de aumentar y se mantuvo el ICC. Para estandarizar la toma de clorofila en cada semana, las tres hojas se seleccionadas eran a partir de la sexta hoja madura contadas desde el ápice hasta la sección media. Cuando la planta ya presentaba la bifurcación, se consideraba desde la punta más alta de la planta. Una última medida de clorofila se realizó el día 60 después de la primera inoculación.

Fenoles. el contenido de fenoles de la planta Se evaluó a los 100 días de maduración. Para la medición se tomó una submuestra aleatoria de 4 plantas por genotipo de cada tratamiento (n = 48). A cada una de las plantas se le cortó una hoja y se limpiaron para eliminar tierra o polvo. A las hojas se les tomó una pequeña cantidad de tejido y se colocaron en tubos Eppendorf de 1.5 mL debidamente etiquetados y previamente pesados. Se maceró la muestra de tejido en el tubo Eppendorf y se pesó. A continuación, se incubó en 1 mL de solución hidrometanólica durante 24 horas en oscuridad. Pasado este tiempo, las muestras se centrifugaron a 13,000 rpm durante 5 minutos. En tubos Eppendorf nuevos del mismo volumen, se añadió 1 mL de agua destilada, 20 µL de extracto de cada muestra y 100 µL de reactivo de fenol de Folin-Ciocalteu Sigma-Aldrich® y se agitó. Posteriormente, se añadieron 300 µL de solución de carbonato de sodio (Na₂CO₃), se agitó y se dejó en incubación durante 2 horas a temperatura ambiente. Al finalizar la incubación, se midió la cantidad total de fenoles en las muestras en un espectrofotómetro monocromático DR 2800 Hach® a $\lambda=765$ nm, utilizando ácido gálico como estándar y agua destilada como blanco.

2.5 Medidas de caracteres reproductivos

Se contaron los días que transcurrieron desde el trasplante a maceta hasta el inicio de la botonación (def.: etapa del desarrollo reproductivo de angiospermas en la que aparecen las

yemas florales que posteriormente se convertirán en flores) y floración. De la misma manera se contó el número de frutos producidos por planta y se registró la biomasa fresca y seca de los frutos (Pandit & Adhikary, 2014). La biomasa de los frutos se tomó siguiendo la metodología descrita en la sección *Biomasa*.

2.6 Resistencia contra herbívoros

Para evaluar el efecto de la interacción planta-bacteria en la resistencia contra herbívoros, se realizó una prueba de resistencia con larvas generalistas de *Spodoptera frugiperda* donadas por El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) unidad Tapachula. Las larvas se sometieron a un ayuno de 24 horas y posteriormente se mantuvieron separadas individualmente en cajas de Petri. Se usaron 4 larvas del estadio 3-4, y fueron alimentadas exclusivamente con tejido de un genotipo y el tratamiento (n = 48). Se realizaron 2 ensayos para evaluar lo consumido por las larvas. En el primero, pasadas las 24 horas de ayuno se les colocó un disco de 1.1 cm² durante 1 hora y se midió el consumo restando el sobrante de hoja del total inicial. En el segundo ensayo, a cada larva se le alimentó con un disco de 1.1 cm² de hoja cada 12 horas guardando los restos en caso de que hubiera tejido sobrante. Finalizados los 10 días se contabilizó restos de hoja utilizando el software de análisis foliar WinFOLIA® para obtener el área de hoja consumida como la diferencia entre el área foliar proporcionada de alimento y los restos. Se estimó la Resistencia relativa (R_p) con la siguiente ecuación (Valenzuela-Apodaca, 2019),

$$R_p = 1 - \frac{A_C (cm^2)}{A_T (cm^2)} \quad [2]$$

Donde A_T es el área foliar total, y A_C es el área foliar total consumida. Durante estos 10 días se contabilizó el número de muertes de las larvas para estimar la supervivencia.

2.7 Prueba de colonización endófitas

Para identificar si *B. cabrialesii* TE3^T actuó como bacteria endófitas en las plantas de Chile, se extrajo material genético de la corona de la raíz. Para ello, antes del secado de la biomasa se cortó aproximadamente 2 cm de la sección intermedia entre la raíz y el tallo de cada planta y se conservó en congelación a -80 °C hasta la extracción de ADN. La extracción de ADN fue realizada a 3 muestras por genotipo × tratamiento (n = 36) con adaptaciones de la técnica descrita por González-Vera (2019). Metodología detallada en Anexo 1.

Se comprobó la presencia de ADN en las extracciones mediante geles de electroforesis comparándolo con una escalera comercial Promega®. Una vez se verificó la correcta extracción de ADN en todas las muestras se hizo una disolución 1:10 del ADN en stock con agua MQ para realizar una PCR buscando amplificar una secuencia de un *singleton* de 264 pb específicos de *B. cabrialesii* TE3^T. Los *primers* utilizados fueron los siguientes:

Foward - AAT GGA CAG ACG GTT ATG GTG

Reverse - ATC CAC AGT CGT TTC ATC CC

Las condiciones de la PCR fueron: una desnaturalización inicial a 94°C por 5 minutos, posteriormente 35 ciclos de alineación de los *primers* a 63.5 °C por 40 s, una extensión a 72°C por 30 s y desnaturalización a 94°C por 30 s. y finalmente una extensión final del 72 °C por 5 minutos. Este procedimiento se realizó con todas las muestras incluyendo un control positivo con ADN de *B. cabrialesii* TE3^T. Los *primers* y condiciones de PCR se siguieron según lo descrito por Chávez-Luzanía et al. (2022). Los resultados se visualizaron en una electroforesis en gel de agarosa al 1.5% configurado a 85 v durante 40 minutos.

2.8 Análisis estadísticos

Caracteres vegetativos y reproductivos. Para evaluar si la inoculación bacteriana afectó el crecimiento, metabolitos primarios y secundarios se realizaron dos ANOVAS de dos vías. La primera utilizando como factores Genotipos y Tratamiento y la segunda usando los factores

Estado de Domesticación y Tratamiento. Cuando la interacción de los factores mostraba una diferencia significativa se utilizó un *post hoc* de Tukey para comprobar en que grupos se mostraba la diferencia. Se analizó la biomasa total, biomasa aérea, biomasa radicular, biomasa de frutos y la proporción de cada sección con la biomasa total dada por las ecuaciones $\frac{Biomasa\ aérea}{Biomasa\ total}$ y $\frac{Biomasa\ radicular}{Biomasa\ total}$. También se compararon las tasas de crecimiento a los 20, 40 y 60 días. Estas se analizaron con una prueba t de Student para determinar el efecto del tratamiento (Bacteria/Control) en cada genotipo.

Contenido foliar de clorofila y fenoles. El índice de contenido de clorofila se analizó de dos maneras. Se aplicó una ANOVA de medidas repetidas utilizando como factor el tratamiento, para analizar el cambio de clorofila a través de las semanas. A este análisis se le sumó una prueba t de Student en cada punto del tiempo para determinar si este efecto se observa solo en algunos momentos del desarrollo. Para el contenido de fenoles se realizaron ANOVA de dos vías utilizando Genotipo \times Tratamiento y Estado de Domesticación \times Tratamiento.

Caracteres reproductivos. Similar al análisis de biomasa, se realizaron dos ANOVA de dos vías (Genotipo \times Tratamiento y Estado de Domesticación \times Tratamiento) para los rasgos de biomasa total de frutos, número de frutos, proporción de los frutos con respecto al total así como días a la botonación y días a la floración. Solo en los rasgos con diferencias significativas según la ANOVA se realizaron *post hoc* de Tukey

Resistencia contra herbívoros. Los análisis de resistencia se efectuaron mediante un ANOVA de dos vías, considerando como factores el genotipo y el estado de domesticación, con el fin de comparar el efecto del tratamiento sobre el índice de resistencia a 1 hora y a 10 días. La supervivencia de las larvas se analizó con un modelo de riesgos proporcionales de Cox, el cual estimó las diferencias en la probabilidad de mortalidad a lo largo del tiempo entre tratamientos. Finalmente, una prueba chi-cuadrada permitió determinar la asociación entre el

tratamiento y la supervivencia de las larvas de *S. frugiperda*, codificada como variable binaria (1 = vivo, 0 = muerto) cuando el 50 % de la población había muerto (día 6). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software JMP® Pro 18.0.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), y las representaciones gráficas se elaboraron con GraphPad Prism® 10.4.1 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA).

3. Resultados

3.1 Desarrollo vegetativo

La tasa de crecimiento relativo (TCR) apicalPro-18ó diferencias significativas entre los genotipos y periodos de medición. La ANOVA mostró que los genotipos responden diferente de acuerdo con el tratamiento (Tabla 2). El *post hoc* muestra que el chile silvestre de Sinaloa tuvo un efecto del tratamiento con *B. cabrialesii* TE3^T en las etapas tempranas, con una TCR 66.6% mayor durante los primeros 20 días, diferencia que no se mantuvo posteriormente (Tabla 1). En los demás genotipos no se detectó efectos significativos del tratamiento. La biomasa total, medida a los 125 días, no difirió entre tratamientos en ninguno de los genotipos (Figura 2, Tabla 2). Lo mismo ocurrió con la biomasa seca, aunque en Yahualica se observó una reducción no significativa en la biomasa aérea (-22.64%). Las proporciones de biomasa aérea y radicular tampoco mostraron diferencias significativas.

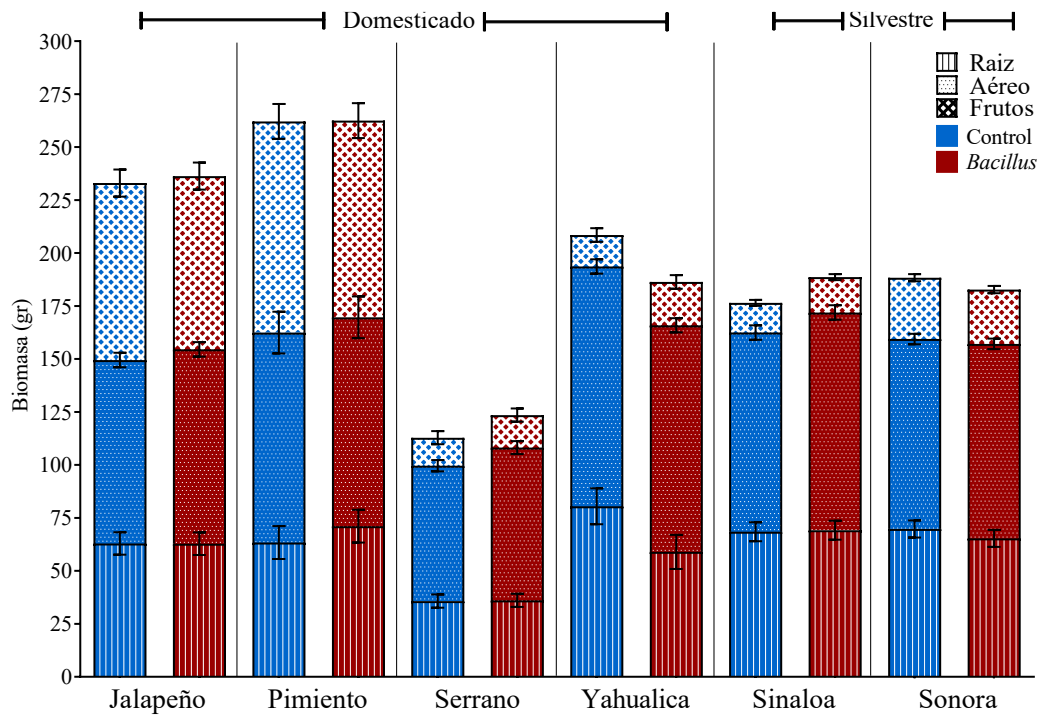
Los resultados de la ANOVA también nos mostraron diferencias significativas entre genotipos y estados de domesticación. En general, los chiles domesticados muestran 40.2% mayor crecimiento que los chiles silvestres (Tabla 4). El chile que más tasa de crecimiento presentó fue el chile Jalapeño, Seguido de Pimiento y Yahualica y finalmente Serrano y los chiles silvestres de Sonora y Sinaloa. Esto se reflejó ligeramente en las biomásas totales, donde Yahualica tiene solo 8.02% más biomasa que Sinaloa y Sonora, pero no diferenciado de acuerdo con las. Solamente el chile Serrano se ubica por debajo de los demás genotipos con 37.77 % menos biomasa.

Tabla 1. Tasa de crecimiento relativo (TCR) apical (\pm error estándar) en diferentes períodos de tiempo en plantas silvestres y domesticadas de Chile con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T. Se muestra el crecimiento dado por milímetros por día en 3 diferentes periodos de crecimiento correspondientes al día 20, día 40 y día 60 después del inicio del tratamiento. Los valores remarcados en negritas corresponden a una diferencia significativa ($p>0.05$) asociadas tratamiento bacteriano.

Estado de domesticación	Genotipo	Tratamiento	TCR al día 20 (mm/día)	TCR al día 40 (mm/día)	TCR al día 60 (mm/día)
Domesticado	Jalapeño	Control	6.30 \pm 0.3	8.08 \pm 0.9	8.47 \pm 0.4
		<i>Bacillus</i>	6.27 \pm 0.3	9.09 \pm 0.9	8.08 \pm 0.4
	Pimiento	Control	4.37 \pm 0.4	5.32 \pm 0.3	4.80 \pm 0.4
		<i>Bacillus</i>	3.39 \pm 0.4	4.56 \pm 0.3	5.27 \pm 0.4
	Serrano	Control	1.96 \pm 0.4	5.09 \pm 0.5	7.22 \pm 0.4
		<i>Bacillus</i>	2.26 \pm 0.4	5.26 \pm 0.5	6.70 \pm 0.4
	Yahualica	Control	3.81 \pm 0.4	6.92 \pm 0.4	9.29 \pm 0.5
		<i>Bacillus</i>	2.56 \pm 0.4	5.71 \pm 0.4	8.90 \pm 0.5
Silvestre	Sinaloa	Control	1.26 \pm0.2	3.01 \pm 0.3	4.60 \pm 0.3
		<i>Bacillus</i>	2.10 \pm0.2	3.18 \pm 0.3	4.90 \pm 0.3
	Sonora	Control	2.14 \pm 0.1	3.39 \pm 0.2	5.10 \pm 0.3
		<i>Bacillus</i>	2.27 \pm 0.1	3.63 \pm 0.2	5.37 \pm 0.3

Tabla 2. Resultados de las ANOVAS de dos vías en la tasa de crecimiento a los 20, 40 y 60 días después del inicio del tratamiento. Se muestran los resultados de la ANOVA Genotipo × Tratamiento y Estado de Domesticación × Tratamiento para cada carácter analizado. Los resultados resaltados en negritas representan diferencias significativas ($p > 0.05$).

	Fuente de Variación	G.L.	S.C.	F	p
Tasa de crecimiento a los 20 días	Genotipo	5	24444192	43.532	<0.0001
	Tratamiento	1	0.0068638	0.6112	0.43
	Genotipo × Tratamiento	5	0.141103	25.129	0.03
	Estado de Domesticación	1	0.6577972	22.4896	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	0.0000003	0	0.99
Tasa de crecimiento a los 40 días	Genotipo	5	35492248	29623	<0.0001
	Tratamiento	1	0.0009884	0.0412	0.83
	Genotipo × Tratamiento	5	0.1347185	11244	0.35
	Estado de Domesticación	1	1.0464929	21.9127	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	0.0186766	0.3911	0.53
Tasa de crecimiento a los 60 días	Genotipo	5	30187186	348387	<0.0001
	Tratamiento	1	0.0004283	0.0247	0.87
	Genotipo × Tratamiento	5	0.039303	0.4536	0.80
	Estado de Domesticación	1	0.1066023	2.3774	0.12
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	0.0067104	0.1497	0.69



Biomasa seca

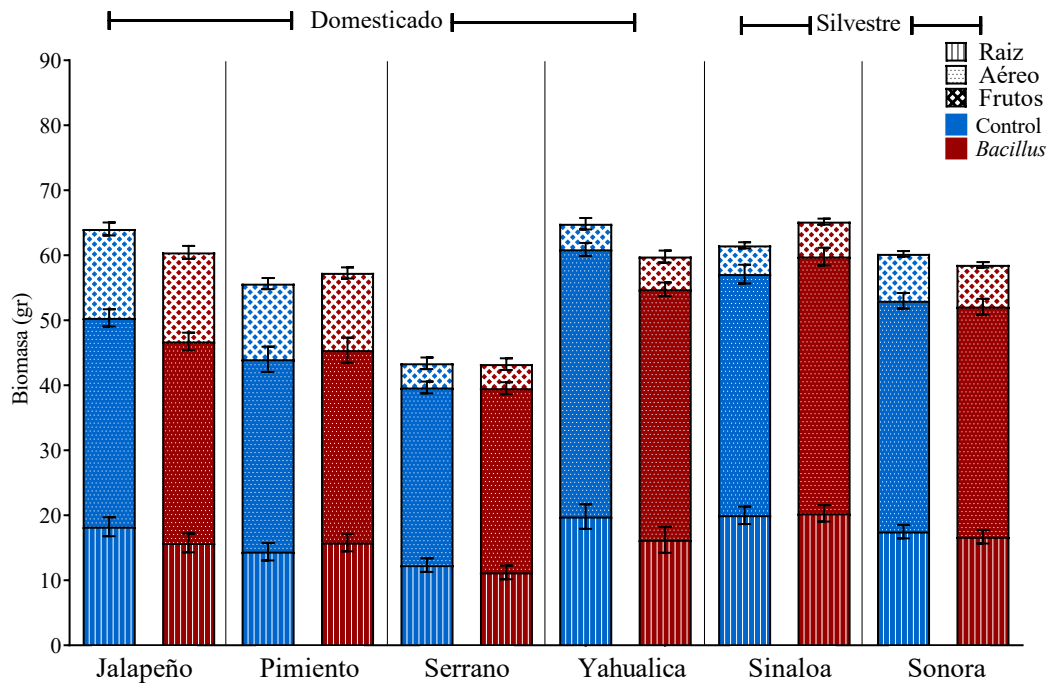


Figura 2. Biomasa fresca (gráfico superior) y biomasa seca (gráfico inferior) (\pm error estándar) de diferentes genotipos domesticados y silvestres de chile con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T. Se diferencia por patrones la biomasa de la radicular (raíces primarias y secundarias); biomasa aérea (tallo, hojas y ramas); y biomasa de los frutos.

Tabla 3. Biomosas (\pm error estándar) frescas y secas de chiles silvestres y domesticados con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T. Se hace la distinción entre la biomasa total, la cual considera la sección aérea, radicular y de los frutos. La biomasa aérea correspondo al tallo, ramificación y hojas. Asimismo, se establece la razón de la fracción aérea y radicular con respecto a la biomasa total solo en peso seco. Los valores remarcados en negritas corresponden a una diferencia significativa ($p < 0.05$) por el tratamiento bacteriano.

Estado de domesticación	Genotipo	Tratamiento	Total fresca (gr)	Aérea fresca (gr)	Radicular fresca (gr)	Total seco (gr)	Aérea seco (gr)	Radicular seco (gr)	Razón aérea: total (seco)	Razón raíz: total (seco)	
Domesticado	Jalapeño	Control	202.22 \pm 7.3	86.56 \pm 3.4	32.12 \pm 1.3	92.27 \pm 6.0	62.94 \pm 5.3	18.25 \pm 1.4	0.66 \pm 0.01	0.19 \pm 0.00	
		<i>Bacillus</i>	204.49 \pm 7.3	91.74 \pm 3.4	31.00 \pm 1.3	94.86 \pm 6.0	62.83 \pm 5.3	15.75 \pm 1.4	0.66 \pm 0.01	0.17 \pm 0.00	
	Pimiento	Control	228.34 \pm 11.8	98.56 \pm 9.8	29.60 \pm 1.9	89.43 \pm 8.7	63.39 \pm 7.7	14.40 \pm 1.3	0.70 \pm 0.02	0.16 \pm 0.01	
		<i>Bacillus</i>	221.00 \pm 11.8	99.07 \pm 9.8	29.60 \pm 1.9	98.79 \pm 8.7	71.63 \pm 7.7	15.80 \pm 1.3	0.71 \pm 0.02	0.15 \pm 0.01	
	Serrano	Control	104.42 \pm 4.7	63.90 \pm 2.6	27.33 \pm 0.9	51.81 \pm 4.1	25.75 \pm 3.1	12.33 \pm 1.0	0.69 \pm 0.01	0.22 \pm 0.01	
		<i>Bacillus</i>	118.41 \pm 5.4	72.11 \pm 3.0	28.33 \pm 0.9	51.00 \pm 4.1	36.09 \pm 3.1	11.22 \pm 1.0	0.69 \pm 0.01	0.22 \pm 0.01	
	Yahualica	Control	169.15 \pm 4.2	113.20 \pm 3.3	41.10 \pm 0.9	104.37 \pm 9.3	80.47 \pm 8.4	19.80 \pm 1.8	0.76 \pm 0.03	0.18 \pm 0.03	
		<i>Bacillus</i>	164.98 \pm 4.4	106.97 \pm 3.3	37.82 \pm 1.0	80.61 \pm 8.8	58.95 \pm 8.0	16.60 \pm 1.8	0.70 \pm 0.03	0.22 \pm 0.02	
	Silvestre	Sinaloa	Control	145.61 \pm 5.1	94.00 \pm 3.4	37.60 \pm 1.3	92.40 \pm 6.0	68.48 \pm 4.4	20.30 \pm 1.3	0.73 \pm 0.00	0.21 \pm 0.00
			<i>Bacillus</i>	158.98 \pm 5.1	102.80 \pm 3.4	39.50 \pm 1.3	94.83 \pm 5.6	69.16 \pm 4.4	20.00 \pm 1.2	0.72 \pm 0.00	0.21 \pm 0.00
Sonora		Control	154.09 \pm 2.8	89.65 \pm 2.4	35.50 \pm 1.2	88.46 \pm 4.5	69.78 \pm 4.0	17.50 \pm 1.0	0.73 \pm 0.00	0.18 \pm 0.00	
		<i>Bacillus</i>	152.83 \pm 2.8	91.76 \pm 2.4	35.40 \pm 1.2	94.48 \pm 4.5	65.35 \pm 4.0	16.70 \pm 1.0	0.73 \pm 0.00	0.18 \pm 0.00	

Tabla 4. Resultados de las ANOVAS de dos vías de la biomasa fresca y seca de las plantas. Se muestran los resultados de la ANOVA Genotipo × Tratamiento y Estado de Domesticación × Tratamiento para cada carácter analizado. Los resultados resaltados en negritas representan diferencias significativas ($p > 0.05$).

	Fuente de Variación	G.L.	S.C.	F	p
Biomasa aérea fresca	Genotipo	5	16943896	269811	<0.0001
	Tratamiento	1	204967	16319	0.20
	Genotipo × Tratamiento	5	754841	1202	0.31
	Estado de Domesticación	1	6617.96714	28.7318	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	146.953681	0.638	0.42
Biomasa radicular fresca	Genotipo	5	15206698	113142	<0.0001
	Tratamiento	1	202349	0.7528	0.38
	Genotipo × Tratamiento	5	2051425	15263	0.18
	Estado de Domesticación	1	6228.82766	17.7424	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	631.804224	1.7997	0.18
Biomasa total fresca	Genotipo	5	163837.82	682695	<0.0001
	Tratamiento	1	0.028675	0.0001	0.99
	Genotipo × Tratamiento	5	4471.11	18631	0.10
	Estado de Domesticación	1	1981.17895	0.9155	0.34
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	2285.84378	1.0562	0.30
Biomasa aérea seca	Genotipo	5	20598867	302778	<0.0001
	Tratamiento	1	0.5096	0.0375	0.84
	Genotipo × Tratamiento	5	579677	0.8521	0.51
	Estado de Domesticación	1	1752.42564	107.274	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	0.4714868	0.0289	0.86
Biomasa radicular seca	Genotipo	5	73674625	86105	<0.0001
	Tratamiento	1	2355589	13765	0.24
	Genotipo × Tratamiento	5	5512825	0.6443	0.66
	Estado de Domesticación	1	1752.42564	107.274	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	0.4714868	0.0289	0.86
Biomasa total seca	Genotipo	5	0.2662961	217333	<0.0001
	Tratamiento	1	0.0017937	0.7319	0.39
	Genotipo × Tratamiento	5	0.0025182	0.2055	0.95
	Estado de Domesticación	1	1819.26856	29.2363	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	0.000923	0	0.99

3.2 Concentración de clorofila y contenido fenólico foliar

La ANOVA de medidas repetidas solo mostró diferencias en el desarrollo del ICC en el genotipo domesticado Pimiento, por un crecimiento ligeramente en las plantas tratadas con *B. cabrialesii* TE3^T (Figura 3). Las diferencias se notaron en varios puntos: en Pimiento se observa un ICC 27.95% menor en las plantas con la bacteria en la tercera semana; las plantas tratadas en Yahualica tuvieron 52.33% menos de clorofila en la semana 1; en los chiles de Sinaloa el tratamiento bacteriano tuvo con mayor clorofila en la semana 1 y 2 donde aumentó 34.91% y 63.09% respectivamente (Figura 3). La comparación de clorofila a los 60 días no exhibió ninguna diferencia significativa por tratamiento en ningún estado de domesticación ni genotipos (Tabla 5). En los contenidos de fenoles no se percibió diferencias significativas por el tratamiento en ningún genotipo utilizado en el experimento (Figura 4).

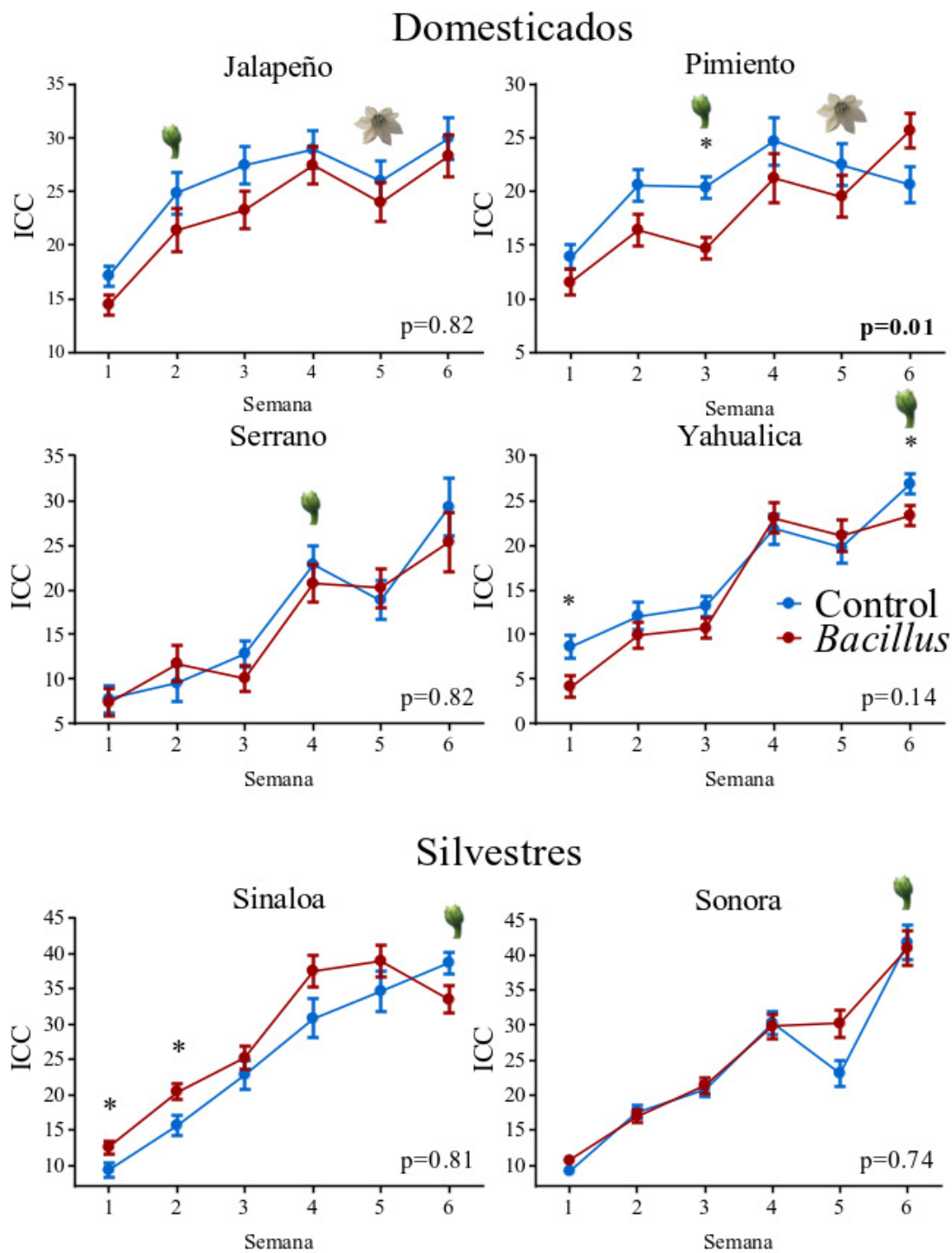


Figura 3. Cambio en ICC (\pm error estándar) a través de 6 semanas en genotipos silvestres y domesticados con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T. Se muestra el valor de p de la ANOVA de medidas repetidas para cada prueba en la sección inferior derecha de cada gráfico. El (*) representa una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) para la medida en esa semana. Señalado con una imagen de botón florar y flor de *C. annuum* representa la semana de aparición de cada estructura.

Contenido de fenoles en la hoja

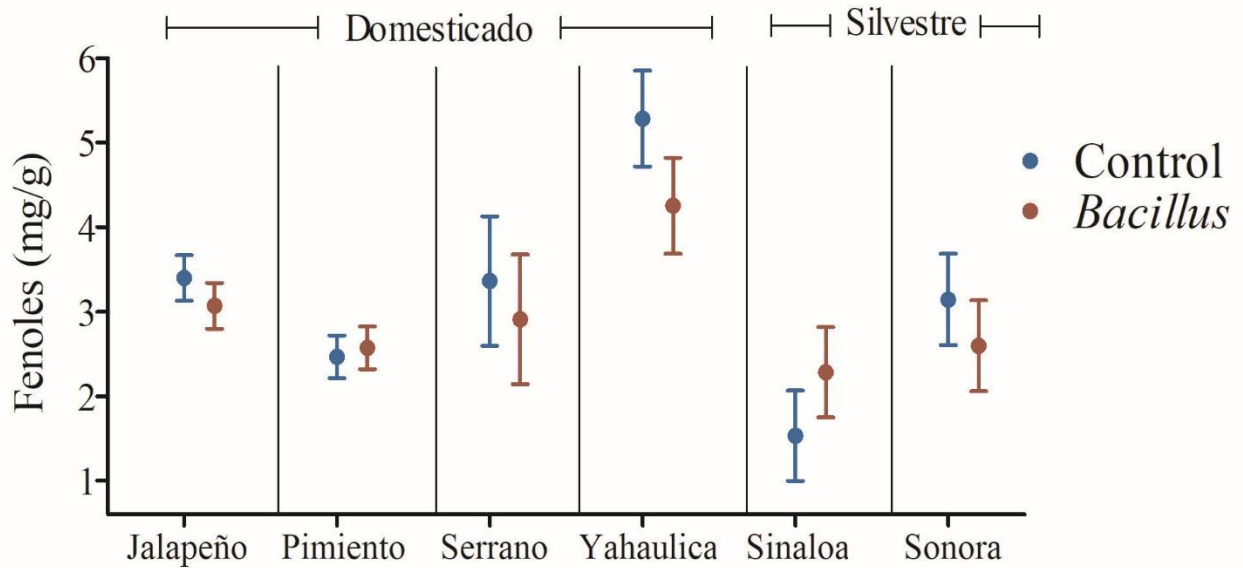


Figura 4. Contenido de compuestos fenólicos (\pm error estándar) en la hoja en chiles de genotipo domesticado y silvestre. Se observan la comparación de los chiles sin tratamiento de color azul y con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T de color rojo. No se observan diferencias notorias por el tratamiento en esta característica en ningún genotipo utilizado.

Tabla 5. Resultados de las ANOVAS de dos vías del ICC a los 60 días y contenido de fenoles de plantas tratadas con *B. cabrialesii* TE3^T. Se muestran los resultados de la ANOVA Genotipo \times Tratamiento y Estado de Domesticación \times Tratamiento para cada carácter analizado. Los resultados resaltados en negritas representan diferencias significativas ($p > 0.05$).

	Fuente de Variación	G.L.	S.C.	F	p
Clorofila al día 60	Genotipo	5	24,444,192	43,532	<0.0001
	Tratamiento	1	0.0068638	0.6112	0.43
	Genotipo \times Tratamiento	5	0.141103	25,129	0.03
	Estado de Domesticación	1	1187.8731	30	<0.0001
	Est. Domesticación \times Tratamiento	1	71.478395	2	0.18
Fenoles	Genotipo	5	35492248	29623	<0.0001
	Tratamiento	1	0.0009884	0.0412	0.83
	Genotipo \times Tratamiento	5	0.1347185	11244	0.35
	Estado de Domesticación	1	0.5754213	0.3208	0.57
	Est. Domesticación \times Tratamiento	1	0.0075726	0.0042	0.94

3.3 Características reproductivas.

La ANOVA detectó un efecto significativo de *B. cabrialesii* TE3^T en el número de días a la producción de botones y flores (Tabla 7), específicamente en el genotipo domesticado Pimiento (Figura 5, Tabla 6) donde plantas inoculadas produjeron botones y abrieron las flores en promedio cuatro y siete días después que las plantas control. Esto representa un retraso de 19.38% para los botones y 15.8% para las flores. No se detectaron diferencias significativas en los demás genotipos, la fenología floral, ni el número de frutos (Figura 5, Tabla 6).

Los genotipos domesticados tuvieron una maduración reproductiva 47.58% más prematura en comparación a los silvestres (Figura 6, Tabla 7). En la ANOVA aplicada por genotipo, se aprecia que cada genotipo está bien diferenciado entre sí, siendo Jalapeño los más prematuros, seguidos de Pimiento, Serrano, Yahualica, Sinaloa y Sonora respectivamente tal como se indica como en la Figura 5.

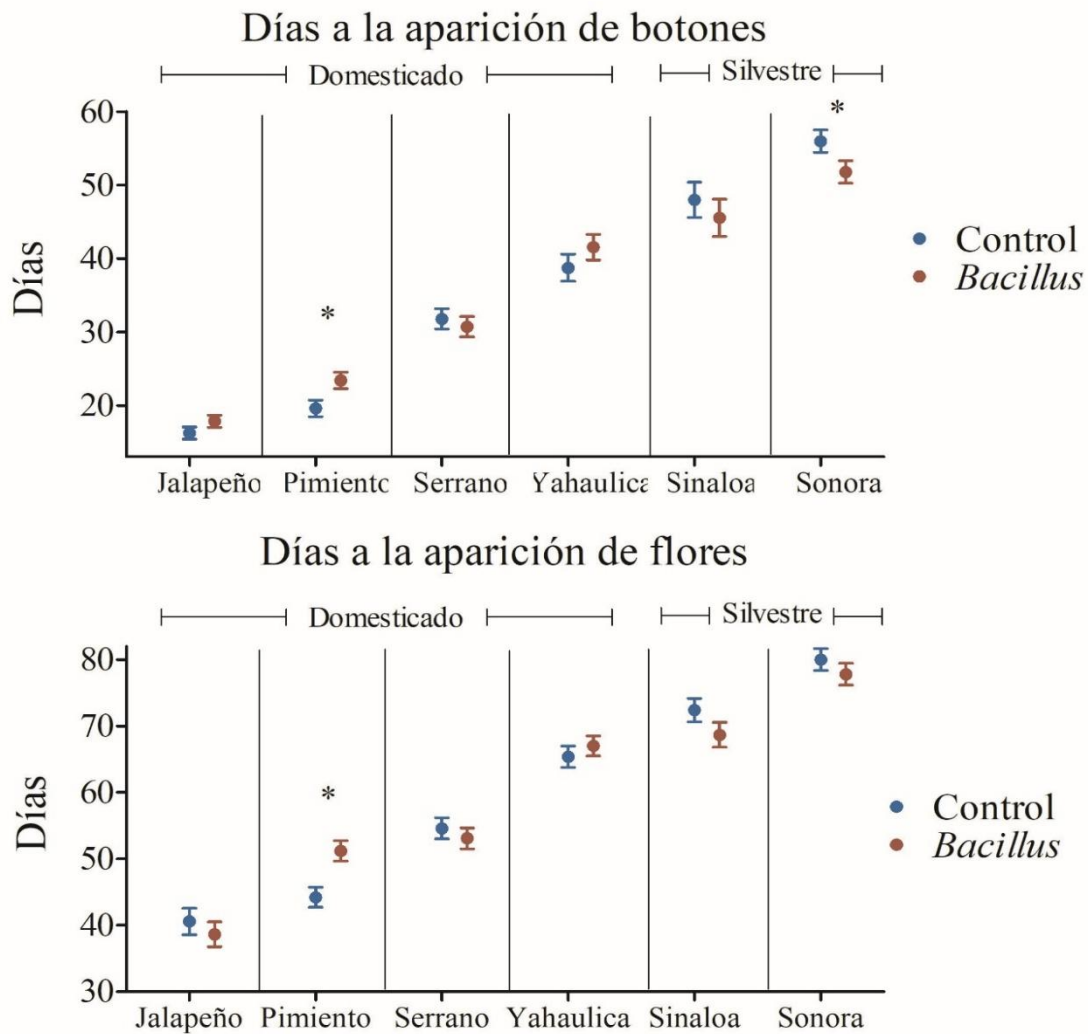


Figura 5. Días a la aparición (\pm error estándar) de estructuras reproductivas en plantas silvestres y domesticadas de Chile con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T. Se muestra los días que transcurrieron desde el inicio del tratamiento hasta la botonación (día en el que aparecen los botones florales) en el gráfico superior y a la floración en el gráfico inferior. El (*) representa una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$)

Tabla 6. Características reproductivas de chiles silvestres y domesticados con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T. Se muestra la biomasa fresca y seca de los frutos producidos, la fracción que corresponde a la biomasa total seca de la planta, el número de frutos y la biomasa seca promedio por fruto. No se encontraron diferencias significativas por el tratamiento de bacterias.

Estado de domesticación	Genotipo	Tratamiento	Biomasa fresca de frutos (gr)	Biomasa seca de frutos (gr)	Número de frutos	Biomasa promedio de fruto seco (gr)	Razón frutos: total (seco)	
Domesticada	Jalapeño	Control	83.53 ±6.4	13.66 ±0.9	15.0 ±2.1	0.95 ±0.11	0.14 ±0.01	
		<i>Bacillus</i>	81.75 ±6.4	13.68 ±0.9	13.8 ±2.1	1.15 ±0.11	0.16 ±0.01	
	Pimiento	Control	99.66 ±8.2	11.64 ±0.8	2.0 ±0.3	7.04 ±1.53	0.13 ±0.01	
		<i>Bacillus</i>	92.83 ±8.2	11.89 ±0.8	1.6 ±0.3	8.33 ±1.53	0.12 ±0.01	
	Serrano	Control	13.32 ±3.0	3.73 ±0.8	21.0 ±4.1	0.16 ±0.01	0.06 ±0.01	
		<i>Bacillus</i>	15.32 ±3.0	3.69 ±0.8	20.8 ±4.1	0.16 ±0.01	0.07 ±0.01	
	Yahualica	Control	14.86 ±3.2	3.95 ±0.8	8.6 ±2.0	0.45 ±0.06	0.04 ±0.01	
		<i>Bacillus</i>	20.47 ±3.2	5.05 ±0.8	10.5 ±2.0	0.55 ±0.06	0.06 ±0.01	
	Silvestres	Sinaloa	Control	14.01 ±1.4	4.24 ±0.4	38.2 ±3.4	0.11 ±0.00	0.04 ±0.00
			<i>Bacillus</i>	16.68 ±1.4	5.37 ±0.4	44.9 ±3.4	0.11 ±0.00	0.05 ±0.00
Sonora		Control	28.94 ±1.7	7.20 ±0.4	76.1 ±3.9	0.09 ±0.00	0.07 ±0.00	
		<i>Bacillus</i>	25.66 ±1.7	6.41 ±0.4	70.6 ±3.8	0.09 ±0.00	0.07 ±0.00	

Tabla 7. Resultados de las ANOVAS de dos vías de caracteres reproductivos tales como: días a la botonación, días a la floración, número de frutos y biomasa seca y fresca de los frutos. Se muestran los resultados de la ANOVA Genotipo × Tratamiento y Estado de Domesticación × Tratamiento para cada carácter analizado. Los resultados resaltados en negritas representan diferencias significativas ($p > 0.05$).

	Fuente de Variación	G.L.	S.C.	F	p
Días a botonación	Genotipo	5	17287.19	135.899	<0.0001
	Tratamiento	1	1604	0.063	0.80
	Genotipo × Tratamiento	5	247.75	19.476	0.09
	Estado de Domesticación	1	13619.905	221.063	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	22.191	0.3602	0.54
Días a floración	Genotipo	5	18207993	1449237	<0.0001
	Tratamiento	1	0.376	0.015	0.90
	Genotipo × Tratamiento	5	234873	18694	0.10
	Estado de Domesticación	1	15018.363	253.3339	<0.0001
	Est. Domesticación × tratamiento	1	15.839	0.2672	0.60
Número de frutos	Genotipo	5	61968951	1308058	<0.0001
	Tratamiento	1	1024	0.0108	0.91
	Genotipo × Tratamiento	5	397843	0.8398	0.52
	Estado de Domesticación	1	18921	36.2853	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	17.692	0.0339	0.85
Biomasa de frutos fresco	Genotipo	5	96385121	154778	<0.0001
	Tratamiento	1	1473	0.0118	0.91
	Genotipo × Tratamiento	5	392197	0.6298	0.67
	Estado de Domesticación	1	35996.181	49.8684	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	56.991	0.079	0.77
Biomasa de frutos seco	Genotipo	5	13560882	545519	<0.0001
	Tratamiento	1	19113	0.3844	0.53
	Genotipo × Tratamiento	5	13432	0.5403	0.74
	Estado de Domesticación	1	364.645	24.9572	<0.0001
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	1.194	0.0817	0.77

3.4 Resistencia contra herbívoros

En el primer ensayo, el índice de resistencia de las plantas en la primera hora no presentó diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento en ninguno de los genotipos utilizados en este experimento (Figura 6). Sin embargo, es posible notar cómo en la mayoría de los casos las plantas presentaron ligeramente más resistencia en el tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T (Tabla 9).

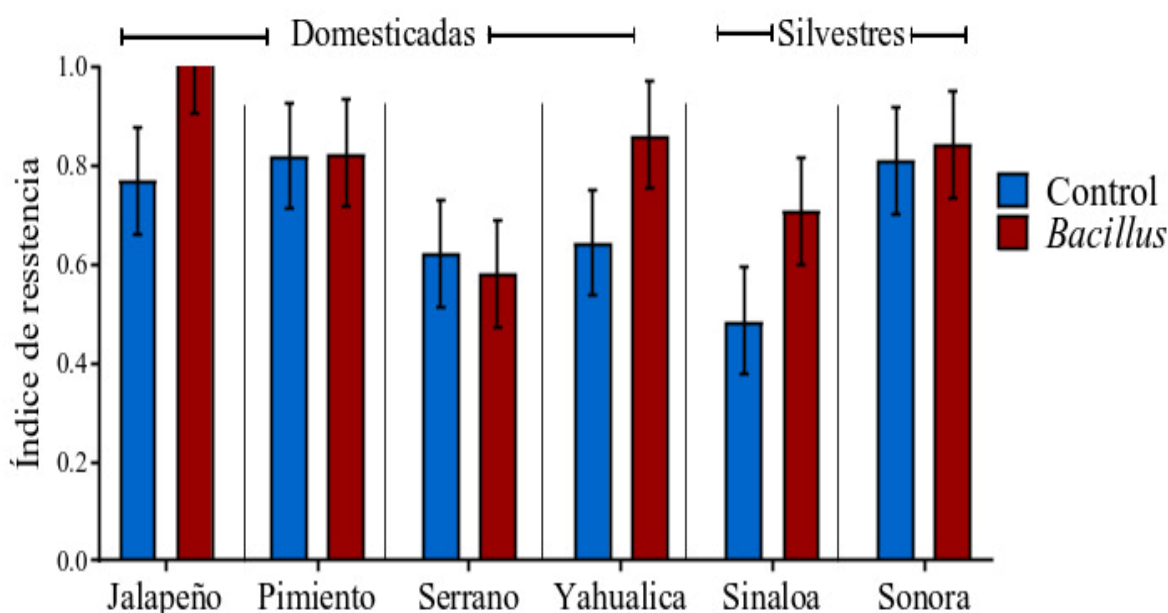


Figura 6. Índice de resistencia (\pm error estándar) de plantas a larvas de *S. frugiperda* en 1 hora después de un periodo de ayuno de 24 horas. Se alimentó a las larvas con 1.1 cm² de hojas de chiles silvestres y domesticados con tratamiento bacteriano (señalado de color rojo). No se presentan diferencias estadísticamente significativas en la resistencia de la primera hora tras el ayuno.

En la resistencia a los 10 días, se observó una gran diferencia en el genotipo domesticado Serrano, donde el tratamiento con la PGPB aumentó la resistencia un 57.65% (Figura 7). En ningún otro genotipo se observó una marcada diferencia por el tratamiento, y la tendencia a mayor resistencia en plantas con bacteria no se percibió en este periodo.

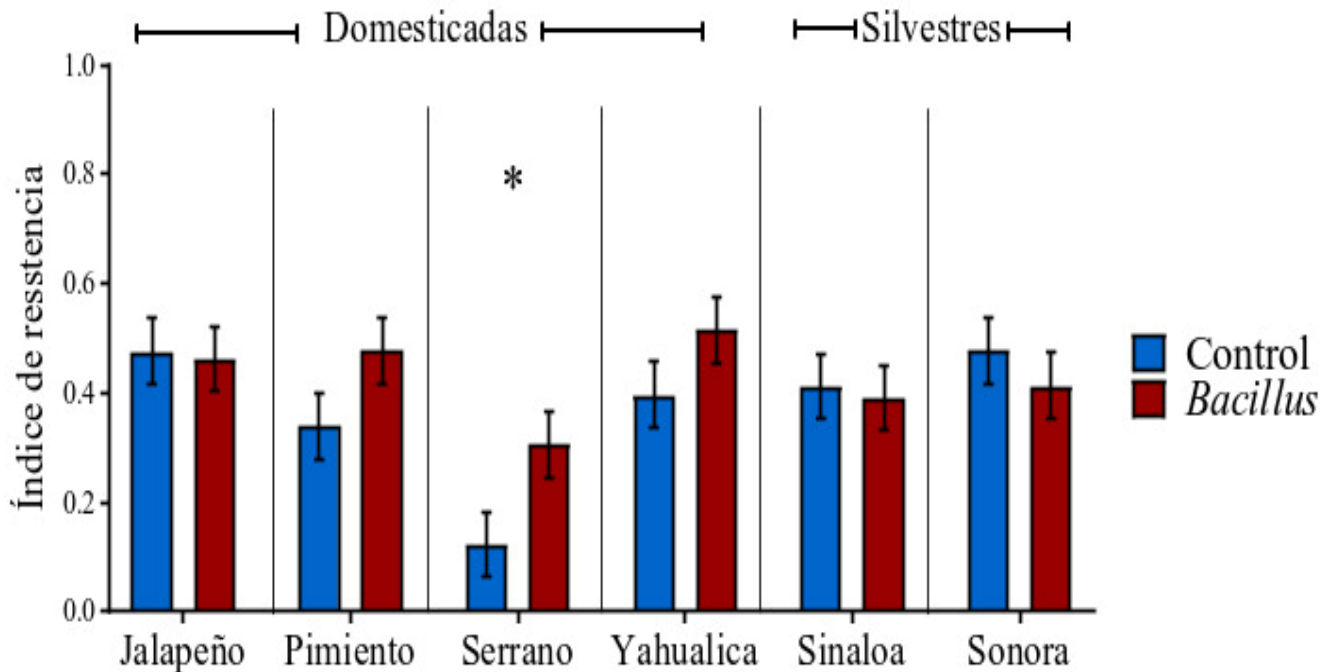


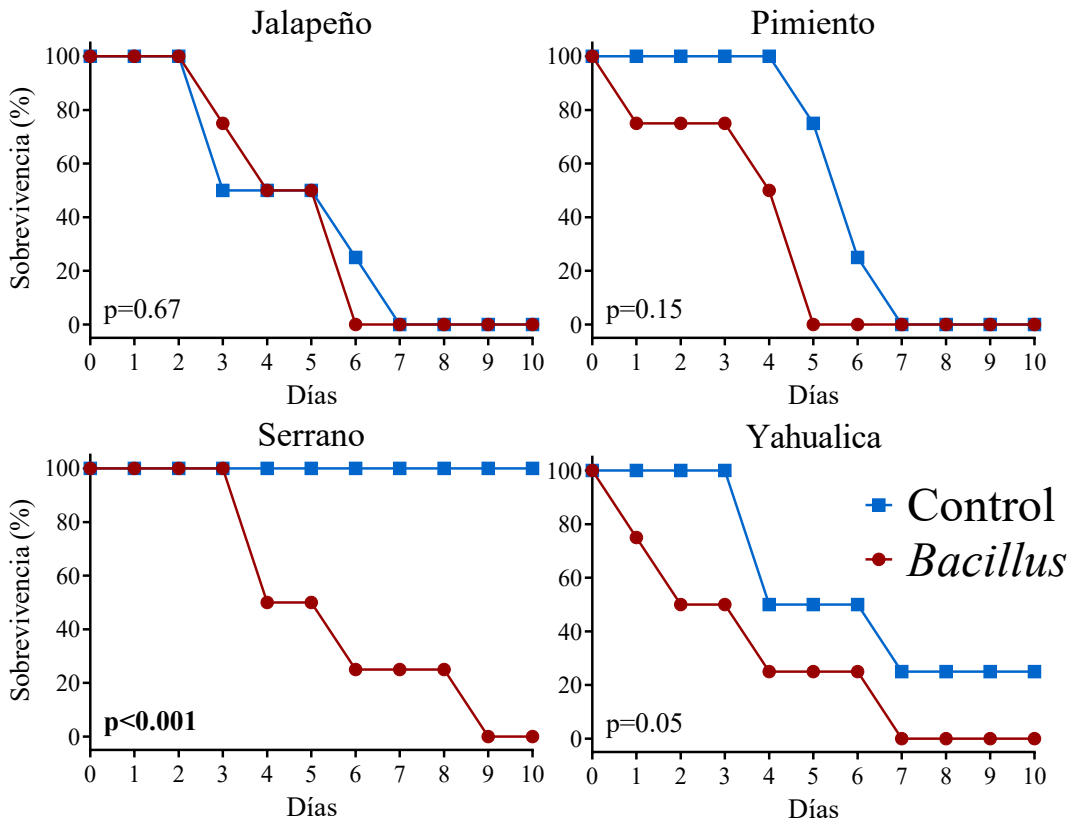
Figura 7. Índice de resistencia (\pm error estándar) de plantas a larvas de *S. frugiperda* en 10 días por larvas de *S. frugiperda* en 10 días, exclusivamente alimentado con 2.2 cm² diariamente de hojas de chiles silvestres y domesticados con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T (color rojo) y sin tratamiento (color azul). El (*) representa una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). Solo el genotipo domesticado Serrano se observa un consumo notoriamente menor en las larvas que fueron alimentadas con hojas de plantas tratadas.

El análisis de mortalidad de *S. frugiperda* brindó resultados similares a lo visto en las pruebas anteriores. El tratamiento con PGPB aumentó en un 43% la mortalidad de los herbívoros en el genotipo domesticado Serrano (Figura 8, Tabla 7). En el caso particular del genotipo domesticado de Yahualica solo una larva sobrevivió al final de los 10 días. En los demás genotipos no se observan diferencias por el tratamiento bacteriano.

Tabla 8. Tiempo de vida de larvas de *S. frugiperda* alimentadas con plantas silvestres y domesticadas de Chile con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T. Los valores remarcados en negritas corresponden a una diferencia significativa ($p < 0.05$) por el tratamiento bacteriano.

Estado de domesticación	Genotipo	Tratamiento	Tiempo vivo (días)
Domesticado	Jalapeño	Control	4.8 ±0.9
		<i>Bacillus</i>	4.8 ±0.9
	Pimiento	Control	6.0 ±0.7
		<i>Bacillus</i>	3.8 ±0.7
	Serrano	Control	10.0 ±0.8
		<i>Bacillus</i>	5.7 ±0.8
	Yahualica	Control	6.3 ±1.3
		<i>Bacillus</i>	3.5 ±1.3
Silvestre	Sinaloa	Control	5.0 ±1.0
		<i>Bacillus</i>	6.0 ±1.0
	Sonora	Control	4.0 ±0.7
		<i>Bacillus</i>	5.3 ±0.7

Domesticados



Silvestres

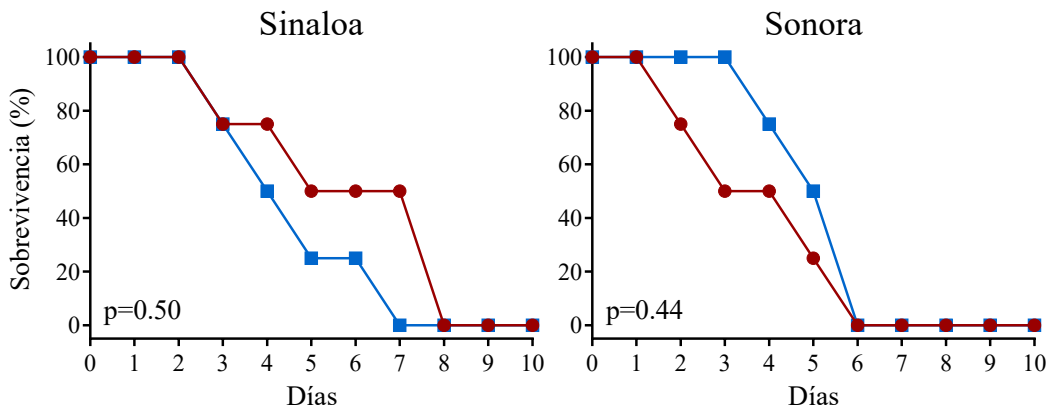


Figura 8. Sobrevivencia de *S. frugiperda* alimentado exclusivamente con hojas de chiles silvestres y domesticados con tratamiento de *B. cabrialesii* TE3^T (color rojo) y sin tratamiento (color azul). En la sección inferior izquierda se observa el valor de p de la regresión de supervivencia con riesgos proporcionales de Cox.

Tabla 9. Resultados de las ANOVAS de dos vías de caracteres de defensa tales como: días vivas larvas de *S. frugiperda*, índice de resistencia la primera hora y a los 10 días. Se muestran los resultados de la ANOVA Genotipo × Tratamiento y Estado de Domesticación × Tratamiento para cada carácter analizado. Los resultados resaltados en negritas representan diferencias significativas ($p > 0.05$).

	Fuente de Variación	G.L.	S.C.	F	p
Días de larvas vivas	Genotipo	5	61.667	3.2768	0.01
	Tratamiento	1	30.083	7.9926	0.007
	Genotipo × Tratamiento	5	36.416667	1.9351	0.11
	Estado de Domesticación	1	8.333333	1.6579	0.20
	Tratamiento	1	30.083333	5.9849	0.01
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	4.083333	0.8124	0.37
índice de resistencia 1 hora	Genotipo	5	0.6148932	26336	0.03
	Tratamiento	1	0.1546459	33117	0.62
	Genotipo × Tratamiento	5	0.1645443	0.7047	0.62
	Estado de Domesticación	1	0.02609	0.4761	0.49
	Tratamiento	1	0.154646	2.8223	0.10
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	0.023455	0.4281	0.51
índice de resistencia 10 días	Genotipo	5	61968951	1308058	<0.0001
	Tratamiento	1	1024	0.0108	0.91
	Genotipo × Tratamiento	5	397843	0.8398	0.52
	Estado de Domesticación	1	0.05927	2.9012	0.09
	Tratamiento	1	0.038715	1.8951	0.17
	Est. Domesticación × Tratamiento	1	0.025174	1.2322	0.27

3.5 Colonización endófitra

De acuerdo con los resultados de las PCR mostrados en los gels de agarosa (Figura 9) no se detectó la presencia del ADN de la bacteria en ninguno de los genotipos utilizados, independiente de su estado de domesticación. Este resultado sugiere que *B. cabrialesii* TE3^T no logró establecer una colonización endófitra en esta especie. La colonización se tendría que ver con una franja blanca similar a la vista en los carriles TE3^T (Figura 9).

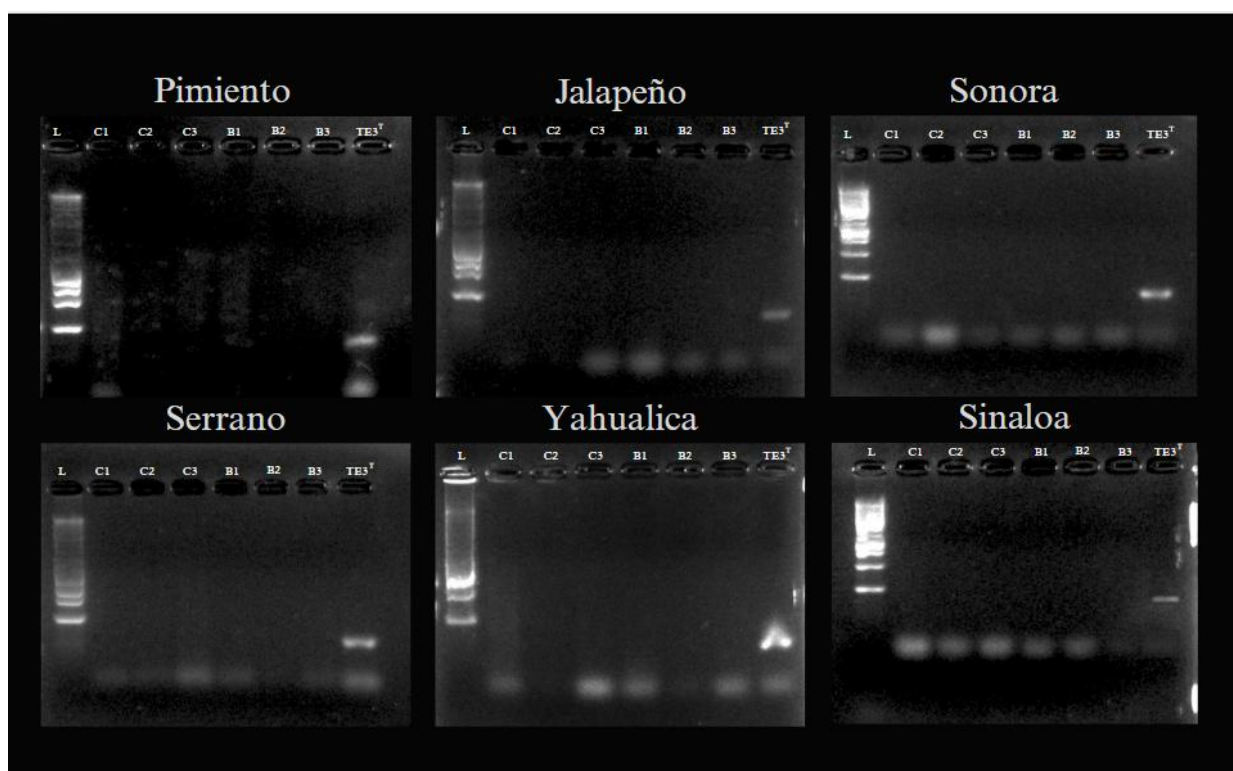


Figura 9. Resultado de la amplificación de un marcador específico para *B. cabrialesii* TE3^T. Se muestran los resultados para los 4 genotipos domesticados (izquierda y centro) y los 2 genotipos silvestres (derecha). En cada gel se muestra: (L) Escalera comercial de 1k pares de base; (C1, C2, C3) es ADN en plantas del tratamiento control; (B1, B2, B3) es ADN de plantas inoculadas con la bacteria; el carril (TE3^T) es ADN purificado de *B. cabrialesii* TE3^T. Todas las pruebas se realizaron en gel de agarosa 1.5% con 85 v por 40 minutos.

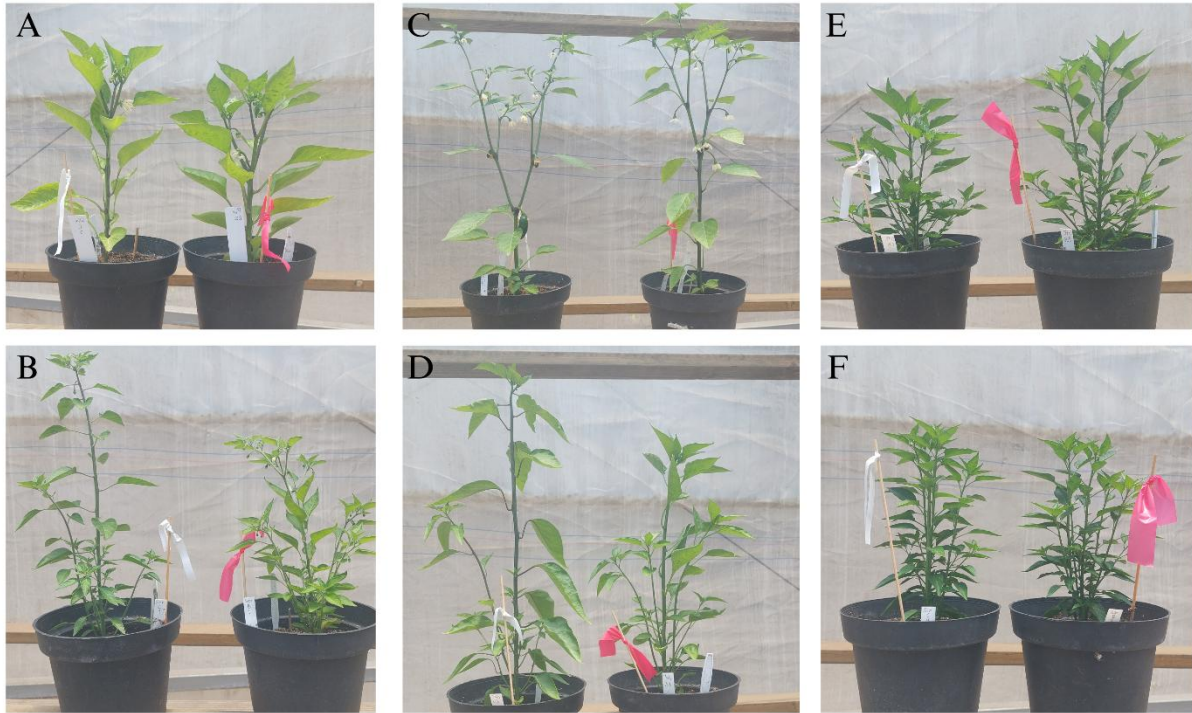


Figura 10. Plantas de chile a los 60 días desde el inicio del tratamiento. En cada fotografía se observa el tratamiento control a la izquierda (marcado con un listón blanco) y el tratamiento con *B. cabrialesii* TE3^T a la derecha (marcado con un listón rojo). Las fotografías de la derecha y del centro corresponden a chiles domesticados: (A) Pimiento, (B) Serrano, (C) Jalapeño y (D) Yahualica. Las fotografías de la izquierda corresponden a los genotipos silvestres (E) Sonora y (F) Sinaloa.

4. Discusión

Este estudio evaluó si la domesticación reduce la habilidad de *Capsicum annuum* para interactuar con *B. cabrialesii* TE3^T. Los resultados fueron variables entre genotipos. En los silvestres, solo el genotipo Sinaloa mostró incrementos tempranos en crecimiento y contenido de clorofila, mientras que en los genotipos domesticados (Yahualica y Pimiento) se observaron reducciones parciales en clorofila y, en Serrano, un aumento en la resistencia a herbívoros. La biomasa total y el contenido de fenoles no se vieron afectados en ningún genotipo, lo que sugiere que la asignación de biomasa y la producción de metabolitos primarios y secundarios no fueron inducidas por la presencia de la bacteria en el suelo (Tabla 3, Figura 2). En conjunto, la respuesta dependió más del genotipo que del estado silvestre o domesticado, lo que indica que la domesticación no reduce de manera uniforme la capacidad de interactuar con bacterias

4.1 Efecto de la domesticación en la interacción planta-bacteria

El primer objetivo de este estudio fue determinar si las plantas silvestres de Chile responden mejor a la presencia de *B. cabrialesii* TE3^T en el suelo. La evidencia previa de que las plantas silvestres favorecen interacciones más eficientes con microorganismos benéficos se lleva evaluando desde la década pasada con una serie de resultados bastante diversos (Gutiérrez & Grillo, 2022). Esta hipótesis tiene como fundamento que la domesticación modifica genética y fenotípicamente los cultivares en comparación a sus parientes silvestres (Pérez-Jaramillo et al., 2016). En este estudio, se analizaron características vinculadas a la acción de PGPB, como el crecimiento y resistencia vegetal se observó que el estado de domesticación de *C. annuum* no influyó significativamente cuando se inoculó con *B. cabrialesii* TE3^T.

Spor et al., (2020) demostraron que la diversidad bacteriana es muy similar entre plantas silvestres y domesticadas de una misma especie, lo que coincide con lo reportado por Wang et al., (2024) quienes encontraron que el ensamblaje microbiano entre genotipos silvestres y

domesticados de *Capsicum frutescens* es semejante en un 75%. En el caso de particular de *B. cabrialesii* se ha reportado su presencia en cultivos de chile domesticados (Pawaskar et al., 2022). Si bien, Spor et al., (2020) mencionan diferencias en el número de UFC provoca la diferencia entre genotipos, en este estudio se aseguró experimentalmente la presencia de *B. cabrialesii* TE3^T en la rizosfera

Por su parte, Wang et al., (2024) señalan que las diferencias funcionales residen más en la especialización metabólica del rizobioma que en las plantas mismas. Las bacterias asociadas a cultivos domesticados suelen favorecer la productividad, mientras que las de genotipos silvestres contribuyen más a la defensa vegetal. Estas mismas diferencias de funcionalidad del rizobioma fueron exploradas en otras especies en la revisión que hace Gutierrez & Grillo (2022) reforzando la idea de que el efecto de la domesticación sobre las interacciones planta–microorganismo es variable entre especies.

La literatura sobre *Bacillus subtilis.*, ancestro evolutivo de *B. cabrialesii* (Chávez-Luzanía et al., 2022) muestra resultados positivos en plantas de chile domesticadas. Lara-Capistrán et al., (2020) y Gomez-Raymundo et al., (2025) reportaron efectos positivos en el desarrollo vegetativo por el tratamiento bacteriano, utilizando Pimiento y Serrano respectivamente. Jaiswal et al. (2020) documentaron que en otras solanáceas domesticadas los beneficios de las micorrizas se reducen, aunque no desaparecen, lo que sugiere que las plantas domesticadas pueden mantener cierta capacidad de respuesta a microorganismos benéficos. En conjunto, estos antecedentes y nuestros resultados indican que la interacción entre *Capsicum* y PGPB es heterogénea e independiente del estado de domesticación, coincidiendo con lo observado en este estudio.

4.2 *B. cabrialesii* en el desarrollo vegetativo y fisiológico

B. cabrialesii TE3^T ha sido caracterizada como una PGPB destacada por su capacidad para incrementar el volumen vegetal en un 20.8% en plantas de trigo, así como por su producción

de índoles (1.4 ± 0.1 ppm) y su habilidad para solubilizar fosfatos ($43.1 \pm 1.7\%$) en pruebas de laboratorio (Valenzuela-Aragón et al., 2019). En el mismo cultivo, el efecto que tiene *B. cabrialesii* TE3^T en desarrollo vegetativo es notoriamente positivo, incrementando el tamaño de la parte aérea y radicular, así como en el peso seco de las espigas (Robles Montoya et al., 2020). Sin embargo, estos resultados contrastan con los obtenidos en este estudio (Tabla 4), donde ni los genotipos silvestres ni los domesticados de *C. annuum* mostraron diferencias en biomasa por efecto de la inoculación.

Diversos estudios (Gómez-Raymundo et al., 2025; Lara-Capistrán et al., 2020; Mendoza-Alatorre et al., 2024) han reportado efectos mixtos del grupo *B. subtilis* sobre el desarrollo vegetal. En general, se observan respuestas ligeramente positivas en biomasa fresca y longitud de raíz, pero sin diferencias significativas en la biomasa seca ni en el índice de biovolumen. Estos autores atribuyen los efectos observados a una mayor asimilación de nutrientes por parte de la planta, fenómeno que coincide con la actividad metabólica de *B. cabrialesii* TE3^T. No obstante, en nuestros resultados este efecto no se reflejó estadísticamente, ya que la biomasa total, aérea y radicular no difirió entre tratamientos. Aun así, en el genotipo silvestre de Sinaloa se detectó un aumento en la tasa de crecimiento durante los primeros 20 días (Tabla 1) y un incremento en el contenido de clorofila en las tres primeras semanas (Figura 3), lo que sugiere que el efecto de la bacteria puede manifestarse solo en las etapas tempranas de desarrollo. Werner et al. (2018) atribuyen este patrón al equilibrio costo–beneficio de las interacciones biológicas: en plantas jóvenes los beneficios de la asociación superan el costo energético de mantener el ambiente favorable a las bacterias, pero este balance se reduce conforme la planta madura.

La clorofila y los fenoles se utilizaron como indicadores de la actividad fisiológica. En la prueba de desarrollo de clorofila, solo el genotipo domesticado Pimiento mostró un resultado significativo (Figura 3), con un aumento continuo en el tratamiento con *B. cabrialesii* TE3^T,

mientras que las plantas control dejaron de incrementar su contenido En los demás genotipos no se observaron cambios por la presencia de la bacteria. Sin embargo, en Yahualica y Pimiento el efecto fue contrario al esperado, con reducciones parciales en la clorofila durante ciertas semanas. El contenido de fenoles tampoco difirió significativamente en ningún genotipo (Figura 4), lo cual coincide con lo reportado por Zhang et al. (2024) y Cisternas-Jamet et al. (2020) al evaluar distintas bacterias en plantas de té y chile respectivamente, se encontró que no hay diferencia en la producción de compuestos fenólicos ni en la clorofila. Liu et al. (2021) explica que esta falta de respuesta puede deberse a diferencias en la relación nitrógeno-carbono, ya que las bacterias captan nitrógeno y la planta libera carbono, afectando la producción de metabolitos secundarios. De igual manera, Ayala-Zepeda et al. (2024) reportan que *B. cabrialesii* TE3^T posee genes relacionados con la adquisición de nitrógeno y hierro, lo cual podría modificar la disponibilidad de estos elementos.

El aumento en la clorofila reportado originalmente por Valenzuela-Aragón et al. (2019) en trigo a los 60 días fue solo una tendencia no significativa, lo que coincide con nuestros resultados al no encontrar diferencias estadísticas, aunque en Yahualica se percibe un ligero incremento en esa etapa. Mendoza-Alatorre et al. (2024) y Cisternas-Jamet et al. (2020) reportaron resultados similares en chile, donde la inoculación con *Bacillus* spp. no aumentó la clorofila bajo condiciones óptimas de crecimiento. En contraste, Samaniego-Gómez et al. (2016) por su parte evalúa la capacidad fotosintética de otra especie de *Capsicum* con un consorcio de *Bacillus* spp. y encontraron que estas bacterias que aumenta la clorofila a los 145 días Aunque la capacidad de *B. cabrialesii* TE3^T para adquirir hierro solo se ha descrito a partir de su genoma, esta podría explicar las reducciones observadas en clorofila, ya que el hierro es un cofactor esencial para la síntesis de pigmentos fotosintéticos (Taiz et al., 2010). En conjunto, los efectos positivos se concentraron en las primeras semanas de desarrollo del chile silvestre de Sinaloa, mientras que en los demás genotipos no se observaron cambios.

4.3 Características reproductivas

La domesticación del chile se ha centrado en la modificación del fruto y de los ciclos reproductivos, por lo que estos rasgos son relevantes para evaluar si *B. cabrialesii* TE3^T tiene efectos sobre la fenología y la producción (Tabla 7). En nuestros resultados, el tratamiento afectó la botonación únicamente en el genotipo domesticado Pimiento y en la población silvestre de Sonora, pero con tendencias opuestas: en Pimiento se observó un retraso en la aparición de botones, mientras que en Sonora los botones aparecieron de forma adelantada. Al considerar la floración, la población de Sonora dejó de mostrar un efecto significativo, pero en Pimiento el retraso se mantuvo. Las diferencias en fenología inducidas por PGPB se han asociado a cambios en fitohormonas y la expresión génica. En *Arabidopsis thaliana*, por ejemplo, se ha reportado que bacterias benéficas inducen una floración más temprana y una senescencia foliar prematura en comparación con plantas no inoculadas. (Poupin et al. 2013). Se explican las diferencias en la fenología como resultado de los cambios en las fitohormonas provocado por la expresión de ciertos genes. Esta idea concuerda con lo mencionado por Ayala-Zepeda et al. (2024) muestran en pruebas de campo que consorcios que incluyen *B. cabrialesii* TE3^T modifican ciclos fisiológicos mediante la regulación de genes relacionados con la producción de fitohormonas (*i.e.* giberelinas). En este estudio, una explicación plausible es que la interacción microbiana altere temporalmente el balance hormonal o la disponibilidad de nutrientes, provocando tanto retrasos (como en Pimiento) como aceleraciones (como en Sonora) según el genotipo y su fisiología.

Los cambios en la fenología no siempre implican una ventaja agronómica; la teoría de la tasa de vida indica que una aceleración del metabolismo puede acarrear costos en reproducción y longevidad (Metcalf, 2003). Esto podría explicar por qué, aunque Sonora mostró adelanto en botonación, muchos botones no llegaron a flores maduras en nuestro experimento. Por otro

lado, Glick (2012) propone que algunas bacterias, al mejorar el uso de nutrientes, pueden prolongar la fase vegetativa, lo cual concuerda con la observación de un aumento sostenido de clorofila en plantas inoculadas (Figura 3) y con la extensión de la etapa de crecimiento reportada por Souza et al. (2021).

Respecto a la producción de frutos, estudios previos han mostrado que los efectos de *B. cabrialesii* o de consorcios que lo incluyen pueden incrementar la productividad en cultivos como trigo (Ibarra-Villarreal et al., 2023). No obstante, en nuestros datos el número de frutos, la biomasa fresca y seca total, la biomasa promedio por fruto y la relación de biomasa de frutos con la biomasa total no difirieron por el tratamiento (Tabla 7). Esto coincide con informes en Chile donde la biomasa promedio por fruto no cambia con inoculación por *Bacillus*, aunque en algunos casos aumenta el número de frutos cosechados (Gómez-Raymundo et al., 2025; Gamboa-Angulo et al., 2020). Asimismo, estudios en tomate con *B. cabrialesii* y en otros sistemas muestran que el efecto de las PGPB en productividad resulta más evidente bajo condiciones de estrés (Masmoudi et al., 2025; Kazerooni et al., 2021; Mendoza-Alatorre et al., 2024; Zhou et al., 2021).

En conjunto, los resultados indican que *B. cabrialesii* TE3^T puede alterar la fenología en genotipos particulares (p. ej. Pimiento) y mostrar efectos tempranos en genotipos silvestres (p. ej. Sonora), pero que no hay un impacto generalizado sobre la producción de frutos en condiciones de cultivo controladas.

4.4 Cambios en la resistencia contra herbívoros

En este trabajo se evaluó la capacidad de *B. cabrialesii* TE3^T para activar las rutas de señalización asociadas a la resistencia sistémica inducida (ISR, por sus siglas en inglés *Induced Systemic Resistance*). Los resultados mostraron que, en los genotipos silvestres de Chile, no hubo diferencias significativas atribuibles a la acción de la bacteria (Figura 7). Este hallazgo es congruente con lo reportado por Peiró-Nuño (2021) y Serrano-Mejía et al. (2022), quienes

señalan que las plantas silvestres, debido a características morfológicas como una alta densidad de tricomas, reducen drásticamente la supervivencia de las larvas de *Spodoptera frugiperda*. Estos mismos autores también mencionan que las tasas de consumo de hoja son estadísticamente distintas entre plantas silvestres y domesticadas, como se observa en nuestros resultados (Figura 7). En conjunto, estos datos sugieren que, independientemente del tratamiento bacteriano, las cualidades propias de las plantas silvestres son suficientes para generar antibiosis frente a los herbívoros.

Por otra parte, las variedades domesticadas, que suelen presentar menor resistencia a los herbívoros (Peiró-Nuño, 2021), permitieron observar de forma más clara los efectos del tratamiento bacteriano. En nuestros resultados, únicamente el genotipo domesticado Serrano mostró un aumento significativo en la resistencia ante *S. frugiperda* (Figura 7, Figura 8, Tabla 9). Esta diferencia fue notoria, ya que en la población control (sin bacteria) todas las larvas sobrevivieron durante los diez días del experimento, mientras que en las plantas tratadas con *B. cabrialesii* TE3^T se observó una mortalidad más temprana. Este experimento constituye la primera evidencia in vivo que evalúa la influencia de *B. cabrialesii* TE3^T sobre la resistencia a herbívoros. La función defensiva de *B. cabrialesii* TE3^T ya se había explorado frente a fitopatógenos, con resultados positivos (Montoya-Martínez et al., 2023; Zhou et al., 2021). De acuerdo con Ayala-Zepeda et al. (2024), el genoma de *B. cabrialesii* TE3^T contiene los genes necesarios para activar la ISR en plantas, lo cual apoya que el efecto observado en Serrano puede tener base molecular. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con fitopatógenos, los demás genotipos domesticados no mostraron una respuesta similar frente a herbívoros. Pennington y Shikano (2024) reportaron un patrón comparable al evaluar *B. subtilis* QST 713: la bacteria actuó eficazmente como agente de control biológico (BCA) contra hongos, pero no redujo el consumo de hojas por larvas de *Spodoptera exigua*.

Walters y Heil (2007) explican que las defensas inducidas por PGPB suelen ser menos efectivas contra insectos herbívoros que frente a patógenos, debido al mayor costo energético de mantener mecanismos de antibiosis química. No obstante, nuestros resultados de fenoles (Figura 4) no respaldan esa idea, ya que no se observaron incrementos en la producción de compuestos fenólicos. Aun así, se aprecia una tendencia general: las poblaciones de herbívoros alimentadas con plantas inoculadas mostraron una mortalidad ligeramente más temprana. Estudios con mayor número de réplicas o de mayor duración podrían aclarar si este efecto refleja una defensa inducida parcial o un fenómeno transitorio.

4.5 Colonización endófitica de *B. cabrialesii* en Chile.

Este es el primer estudio que evalúa la colonización endófitica de *B. cabrialesii* TE3^T en plantas de Chile. Esta bacteria fue aislada originalmente de la rizosfera asociada a plantas de trigo (*Triticum turgidum*) (Valenzuela-Aragón et al., 2019), donde se ha demostrado su capacidad de biocontrol y colonización en el tejido foliar de esta misma especie (Villa-Rodríguez et al., 2019), lo que la clasifica como una bacteria endófitica. Sin embargo, tras la extracción y amplificación de los marcadores moleculares específicos para *B. cabrialesii* TE3^T, no se encontró evidencia de que logre colonizar endofíticamente las plantas de Chile. Esto sugiere que los efectos observados en este estudio se deben principalmente a su actividad en la rizosfera.

El trabajo de Rojas-Padilla et al. (2020) también evaluó a *B. cabrialesii* TE3^T como promotora del crecimiento mediante actividad rizosférica, por lo que se puede inferir que su principal acción es a través de la liberación de metabolitos al suelo que son posteriormente absorbidos por las raíces. Además del trigo, *B. cabrialesii* TE3^T se ha detectado como endófitica en raíces de papa, otra solanácea (Valenzuela-Aragón et al., 2024), lo que sugiere que su

colonización endófitas podría estar asociada a tejidos ricos en almidón, los cuales funcionan como fuente de carbono para el establecimiento bacteriano.

Por otro lado, aunque no se detectó colonización endófitas en *C. annuum*, existen reportes de otras cepas del grupo *B. subtilis* que sí logran establecerse dentro de los tejidos del chile, como las cepas ITC-BL14 (Peña-Yam et al., 2016) y CaB5 (Basheer et al., 2019). Esto indica que no existe un impedimento general para la colonización endófitas del género *Bacillus* en Chile, sino que puede tratarse de una falta de compatibilidad específica entre *B. cabrialesii* TE3^T y *C. annuum*.

4.6 Microbioma del suelo e implicaciones ecológicas.

Durante la realización de este proyecto, se puede notar en los resultados que, aunque hay ciertos datos donde se aprecia un efecto por el tratamiento, la mayoría de los resultados no exhiben cambios la inoculación, independientemente del estado de domesticación. Esta situación acarrea la necesidad de discutir las posibilidades de que no se haya observado cambios aun teniendo basta literatura a favor del uso de bacterias promotoras del crecimiento del género *Bacillus* spp. Lo primero es sobre la compatibilidad de *B. cabrialesii* TE3^T con los genotipos de *C. annuum*; *B. cabrialesii* TE3^T es originalmente aislada de una parcela agrícola que llevaba 40 años siendo utilizado para crecer únicamente trigo (*Triticum turgidum*) (Valenzuela-Aragón et al., 2019). La mayoría de los experimentos *in vivo* de la capacidad de esta bacteria como promotora de crecimiento se ha realizado en trigo (Ayala-Zepeda et al., 2024; de los Santos Villalobos et al., 2019; Figueroa-Brambila et al., 2023; Robles Montoya et al., 2020). Los pocos estudios que han utilizado esta cepa con otras plantas son experimentos *in vitro* de biocontrol contra fitopatógenos aislados de Solanáceas como es el caso de la papa (Valenzuela-Aragón et al., 2024) o del Chile jalapeño (Montoya-Martínez et al., 2023), pero sin estar relacionado con el crecimiento vegetativo. Otras cepas de *B. cabrialesii* que se han utilizado en experimentos de crecimientos en otras especies son la cepa BH5 en tomate (Zhou et al., 2021),

la cepa BIK3 en arroz (Kanban et al., 2021) o la cepa MPSK109 en Chile (Payasear et al., 2022). La cepa TE3^T puede no ser totalmente compatible con *C. annuum*, respaldada por lo publicado por Pedraza et al. (2020) quienes mencionan para que se dé la interacción de *Bacillus* spp con la planta huésped debe haber una especificidad en los exudados que esta provee al ambiente. La cualidad de generalista de los microorganismos benéficos con las plantas ha sido discutido, aunque se menciona a las que todos los organismos del suelo pueden colonizar las plantas (Santoyo et al., 2021; Vandenkoornhuyse et al., 2015), autores como Cordovez et al. (2019), Gutierrez & Grillo (2022), Hartlova et al. (2011) mencionan que estas relaciones son más complejas, ya que se ha demostrado que la afinidad taxonómica y la comunicación química determina cuáles y que cantidad de bacterias pueden crear relaciones mutualistas. Hannula et al. (2021) mencionan que la práctica de los monocultivos prolongados (como los que se ha expuesto *B. cabrialesii* TE3^T y el trigo) alteran la retroalimentación que pueda tener esta bacteria con otras plantas. La comunicación efectiva planta-bacteria puede estar mediada por una serie de adaptaciones locales que puede dar indicios de una co-evolución (Wang et al., 2024). En nuestro caso, puede que el hecho de que no se haya observado efectos tan marcados por la bacteria puede indicar que aunque *B. cabrialesii* TE3^T tiene acción generalista, está más adaptada para ser una PGPB de trigos.

Otro aspecto que se debe considerar es la acción de una sola bacteria en comparación a la de un consorcio de bacterias compatibles. Como señala Santoyo et al. (2021), el uso de dos o más especies de bacterias o cepas afines puede generar efectos sinérgicos debido a la compatibilidad y compensación metabólica entre ellas, lo que resulta en beneficios aditivos a los que una sola bacteria puede proporcionar. Esta perspectiva se basa en la concepción del microbioma como una unidad biológica funcional, y no simplemente como un conjunto de bacterias individuales (Vandenkoornhuyse et al., 2015). En el *review* de Brenner et al. (2008) se abordan los beneficios funcionales de los consorcios frente a las bacterias individualmente.

Entre las ventajas se incluye la capacidad de los metabolitos a ayudar a otras bacterias en términos nutricionales, el aumento de la actividad enzimática y la facilitación de la comunicación microorganismo que permite la coordinación en procesos como degradación de sustancias complejas (*i.e* celulosa o contaminantes). Estudios como los de Ju et al. (2019) o Sharma et al. (2020) han demostrado que los consorcios (o co-inoculaciones) tienen resultados más notables en comparación a las inoculaciones individuales. El efecto potenciado por la combinación de bacterias afines también se evaluó en *B. cabrialesii* TE3^T donde la forma más efectiva de usar esta bacteria es en un consorcio con otras PGPB nativas del valle de Yaqui tales como *Priestia megaterium* TRQ8, *Bacillus paralicheniformis* TRQ65, y *P. megaterium* TSO9 (Robles Montoya et al., 2020). Al comparar los efectos en plantas de trigo, se observa que la inoculación únicamente de *B. cabrialesii* TE3^T (Valenzuela-Aragon et al., 2019) tiene menor impacto que el del consorcio con bacterias afines a *B. cabrialesii* TE3^T del estudio de Robles Montoya et al. (2020) (Tabla 5). De manera similar podemos ver en los estudios de Lara-Capistrán et al. (2020), o Gomez-Raymundo et al., (2025) que la acción conjunta de PGPB con otro elemento como vermicomposta o quitosano (fuentes de carbono para las bacterias) tienen mejores resultados en el crecimiento vegetal que solamente la bacteria. Si bien los consorcios tienden a mejorar las cualidades de las PGPB, Sutariati et al. (2022) demostró que en Chile los beneficios que trae la inoculación de solo una cepa *Bacillus* no difiere mucho de los beneficios con dos o más bacterias combinadas. Esta situación nos lleva a razonar que las condiciones controladas del sustrato no son totalmente comparables con las que pueden ocurrir en un campo abierto donde interactúan más microorganismos y elementos que afectan la actividad de las bacterias.

Tabla 10 . Comparación de los cambios porcentuales con respecto al control en plantas de trigo inoculadas con *B. cabrialesii* TE3^T y con un consorcio de bacterias nativas donde se encuentra *B. cabrialesii* TE3^T

Rasgo	Inoculado únicamente con <i>B. cabrialesii</i> TE3 ^T	Inoculado con consorcio de bacterias afines
Altura del tallo (cm)	+ 5.67 %	+ 28.45%
Longitud de raíz (cm)	- 0.77 %	+ 25.91 %
Diámetro del tallo (mm)	+ 72.09 %	+ 46.66 %
Peso seco aéreo (g)	+ 10.00 %	+ 72.00 %
Peso seco raíz (g)	+ 11.11%	+ 60.00 %

Por último, la relación costo–beneficio para la planta debe considerarse al interpretar los resultados. Como se observó, el efecto de *B. cabrialesii* TE3^T fue más notable en las etapas tempranas, lo cual concuerda con lo reportado por Werner et al. (2018), quienes señalan que los beneficios del mutualismo pueden superar los costos energéticos iniciales, pero tienden a disminuir conforme la planta madura. Esta reducción podría deberse a la competencia por recursos entre la planta y el microbioma. De acuerdo con Jones et al. (2009), los microorganismos del suelo pueden utilizar hasta 30 % del carbono liberado por las raíces, mientras que Richardson et al. (2009) destacan que las bacterias, aunque favorecen la solubilización de nutrientes, también consumen nitrógeno y fósforo. En este estudio se aplicaron ocho inoculaciones de 1×10^6 UFC, lo que pudo incrementar la demanda de recursos y reducir el beneficio neto para la planta. Singh y Wesemael (2022) demostraron que dosis altas o repetidas de PGPB (1×10^8 UFC) pueden generar efectos adversos similares. Diversos estudios indican que estos costos solo se compensan bajo condiciones de estrés. Por ejemplo, *Bacillus* spp. ha mostrado efectos positivos bajo déficit hídrico (Mendoza-Alatorre et al., 2024), presencia de hongos fitopatógenos (Zhou et al., 2021) o suelos salinos y contaminados con metales pesados (Kazerooni et al., 2021). En estos contextos, las bacterias incrementan la tolerancia de las plantas, mientras que en condiciones óptimas sus beneficios tienden a ser

mínimos. Kumar et al. (2019) resumen este patrón al señalar que el mutualismo se optimiza cuando el ambiente justifica el costo metabólico que implica mantener la asociación. En nuestro caso, el experimento se realizó bajo condiciones controladas y sin estrés nutricional o ambiental, lo que probablemente explica la ausencia de efectos significativos en rasgos como biomasa o fenoles. Así, mantener una población bacteriana elevada pudo representar un costo neto sin beneficios compensatorios.

5. Conclusiones

Este es el primer estudio que evalúa los cambios en la interacción planta-bacteria que tienen los cultivares de chiles mexicanos en contraste a poblaciones silvestres utilizando una bacteria promotora del crecimiento de importancia científica y comercial. Si bien, no hubo un efecto significativo de *B. cabrialesii* TE3^T en todos los rasgos evaluados, podemos apreciar que los efectos se encuentran en genotipos silvestres y domesticados, sin evidenciar un patrón diferenciado entre grupos. Debido a la magnitud limitada del efecto observado, los datos actuales no permiten confirmar ni refutar la hipótesis planteada. No obstante, los resultados más relevantes se observaron principalmente en las primeras etapas del desarrollo vegetativo y fisiológicos así como en la resistencia contra herbívoros. Por su parte, no se detectaron efectos significativos en los frutos de esta especie, resaltando las capacidades y limitaciones de esta bacteria en plantas de chiles para considerar en los manejos de este cultivo.

5.1 Perspectivas futuras.

En este estudio demuestra que las interacciones plantas-microorganismos son complejas y se deben considerar una serie de factores bióticos y abióticos. En futuras investigaciones se propone el uso de consorcios bacterianos para emular un ambiente más cercano donde crece o se cultiva esta planta e interactuar múltiples microorganismos, utilizar mayor número de herbívoros para aclarar los efectos en la tolerancia, donde fue que se vio un efecto más notorio, y considerar situaciones de estrés ambiental donde los beneficios mutualistas podrían ser más evidentes y relevantes.

6. Bibliografía.

- Afzal, I., Shinwari, Z. K., Sikandar, S., & Shahzad, S. (2019). Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. In *Microbiological Research* (Vol. 221, pp. 36–49). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.02.001>
- Aguilar-Rincón, V., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villalón-Mendoza, H., & Aguilar-Castillo, J. (2010). Los chiles de México y su distribución (1st ed.). *SINAREFI*, INFAP.
- Aguirre-Hernández, E., & Muñoz-Ocotero, V. (2015, July). El CHILE como alimento. *Ciencia. Uso de Plantas Mexicanas*, 66, 16–23.
- Arvizu-Díaz, E. E. (2021). Metabolómica de la defensa contra herbívoros en chiles mexicanos *Capsicum annuum* [Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3622>
- Ayala-Zepeda, M., Valenzuela-Ruiz, V., Parra-Cota, F. I., Chinchilla-Soto, C., de la Cruz Torres, E., Ibba, M. I., Estrada Alvarado, M. I., & de los Santos Villalobos, S. (2024). Genomic insights of a native bacterial consortium for wheat production sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100230>
- Basheer, J., Ravi, A., Mathew, J., & Krishnankutty, R. E. (2019). Assessment of Plant-Probiotic Performance of Novel Endophytic *Bacillus* sp. in Talc-Based Formulation. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 11(1), 256–263. <https://doi.org/10.1007/s12602-018-9386-y>
- Brenner, K., You, L., & Arnold, F. H. (2008). Engineering microbial consortia: a new frontier in synthetic biology. *Trends in Biotechnology*, 26(9), 483–489. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.05.004>
- Campisano, A., Pancher, M., Puopolo, G., Puddu, A., López-Fernández, S., Biagini, B., Yousaf, S., & Pertot, I. (2015). Diversity in Endophyte Populations Reveals Functional and Taxonomic Diversity between Wild and Domesticated Grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(1), 12–21. <https://doi.org/10.5344/ajev.2014.14046>
- Cerutti, M. (2019). Trigo y revolución verde en el noroeste de México (1930-1970). *Mundo Agrario*, 20(43), e103. <https://doi.org/10.24215/15155994e103>
- Chávez-Luzanía, R. A., Montoya-Martínez, A. C., Parra-Cota, F. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2022). Pangenomes-identified singletons for designing specific primers to identify bacterial strains in a plant growth-promoting consortium. *Molecular Biology Reports*, 49(11), 10489–10498. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07927-8>
- Cisternas-Jamet, J., Salvatierra-Martínez, R., Vega-Gálvez, A., Stoll, A., Uribe, E., & Goñi, M. G. (2020). Biochemical composition as a function of fruit maturity stage of bell pepper (*Capsicum annuum*) inoculated with *Bacillus amyloliquefaciens*. *Scientia Horticulturae*, 263, 109107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109107>
- Cordovez, V., Dini-Andreote, F., Carrión, V. J., & Raaijmakers, J. M. (2019). Ecology and Evolution of Plant Microbiomes. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-090817>
- Darwin, C. (1868). La variación de los animales y las plantas bajo la domesticación (7th ed., Vol. 1). Editorial Catarata.

- De los Santos Villalobos, S., Robles, R. I., Parra Cota, F. I., Larsen, J., Lozano, P., & Tiedje, J. M. (2019). *Bacillus cabrialesii* sp. Nov., an endophytic plant growth promoting bacterium isolated from wheat (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) in the Yaqui valley, Mexico. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(12), 3939–3945. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003711>
- Declaración General de Protección de la Denominación de Origen "Yahualica", Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Ciudad de México, DOF, 16 de marzo del 2018 [20-05-2024]; Disponible en formato HTML en internet: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5516488&fecha=16/03/2018#gsc.tab=07
- Delaux, P.-M., & Schornack, S. (2021). Plant evolution driven by interactions with symbiotic and pathogenic microbes. *Science*, 371(6531). <https://doi.org/10.1126/science.aba6605>
- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 257–282. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2074-86472020000400257&script=sci_arttext&tlng=en
- FAO. 2018. El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el 2050. Rome
- Figueroa-Brambila, K. M., Escalante-Beltrán, A., Montoya-Martínez, A. C., Díaz-Rodríguez, A. M., López-Montoya, N. D., Parra-Cota, F. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2023). *Bacillus cabrialesii*: Five Years of Research on a Novel Species of Biological Control and Plant Growth-Promoting Bacteria. In *Plants* (Vol. 12, Issue 13). *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI). <https://doi.org/10.3390/plants12132419>
- Gamboa-Angulo, J. J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C. J., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M., & Medina-Dzul, K. B. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(4), 817–826. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- Glick, B. R. (2012). Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. *Scientifica*, 2012, 1–15. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Gomez-Raymundo, R. G., Ramírez-Seañez, A. R., Hernández-Hernández, H., Martínez-Galero, N. X., Palacios-Torres, R. E., Yam-Tzec, J. A., Rodríguez-Miranda, J., Bravo-Delgado, H. R., & Amador-Mendoza, A. (2025). Responses of Soledad Chile Pepper (*Capsicum annuum* L.) to Combined Application of Chitosan and *Bacillus subtilis* A Study on Growth and Yield. <https://doi.org/10.20944/preprints202502.0403.v1>
- González-Vera, C. G. (2019). Variación genética en la concentración de fenoles totales y densidad de tricomas asociados a la defensa en chile silvestre *Capsicum annuum* var. *glabriusculum* [Tesis de Maestría]. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada.
- Gupta, V., Kumar, G. N., & Buch, A. (2020). Colonization by multi-potential *Pseudomonas aeruginosa* P4 stimulates peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth, defence physiology and root system functioning to benefit the root-rhizobacterial interface. *Journal of Plant Physiology*, 248, 153144. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153144>
- Gutierrez, A., & Grillo, M. A. (2022). Effects of Domestication on Plant-Microbiome Interactions. In *Plant & cell physiology* (Vol. 63, Issue 11). <https://doi.org/10.1093/pcp/pcac108>

- Hammer, K. (1984). Das Domestikationssyndrom. *Die Kulturpflanze*, 32(1), 11–34. <https://doi.org/10.1007/BF02098682>
- Hannula, S. E., Heinen, R., Huberty, M., Steinauer, K., De Long, J. R., Jongen, R., & Bezemer, T. M. (2021). Persistence of plant-mediated microbial soil legacy effects in soil and inside roots. *Nature Communications*, 12(1), 5686. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25971-z>
- Hartlova, A., Krocova, Z., Cervený, L., & Stulik, J. (2011). A proteomic view of the host-pathogen interaction: The host perspective. In *Proteomics* (Vol. 11, Issue 15, pp. 3212–3220). <https://doi.org/10.1002/pmic.201000767>
- Hyder, S., Rizvi, Z. F., los Santos-Villalobos, S. de, Santoyo, G., Gondal, A. S., Khalid, N., Fatima, S. N., Nadeem, M., Rafique, K., & Rani, A. (2023). Applications of plant growth-promoting rhizobacteria for increasing crop production and resilience. In *Journal of Plant Nutrition* (Vol. 46, Issue 10, pp. 2551–2580). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2160742>
- Ibarra-Villarreal, A. L., Villarreal-Delgado, M. F., Parra-Cota, F. I., Yopez, E. A., Guzmán, C., Gutierrez-Coronado, M. A., Valdez, L. C., Saint-Pierre, C., & Santos-Villalobos, S. de L. (2023). Effect of a native bacterial consortium on growth, yield, and grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) under different nitrogen rates in the Yaqui Valley, Mexico. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1). <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2219837>
- Jaiswal, A. K., Mengiste, T. D., Myers, J. R., Egel, D. S., & Hoagland, L. A. (2020). Tomato Domestication Attenuated Responsiveness to a Beneficial Soil Microbe for Plant Growth Promotion and Induction of Systemic Resistance to Foliar Pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.604566>
- Jones, D. L., Nguyen, C., & Finlay, R. D. (2009). Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil–root interface. *Plant and Soil*, 321(1–2), 5–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9925-0>
- Ju, W., Liu, L., Fang, L., Cui, Y., Duan, C., & Wu, H. (2019). Impact of co-inoculation with plant-growth-promoting rhizobacteria and rhizobium on the biochemical responses of alfalfa-soil system in copper contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 167, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.016>
- Junnan, L., Wenting, Y., Yingtao, L., Guodong, L., & Aili, Z. (2024). Integration of transcriptome, metabolome and high-throughput amplicon sequencing to compare the performance of wild and cultivated *Psammosilene tunicoides* to reveal the beneficial plant-microbe interactions for domestication. *Environmental and Experimental Botany*, 218, 105587. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105587>
- Kannan, C., Mishra, D., Rekha, G., Maruthi, P., Shaik, H., & Sundaram, R. M. (2021). Diversity analysis of antagonistic microbes against bacterial leaf and fungal sheath blight diseases of rice. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 115. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00462-x>
- Kavamura, V. N., Robinson, R. J., Hughes, D., Clark, I., Rossmann, M., Melo, I. S. de, Hirsch, P. R., Mendes, R., & Mauchline, T. H. (2020). Wheat dwarfing influences selection of the rhizosphere microbiome. *Scientific Reports*, 10(1), 1452. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58402-y>
- Kazerooni, E. A., Maharachchikumbura, S. S. N., Adhikari, A., Al-Sadi, A. M., Kang, S. M., Kim, L. R., & Lee, I. J. (2021). Rhizospheric *Bacillus amyloliquefaciens* Protects *Capsicum annuum* cv.

- Geumsugangan from Multiple Abiotic Stresses via Multifarious Plant Growth-Promoting Attributes. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669693>
- Kraft, K. H., Brown, C. H., Nabhan, G. P., Luedeling, E., De Jesús Luna Ruiz, J., D'Eeckenbrugge, G. C., Hijmans, R. J., & Gepts, P. (2014). Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(17), 6165–6170. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308933111>
- Kumar, A., Patel, J. S., Meena, V. S., & Srivastava, R. (2019). Recent advances of PGPR based approaches for stress tolerance in plants for sustainable agriculture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101271. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101271>
- Lambers, H., Mougel, C., Jaillard, B., & Hinsinger, P. (2009). Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. *Plant and Soil*, 321(1–2), 83–115. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0042-x>
- Lara-Capistrán, L., Zulueta-Rodríguez, R., Murillo-Amador, B., Romero-Bastidas, M., Rivas-García, T., & Hernández-Montiel, L. G. (2020). Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(3), 693–704. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.737>
- Liu, J., Liu, M., Fang, H., Zhang, Q., & Ruan, J. (2021). Accumulation of Amino Acids and Flavonoids in Young Tea Shoots Is Highly Correlated With Carbon and Nitrogen Metabolism in Roots and Mature Leaves. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.756433>
- Lopez-Moreno, H., Basurto-Garduño, A. C., Torres-Meraz, M. A., Diaz-Valenzuela, E., Arellano-Arciniega, S., Zalapa, J., Sawers, R. J. H., Cibrián-Jaramillo, A., & Diaz-Garcia, L. (2023). Genetic analysis and QTL mapping of domestication-related traits in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Frontiers in Genetics*, 14. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1101401>
- Luna-Zúñiga, E. (2023). Efecto del herbivorismo en la estructura celular de la epidermis foliar en chiles silvestres y domesticados (*Capsicum annuum*) [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Baja California.
- Masmoudi, F., Al Naimi, L., Trigui, M., Al Safran, M., Tounsi, S., & Saadaoui, I. (2025). Novel Thermo-Halotolerant Bacteria *Bacillus cabrialesii* Native to Qatar Desert: Enhancing Seedlings' Growth, Halotolerance, and Antifungal Defense in Tomato. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44(2), 587–604. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11460-2>
- Mendoza-Alatorre, M., Infante-Ramírez, R., González-Rangel, M. O., Nevárez-Moorillón, G. V., González-Horta, M. del C., Hernández-Huerta, J., & Delgado-Gardea, M. C. E. (2024). Enhancing drought stress tolerance and growth promotion in chiltepin pepper (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) through native *Bacillus* spp. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65720-y>
- Metcalf, N. (2003). Growth versus lifespan: perspectives from evolutionary ecology. *Experimental Gerontology*, 38(9), 935–940. [https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(03\)00159-1](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(03)00159-1)
- Meyer, R. S., & Purugganan, M. D. (2013). Evolution of crop species: Genetics of domestication and diversification. In *Nature Reviews Genetics* (Vol. 14, Issue 12, pp. 840–852). <https://doi.org/10.1038/nrg3605>

- Milla, R., Osborne, C. P., Turcotte, M. M., & Violle, C. (2015). Plant domestication through an ecological lens. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 30, Issue 8, pp. 463–469). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.006>
- Mirskaya, G. V., Khomyakov, Y. V., Rushina, N. A., Vertebny, V. E., Chizhevskaya, E. P., Chebotar, V. K., Chesnokov, Y. V., & Pishchik, V. N. (2022). Plant Development of Early-Maturing Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Inoculation with *Bacillus* sp. V2026. *Plants*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/plants11141817>
- Montes-Hernández, S. (2010). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México.
- Montoya-Martínez, A. C., Figueroa-Brambila, K. M., Escalante-Beltrán, A., López-Montoya, N. D., Valenzuela-Ruiz, V., Parra-Cota, F. I., Estrada Alvarado, M. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2023). Biological Control Mechanisms of *Bacillus cabrialesii* subsp. *tritici* TSO2T against *Fusarium languescens*, the Causal Agent of Wilt in Jalapeño Peppers. *Horticulturae*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9090964>
- Munguía-Rosas, M. A. (2021). Domestication reduces phenotypic plasticity in chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst). *Botanical Sciences*, 1(1). <https://doi.org/10.17129/botsci.2879>
- Novo, S. (2017). Metamorfosis del chile transterrado. *Artes de México. El Chile: Fruto Ancestral*, 126, 56–61.
- Pandit, M., & Adhikary, S. (2014). Variability and Heritability Estimates in Some Reproductive Characters and Yield in Chilli (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(7), 845–853. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2014/7236>
- Pawaskar, M., Krishnan, K. P., & Kerkar, S. (2022). Salt-pan bacteria as potential plant growth promoters and their antagonistic activity to fungal pathogens of *Capsicum annuum* L. *Current Science*, 123(9), 1129–1135. <https://doi.org/10.18520/cs/v123/i9/1129-1135>
- Pedraza, L. A., López, C. E., & Uribe-Vélez, D. (2020). Mechanisms of action of *Bacillus* spp. (Bacillaceae) against phytopathogenic microorganisms during their interaction with plants. In *Acta Biologica colombiana* (Vol. 25, Issue 1, pp. 112–125). Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>
- Peiro-Nuño, J. H. (2021). Efecto de la domesticación en la resistencia por antibiosis y antixenosis de *Capsicum annuum* contra el insecto generalista *Spodoptera frugiperda* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/9118>
- Pennington, S. K., & Shikano, I. (2024). Changes in tomato plant anti-herbivore defences after soil application of a biofungicide containing *Bacillus subtilis* (Serenade ASO). *Biocontrol Science and Technology*, 34(8), 718–735. <https://doi.org/10.1080/09583157.2024.2373475>
- Peña-Yam, L. P., Ruíz-Sánchez, E., Barboza-Corona, J. E., & Reyes-Ramírez, A. (2016). Isolation of Mexican *Bacillus* Species and Their Effects in Promoting Growth of Chili Pepper (*Capsicum annuum* L. cv Jalapeño). *Indian Journal of Microbiology*, 56(3), 375–378. <https://doi.org/10.1007/s12088-016-0582-8>
- Pérez-Jaramillo, J. E., Mendes, R., & Raaijmakers, J. M. (2016). Impact of plant domestication on rhizosphere microbiome assembly and functions. *Plant Molecular Biology*, 90(6), 635–644. <https://doi.org/10.1007/s11103-015-0337-7>

- Poupin, M. J., Timmermann, T., Vega, A., Zuñiga, A., & González, B. (2013). Effects of the Plant Growth-Promoting Bacterium *Burkholderia phytofirmans* PsJN throughout the Life Cycle of *Arabidopsis thaliana*. *PLoS ONE*, 8(7), e69435. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069435>
- Ramos-Solano, B., Lucas García, J. A., Garcia-Villaraco, A., Algar, E., Garcia-Cristobal, J., & Gutierrez Mañero, F. J. (2010). Siderophore and chitinase producing isolates from the rhizosphere of *Nicotiana glauca* Graham enhance growth and induce systemic resistance in *Solanum lycopersicum* L. *Plant and Soil*, 334(1–2), 189–197. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0371-9>
- Richardson, A. E., Barea, J.-M., McNeill, A. M., & Prigent-Combaret, C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*, 321(1–2), 305–339. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9895-2>
- Robles Montoya, I. R., Chaparro-Encinas, L. A., Parra Cota, F. I., & De Los Santos-Villalobos, S. (2020). Mejorando rasgos biométricos de plántulas de trigo con la inoculación de un consorcio nativo de *Bacillus*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 229–235. www.itson.edu.mx/COLMENA
- Rojas Padilla, J., Chaparro Encinas, L. A., Robles Montoya, R. I., & De los Santos Villalobos, S. (2020). Promoción de crecimiento en trigo (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) por la co-inoculación de cepas nativas de *Bacillus* aisladas del Valle del Yaqui, México. *Nova Scientia*, 12(24). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2136>
- Román, J., & Del Rio, L. (2017). Orígenes, rutas y evolución del *Casium*. Artes de México. El Chile: Fruto Ancestral, 126, 9–10.
- SADER. (2016, December 31). Producción nacional de chile alcanza 2.3 millones de toneladas. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/produccion-nacional-de-chile-alcanza-2-3-millones-de-toneladas>
- Samaniego-Gámez, B. Y., Garruña, R., Tun-Suárez, J. M., Kantun-Can, J., Reyes-Ramírez, A., & Cervantes-Díaz, L. (2016). *Bacillus* spp. Inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76(4), 409–416. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000400003>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., de los Santos-Villalobos, S., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. In *Agronomy* (Vol. 11, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>
- Sari, R., Hafsah, S., & Hidayat, T. (2024). The effect of seed treatment using plant growth promoter rhizobacteria (PGPR) on the germination process of chili (*Capsicum annum* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1297(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1297/1/012010>
- Serrano-Mejía, C. G. (2023). Divergencia fenotípica en plantas de chile cultivado *Capsicum annum* var. *annuum* y su Genotipo silvestre *Capsicum annum* var. *glabriusculum* [Tesis de Doctorado]. Universidad Autónoma de Baja California.
- Serrano-Mejía, C., Bello-Bedoy, R., Arteaga, M. C., & Castillo, G. R. (2022). Does Domestication Affect Structural and Functional Leaf Epidermal Traits? A Comparison between Wild and Cultivated Mexican Chili Peppers (*Capsicum annum*). *Plants*, 11(22), 3062. <https://doi.org/10.3390/plants11223062>

- Shakir, S., Zaidi, S. S. e. A., de Vries, F. T., & Mansoor, S. (2021). Plant Genetic Networks Shaping Phyllosphere Microbial Community. In *Trends in Genetics* (Vol. 37, Issue 4, pp. 306–316). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2020.09.010>
- Sharma, S., Compant, S., Ballhausen, M.-B., Ruppel, S., & Franken, P. (2020). The interaction between *Rhizoglomus irregulare* and hyphae attached phosphate solubilizing bacteria increases plant biomass of *Solanum lycopersicum*. *Microbiological Research*, 240, 126556. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126556>
- Singh, R. R., & Wesemael, W. M. L. (2022). Endophytic *Paenibacillus polymyxa* LMG27872 inhibits *Meloidogyne incognita* parasitism, promoting tomato growth through a dose-dependent effect. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.961085>
- Smýkal, P., Nelson, M., Berger, J., & Von Wettberg, E. (2018). The Impact of Genetic Changes during Crop Domestication. *Agronomy*, 8(7), 119. <https://doi.org/10.3390/agronomy8070119>
- Souza, M. L., Garcia, L. E., Lovato, M. B., & Lemos-Filho, J. P. (2021). Leaf trait variation during ontogeny in the endangered Brazilian rosewood tree. *Plant Biology*, 23(6), 1109–1117. <https://doi.org/10.1111/plb.13318>
- Spor, A., Roucou, A., Mounier, A., Bru, D., Breuil, M.-C., Fort, F., Vile, D., Roumet, P., Philippot, L., & Violle, C. (2020). Domestication-driven changes in plant traits associated with changes in the assembly of the rhizosphere microbiota in tetraploid wheat. *Scientific Reports*, 10(1), 12234. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69175-9>
- Sutariati, G. A. K., Rakian, T. C., Madiki, A., Rahni, N. M., Wibawa, G. N. A., & Mudi, L. (2022). Effectiveness of a single and a mixture treatments of rhizobacteria in increasing the growth and yield of hot pepper (*Capsicum annum* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 977(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/977/1/012044>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2010). Plant Physiology and Development. In *Open Journal of Nursing* (5th ed., Vol. 04, Issue 03). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/hesc/9780197614204.001.0001>
- Taulé, C., Vaz-Jauri, P., & Battistoni, F. (2021). Insights into the early stages of plant–endophytic bacteria interaction. In *World Journal of Microbiology and Biotechnology* (Vol. 37, Issue 1). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02966-4>
- Téllez-Villagómez, E. O. (2023). Efecto de la disponibilidad de luz en la plasticidad fenotípica de plantas silvestres y domesticados de Chile (*Capsicum annum*) [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma de Baja California.
- Thilagar, G., Bagyaraj, D. J., Podile, A. R., & Vaikuntapu, P. R. (2018). *Bacillus sonorensis*, a Novel Plant Growth Promoting Rhizobacterium in Improving Growth, Nutrition and Yield of Chilly (*Capsicum annum* L.). *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 88(2), 813–818. <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0822-z>
- Valente, J. (2018). Impact of wheat genotype on its interactions with rhizobacteria: what influence of modern breeding on the relationships between plants and PGPR? [Tesis de Doctorado]. Universidad de Lyon I - Claude Bernard.
- Valenzuela-Apodaca, E. A. (2019). Variación en la tolerancia al daño mecánico foliar y resistencia contra herbívoros en chiles domesticados y su pariente silvestre *Capsicum annum* var. *glabriusculum* [Tesis de Maestría] Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3018>

- Valenzuela-Aragon, B., Montoya-Martínez, A. C., Parra-Cota, F. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2024). Genomic Insight into a Potential Biological Control Agent for *Fusarium*-Related Diseases in Potatoes: *Bacillus cabrialesii* Subsp. *cabrialesii* Strain PE1. *Horticulturae*, 10(4), 357. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040357>
- Valenzuela-Aragon, B., Parra-Cota, F. I., Santoyo, G., Arellano-Wattenbarger, G. L., & de los Santos-Villalobos, S. (2019). Plant-assisted selection: a promising alternative for in vivo identification of wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) growth promoting bacteria. *Plant and Soil*, 435(1–2), 367–384. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-03901-1>
- Valenzuela-Ruiz, V., Parra-Cota, F. I., Santoyo, G., & De los Santos-Villalobos, S. (2022). Potential biocontrol mechanisms of *Bacillus* sp. TSO2 against *Bipolaris sorokiniana*, spot blotch in wheat. *Revista Mexicana de Fitopatología*, Mexican Journal of Phytopathology, 40(2). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2201-1>
- Vandenkoornhuysse, P., Quaiser, A., Duhamel, M., Le Van, A., & Dufresne, A. (2015). The importance of the microbiome of the plant holobiont. *New Phytologist*, 206(4), 1196–1206. <https://doi.org/10.1111/nph.13312>
- Vibrans, H., Hanan-Alípi, A. M., & Mondragón Pichardo, J. (2009). Malezas de México, *Capsicum annuum* L.
- Villa-Rodríguez, E., Parra-Cota, F., Castro-Longoria, E., López-Cervantes, J., & de los Santos-Villalobos, S. (2019). *Bacillus subtilis* TE3: A promising biological control agent against *Bipolaris sorokiniana*, the causal agent of spot blotch in wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*). *Biological Control*, 132, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.012>
- Walters, D., & Heil, M. (2007). Costs and trade-offs associated with induced resistance. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 71(1–3), 3–17. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2007.09.008>
- Wang, C., Zhang, Y., Wang, S., Lv, X., Xu, J., Zhang, X., Yang, Q., Meng, F., & Xu, B. (2024). Differential effects of domesticated and wild *Capsicum frutescens* L. on microbial community assembly and metabolic functions in rhizosphere soil. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383526>
- Werner, G. D. A., Cornelissen, J. H. C., Cornwell, W. K., Soudzilovskaia, N. A., Kattge, J., West, S. A., & Kiers, E. T. (2018). Symbiont switching and alternative resource acquisition strategies drive mutualism breakdown. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(20), 5229–5234. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721629115>
- Wu, C. H., Bernard, S. M., Andersen, G. L., & Chen, W. (2009). Developing microbe-plant interactions for applications in plant-growth promotion and disease control, production of useful compounds, remediation and carbon sequestration. In *Microbial Biotechnology* (Vol. 2, Issue 4, pp. 428–440). <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2009.00109.x>
- Zhang, T., Jian, Q., Yao, X., Guan, L., Li, L., Liu, F., Zhang, C., Li, D., Tang, H., & Lu, L. (2024). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and quality of several crops. *Heliyon*, 10(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31553>
- Zhou, L., Song, C., Muñoz, C. Y., & Kuipers, O. P. (2021). *Bacillus cabrialesii* BH5 Protects Tomato Plants Against *Botrytis cinerea* by Production of Specific Antifungal Compounds. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.707609>

7. Anexos

7.1 Anexo 1: Metodología para extracción de ADN en tejido vegetal lignificado.

1. Lavar las muestras con agua corriente para eliminar residuos externos.
2. Sumergir las muestras en solución de hipoclorito al 3% durante 1 minuto y posteriormente enjuagar de 3 a 5 veces (hasta remover los residuos de la solución de hipoclorito) con agua destilada estéril.
3. Guardar nuevamente en congelación a -80°C .
4. Con materiales previamente lavados y esterilizados con luz UV por 20 minutos, macerar manualmente cada muestra de tejido hasta obtener 0.1 g de polvo fino y transferir a tubos para centrifuga de 2 mL.
5. Añadir 600 μL de Buffer de lisis [Tris HCl (pH 8.5)-220 mM, NaCl-250 mM, EDTA-25mM y SDS 0.5% en 50mL de H_2O] y mezclar 30 s en vortex a máxima velocidad.
6. Incubar las muestras en baño maría a 65°C por 35 minutos.
7. Añadir 350 μL de fenol y mezclar 30 s en vortex a máxima velocidad.
8. Agregar 150 μL de cloroformo frío (-20°C) y mezclar 30 s en vortex a máxima velocidad.
9. Centrifugar a 13,000 rpm por 30 minutos a 4°C .
10. Transferir la fase acuosa (aproximadamente 400 μL) a un nuevo tubo de centrifuga de 1.5 mL.
11. Añadir 1 volumen de cloroformo frío (-20°C) y mezclar 30 s en vortex a máxima velocidad.
12. Centrifugar las muestras a 13,000 rpm por 10 minutos.
13. Transferir la fase acuosa superior a un nuevo tubo de centrifuga y añadir 0.6 volúmenes de isopropanol frío (-20°C)
14. Dejar en reposo durante 1 hora en refrigeración a -20°C
15. Homogenizar por inversión manual 10 veces y posteriormente centrifugar a 13,000 rpm por 5 minutos. Descartar el sobrenadante.

16. Agregar 500 μL de etanol al 70% buscando despegar el pellet de la pared del tubo y centrifugar a 13,000 rpm por 2 minutos. Descartar el sobrenadante. Este paso se repite dos veces.
17. Secar las muestras a temperatura ambiente por 10 minutos o hasta que se hayan evaporado todos los residuos de etanol 70%.
18. Finalmente. resuspender el *pellet* en 40 μL de agua MQ y se refrigeró en -20°C .