



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN ECOLOGÍA

Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Morelia

EFECTO DE *TRICHODERMA*
HARZIANUM EN LA INTERACCIÓN
MULTITROFICA: INSECTOS-PLAGA,
MÍRIDOS DEPREDADORES Y
PLANTAS DE TOMATE

TESIS

LICENCIADO EN ECOLOGÍA

P R E S E N T A
RAFAEL RAMÍREZ MOLINA

DIRECTOR DE TESIS: DR. RAÚL OMAR REAL SANTILLÁN
CODIRECTOR DE TESIS: M.C. JOSET TSIRI DÍAZ GUERRERO

MORELIA, MICHOACÁN

Junio, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN ECOLOGÍA

Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Morelia

EFECTO DE *TRICHODERMA*
HARZIANUM EN LA INTERACCIÓN
MULTITROFICA: INSECTOS-PLAGA,
MÍRIDOS DEPREDADORES Y
PLANTAS DE TOMATE

TESIS

LICENCIADO EN ECOLOGÍA

P R E S E N T A
RAFAEL RAMÍREZ MOLINA

DIRECTOR DE TESIS: DR. RAÚL OMAR REAL SANTILLÁN
CODIRECTOR DE TESIS: M.C. JOSET TSIRI DÍAZ GUERRERO

MORELIA, MICHOACÁN

Junio, 2023



ESCUELA
NACIONAL
de ESTUDIOS
SUPERIORES
UNIDAD MORELIA

10
años
(2011-2021)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE

DIRECTORA

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

PRESENTE

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 09** del **Comité Académico** de la **Licenciatura en Ecología** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia, celebrada el día **07 de diciembre de 2022**, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional del alumno **Rafael Ramírez Molina** de la Licenciatura en **Ecología**, con número de cuenta **418064535**, con el trabajo titulado: **"Efecto de *Trichoderma harzianum* en la interacción multitrófica; insectos-plaga, móridos depredadores y plantas de tomate"**, bajo la dirección como tutor del **Dr. Raúl Omar Real Santillán** y como co-tutor el **M. en C. Joset Tsiri Díaz Guerrero**.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

Presidente:	Dra. Ek del Val de Gortari
Vocal:	Dr. John Larsen
Secretario:	M. en C. Joset Tsiri Díaz Guerrero
Suplente:	Dr. Fernando Pineda García
Suplente:	Dra. Ana Mabel Martínez Castillo

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Morelia, Michoacán a 30 de marzo de 2023.

DRA. YUNUEN TAPIA TORRES
SECRETARIA GENERAL

CAMPUS MORELIA

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)689.3500 y (55)5623.7300, Extensión Red UNAM: 80614
www.enesmorelia.unam.mx

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, especial a la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia por haberme dado la oportunidad de formarme en ella. Al instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales por brindarme los insectos necesarios para realizar el experimento de este trabajo. De igual manera agradecer al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad por permitirme usar sus instalaciones para poder realizar este proyecto.

A mi director, el Dr. Raúl Omar Real Santillán, por todo su apoyo para poder realizar el diseño experimental, consejos y comentarios. A mi co-director el MC. Joset Tsiri Diaz Guerrero, por la confianza para trabajar en este proyecto, por sus asesorías para realizar los análisis estadísticos y la redacción de este proyecto. Al Dr. John Larsen, por darme la oportunidad de trabajar en su laboratorio. A la Dra. Ana Mabel Martínez Castillo por su apoyo para resolver dudas.

Al MPA. Luis Jesús Palma Castillo. Por su apoyo y tiempo dedicado para la crianza de los insectos utilizados en este experimento.

A la Dra. Lourdes Macías Rodríguez, por permitirme trabajar en su laboratorio y toda su colaboración para los análisis de defensa vegetal.

Al Dr. Hexón Contreras Cornejo, por el apoyo brindado para realizar los análisis de la cuantificación de defensa vegetal. De igual manera agradezco a la M.C. Sandra Goretti Adame, por guiarme en el proceso para realizar la cuantificación vegetal. También agradezco al Dr. Felipe García Oliva, por permitirme trabajar en su laboratorio y todo su apoyo para los análisis de nutrición vegetal.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Quiero agradecer a mi familia, gracias a mis padres por ser los primordiales promotores de mis sueños, gracias por todos los días confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre, Miriam, por su amor y apoyo incondicional, gracias a mi padre, Rafael, por siempre desear lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por todas sus enseñanzas que me guiaron a lo largo de mi vida. A mis hermanos, Andrea, Daniel y Jesica, por todo su apoyo durante todo este proceso, a ellos quien sin su apoyo y cariño no hubiese podido lograrlo.

Gracias a mis amigas y compañeras, Sully, Elvia y Karen por los buenos momentos que hemos compartido. Creo hemos aprendido y aprendemos continuamente de todos y de nosotros mismos, tanto profesional como personalmente. Y eso es enriquecedor en ambos sentidos.

A mi novia, Lucero, a quien amo y agradezco por tenerme paciencia, estar a mi lado en todo momento y por darme su amor todos los días, lo que me motiva a cumplir todo lo que me proponga.

A mis compañeros del laboratorio, Andrés, Jesús, Jaime, Griselda y Sandra por todo su apoyo en la realización de este proyecto.

INDICE

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	II
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación	3
2. ANTECEDENTES.....	4
2.1 Jitomate.....	4
2.1.1 Plagas del jitomate	4
2.2 <i>Spodoptera exigua</i>	5
2.2.1 Ciclo de vida.....	5
2.2.1.1 Descripción morfológica de los huevos.....	6
2.2.1.2 Descripción de las larvas	6
2.2.1.3 Descripción de la pupa.....	7
2.2.1.4 Descripción de los adultos.....	7
2.3 Métodos de control de <i>S. exigua</i>	8
2.4 Míridos depredadores.....	9
2.5 <i>Engytatus varians</i>	10
2.5.1 Ciclo de vida.....	11
2.5.1.1 Huevo.....	11
2.5.1.2 Ninfa.....	11
2.5.1.3 Adulto	12
2.6 <i>Trichoderma harzianum</i>	13
2.6.1 Ciclo de vida.....	14
3. HIPÓTESIS.....	16
4. OBJETIVOS	16
4.1 General	16
4.2 Específicos.....	16
5. MATERIALES Y MÉTODOS	17
5.1 Diseño experimental.....	17
5.2 Materiales biológicos	17
5.3 Suelo.....	18
5.4 Establecimiento del experimento	18

5.5 Cosecha.....	19
5.6 Cuantificación de la nutrición vegetal.....	19
5.7 Defensa vegetal	20
6. RESULTADOS.....	22
6.1 Variables agronómicas.....	22
6.2 Nutrición vegetal.....	22
6.3 Defensa vegetal	25
7. DISCUSIÓN.....	29
7.1 Biomasa.....	29
7.3 Nutrición vegetal.....	31
7.4 Defensa vegetal	34
8. CONCLUSION.....	36
9. REFERENCIAS.....	37

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1. Hojas y flor de la planta de <i>Solanum lycopersicum</i> (Tomada de http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/pagina1.htm)	4
Figura 2. Ciclo de vida de <i>S. exigua</i> , a) adulto, b) Masa de huevos c) Larvas neonatas, d) hojas y frutos dañados, e) larva, f) pupa (Tomado de https://www.cropscience.bayer.es). 6	
Figura 3. Larva de <i>Spodoptera exigua</i> donde se muestra la mancha lateral en el mesotórax (imagen tomada de https://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/beet_armyworm.htm). _8	
Figura 4. Morfología y ciclo de vida de <i>Engytatus varians</i> . Vista lateral de huevo de <i>E. varians</i> (a), (b), (c) y (d) de 24, 72, 168 y 216 h de edad, (e) cuerno respiratorio con dos proyecciones ornamentales; (f), (g), (h), (i) y (j) vista dorsal y ventral la ninfa de primero, segundo, tercero, cuarto y quinto estadio, respectivamente; (k) y (l) vista dorsal y ventral del macho, respectivamente; genitalia de (m) hembra (flecha indica el aparato ovopositor) y macho (flecha indica proceso de capsula genital acodada); (n) y (o) vista ventral y dorsal de la hembra (Tomada de Pineda et al. 2016).	13
Figura 5. Diagrama de interacciones multitróficas entre <i>Solanum lycopersicum</i> , <i>Engytatus varians</i> , <i>Spodoptera exigua</i> y <i>Trichoderma harzianum</i> . Los símbolos +/- representan una interacción en la que un organismo se beneficia mientras que la otra se ve afectada, el +/+ representa las interacciones en las que ambos organismos se ven beneficiados, los símbolos -/0, representan las interacciones en las que un organismo se ve afectado de	

manera negativa, mientras que el otro organismo ni se beneficia ni se ve afectado.
Elaboración propia _____ 15

Figura 6. Se muestran promedios \pm EE de: Peso seco aéreo (A) y peso seco radicular (B) de las plantas de *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos. _____ 23

Figura 7. Se muestran promedios \pm EE de: (A) Producción de flores en plantas de *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*. (B) Diámetro polar de frutos en plantas de *S. lycopersicum* con la presencia de *T. harzianum*. (C) . Volumen de los frutos de *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos. _____ 24

Figura 8. Se muestran promedios y EE de : (A) Concentración de fósforo total y (B) relación N:P en plantas *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos. _____ 25

Figura 9. Se muestran promedios \pm EE de: (A) Concentración de ácido jasmónico en plantas de *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*, (B) en presencia de *S. exigua* y (C) en plantas inoculadas con *T. harzianum* en presencia de *E. varians*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos. _____ 26

Figura 10. Se muestran promedios \pm EE de: Concentración de ácido salicílico en plantas de *S. lycopersicum* en presencia de *E. varians*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos. _____ 27

Figura 11. Análisis de componentes principales (PCA) donde se relacionan las variables (SAEstad: Concentración ácido salicílico, JAEstad: concentración ácido jasmónico, núm. Flores: producción total de flores, peso raíz: peso seco de la raíz, volumen: volumen del fruto, diámetro polar: Diam. polar del fruto, peso aéreo: peso seco aéreo, núm. Frutos: producción total de frutos, núm. Hojas: producción total de hojas, altura final: altura de la planta al final del experimento) agronómicas y defensa vegetal con plantas con y sin el inóculo de *T. harzianum*. _____ 28

Cuadro 1. Plagas de artrópodos en los cultivos de planta de tomate (Bayer Crop Science México: www.yumpu.com/es/document/read/14763466/nva-guia-tomate-finalindd-bayer-cropscience-mexico).....	5
Cuadro 2. Valores de P del análisis multifactorial de varianza GLM de los factores <i>T. harzianum</i> (Th), <i>S. exigua</i> (Se) y <i>E. varians</i> (Ev) y todas sus interacciones para las variables de medición.....	23
Cuadro 3. Valores de P del análisis multifactorial de varianza por GLM de los factores <i>T. harzianum</i> (Con y Sin), <i>S. exigua</i> (Se) y <i>E. varians</i> (Ev), y todas sus interacciones para las variables de medición de la nutrición vegetal.....	27
Cuadro 4. Valores de P del análisis multifactorial de varianza GLM de los factores <i>T. harzianum</i> (Th), <i>S. exigua</i> (Se) y <i>E. varians</i> (Ev), y todas sus interacciones para las variables de defensa vegetal.....	28

RESUMEN

A nivel mundial, México ocupa el primer lugar en la exportación de tomate. Sin embargo, debido al incremento de la superficie cultivada, los problemas fitosanitarios de este producto se han incrementado. Entre las plagas de mayor importancia destaca *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Para su control se utilizan principalmente métodos químicos, los cuales afectan negativamente la salud y el medio ambiente. Una alternativa de control efectiva y compatible con el ambiente es el control biológico mediante el uso de los enemigos naturales, entre los que destacan las cinchas depredadoras pertenecientes a la familia Miridae. Además, el uso de organismo simbiotes del suelo como *Trichoderma harzianum* Rifai pueden interactuar positivamente con las plantas cultivadas al activar sus mecanismos de defensa hacia los herbívoros. El objetivo de este estudio fue poner a prueba la interacción de un mírido depredador, *Engytatus varians* (Distant), con el agente mutualista *T. harzianum* y el insecto plaga (*S. exigua*). Para esto, se realizó un experimento multifactorial utilizando plantas de jitomate, *Solanum lycopersicum*, de 21 días de edad, las cuales se infestaron con larvas de segundo estadio de *S. exigua* y liberó al depredador. El inóculo de *T. harzianum* se aplicó en el suelo al momento del trasplante. Los resultados muestran que *T. harzianum* tiene efectos negativos sobre la biomasa y pueden afectar la defensa de la planta para defenderse de los insectos herbívoros. Además, se observó que *S. exigua* activó la vía de defensa por ácido jasmónico, mientras que *E. varians* activó la vía de defensa por ácido salicílico. Por otro lado, en la nutrición vegetal, las plantas con el inóculo de *T. harzianum* tuvieron mayor concentración de fósforo. No se observaron efectos negativos de *E. varians* sobre jitomate, lo cual indica que este mírido depredador puede ser un buen candidato para el control de *S. exigua*.

ABSTRACT

Mexico ranks first worldwide in tomato exports. However, due to the increase in cultivated surface area, phytosanitary problems with this product have increased. Among the most important pests is *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Chemical methods are mainly used to control it, but these negatively affect health and the environment. A biologically effective and environmentally compatible alternative is biological control using natural enemies, among which predatory bugs belonging to the Miridae family stand out. In addition, the use of soil symbiont organisms such as *Trichoderma harzianum* Rifai can interact positively with cultivated plants by activating their defense mechanisms against herbivores. The objective of this study was to test the interaction of a predatory mirid, *Engytatus varians* (Distant), with the mutualistic agent *T. harzianum* and the pest insect (*S. exigua*). A multifactorial experiment was carried out using 21-day-old tomato plants (*Solanum lycopersicum*) infested with second-stage *S. exigua* larvae and released the predator. The *T. harzianum* inoculum was applied to the soil at the time of transplant. The results show that *T. harzianum* has negative effects on biomass and can affect the plant's defense against herbivorous insects. Additionally, it was observed that *S. exigua* activated the jasmonic acid defense pathway, while *E. varians* activated the salicylic acid defense pathway. On the other hand, in plant nutrition, plants with the *T. harzianum* inoculum had a higher concentration of phosphorus. No negative effects of *E. varians* on tomato plants were observed, indicating that this predatory mirid can be a good candidate for controlling *S. exigua*.

1. INTRODUCCIÓN

El tomate conocido así en el norte de México y en el centro sur conocido como jitomate, *Solanum lycopersicum* L., (Solanaceae), es una herbácea anual o bianual (Rodríguez, 1996) y, es la hortaliza de mayor consumo a nivel nacional y mundial (Rodríguez, 2010). México ocupa el décimo lugar a nivel mundial en la producción de jitomate (FAOSTAT, 2016). La producción de esta hortaliza en México se exporta principalmente a los Estados Unidos de América, Canadá y algunos países europeos (FIRA, 2019). Su demanda aumenta considerablemente y con ella su cultivo, producción y comercio (FAOSTAT, 2016), en México para el año 2021, la producción de jitomate ocupó una superficie de 47,862 ha; y se obtuvo una producción de aproximadamente 3,031,668 t (SIAP, 2022).

Como consecuencia del aumento de la superficie agrícola del país, se han incrementado los problemas fitosanitarios (Labate et al. 2007), la problemática fitosanitaria que ocurre en los cultivos es muy amplia y estos problemas se basan principalmente en las plagas y enfermedades (Cabello et al. 1990). Los cultivos de jitomate se han visto afectados por diversas plagas, que pueden ocasionar grandes pérdidas a los productores, o incluso llegar a perder completamente la producción (Labate et al. 2007; Álvarez, 2015). Sin embargo, en algunos casos como en sistemas bajo cubierta no se ha logrado un alto potencial de rendimiento, esto se debe principalmente a la presencia de enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y distintas especies de insectos plaga (Rodríguez et al. 2011). Entre las principales plagas de la planta del jitomate se encuentran numerosas especies, tales como: moscas blancas (*Bemisia tabaci*, Gennadius, 1889, *Trialeurodes vaporariorum*, Westwood 1856), áfidos (*Bactericera cockerelli*, Sulc 1909, *Myzus persicae*, Sulzer 1776), trips (*Thrips tabaci*, Lindeman, 1889), dípteros (*Liriomyza* spp.), coleópteros (*Diabrotica balteata*, LeConte 1865, algunas especies de ácaros (*Aculops lycopersici*, Masee 1937) y lepidópteros (Foolad, 2007). En este último grupo se encuentra el gusano soldado, esta es considerada una plaga polífaga, que puede atacar a cerca de 60 cultivos de importancia comercial, entre las que se encuentran: el jitomate, la papa (*Solanum tuberosum* L.), chile pimiento (*Capsicum*

annuum L.), maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L), entre otros (Brown y Dewhurst, 1975). Actualmente *S. exigua* es una especie cosmopolita y se ha reportado su presencia en 101 países (Zheng et al. 2011a).

Para el control de esta plaga son utilizados diferentes métodos, entre ellos están los de tipo mecánico, orgánico y químico, siendo el último el más utilizado (Osorio et al. 2008). No obstante, el uso indiscriminado de productos químicos genera un impacto negativo en la salud humana, animal y en el medio ambiente (OIT, 2011). Una alternativa al uso de productos químicos es el control biológico con enemigos naturales, este es un método que ha demostrado ser efectivo y sin impactos ambientales (Álvarez, 2015). Existen enemigos naturales que han mostrado tener un gran potencial como agentes de control biológico, dentro de estos se encuentran insectos que pertenecen a la familia Miridae. Estos son un grupo de insectos depredadores, dentro del cual se tienen reportadas aproximadamente diez mil especies (Henry, 2009), con distintos tipos de alimentación, pues pueden ser: fitófagos, zoófagos y de hábitos mixtos (zoofitófagos) (Cassis y Schuh, 2012).

Dentro de los míridos zoofitófagos se encuentra *Engytatus varians* Distant 1884 (Hemiptera: Miridae), es una especie que tiene una amplia distribución en el norte, centro y sur del continente americano (Silva et al. 2016). Es una especie zoofitófaga debido a que se alimenta de las plantas hospederas y de los insectos que viven en ellas, tales como: áfidos, moscas blancas, pseudocóccidos y lepidópteros (Martínez et al. 2014). En países de la costa mediterránea, el uso de míridos zoofitófagos en cultivos de jitomate, como: *Macrolophus pygmaeus* Rambur y *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae), ha logrado disminuir sustancialmente el uso de agroquímicos (Pérez-Hedo y Urbaneja et al. 2015).

Por otra parte, en los suelos se encuentran microorganismos benéficos los cuales pueden interactuar positivamente con las plantas al establecer una simbiosis generalmente mutualista (Cano, 2011). Por ejemplo, el hongo *Trichoderma harzianum*, proporciona beneficios a los cultivos como es el suprimir a patógenos como: oomicetos, hongos e incluso nemátodos, que cuando alcanzan una población excesiva causan daños en plantas y cultivos, hasta convertirse en una plaga que puede causar severos daños (Cornejo-Contreras et al. 2021). Además, *T.*

harzianum puede tener otros beneficios en los cultivos, por ejemplo, se ha visto que está asociado con el aumento de la biomasa, la longitud y la profundidad de las raíces, lo que favorece la absorción de nutrientes de los cultivos (Cornejo-Contreras et al. 2021; Harman, 2004). También puede alterar la arquitectura del sistema de raíces, lo que ha demostrado puede aumentar los rendimientos en la producción de diferentes cultivos (Bjorkman, 1998).

Aunado a lo anterior, se ha comprobado que la interacción entre *Trichoderma* y las raíces, pueden activar los mecanismos de defensa de la planta (Yedidia et al. 1999), lo que lleva a una resistencia de la planta contra distintos microorganismos fitopatógenos e incluso nematodos (Harman, 2004). Esta resistencia inducida no es específica de un determinado tipo de planta y puede ser localizada o sistémica, preparándola para una mejor y más rápida respuesta ante el ataque de distintos patógenos (Conrath et al 2002). Entre las respuestas de la planta hacia los patógenos, se encuentra la secreción de peroxidasas, la síntesis de fitoalexinas, la expresión de genes que codifican proteínas relacionadas con la patogénesis, la biosíntesis de compuestos terpénicos (Howell, 2006) o el aumento de los niveles de ácido salicílico y ácido jasmónico (Segarra et al. 2007).

1.1 Justificación

A pesar de la importancia económica y alimenticia del cultivo del jitomate en México, existen pocos estudios que evalúen la interacción entre microorganismos simbiotes del suelo y los insectos que habitan el follaje. Debido a ello, en el presente estudio se busca analizar, en condiciones de invernadero, la interacción entre *T. harzianum*, *S. exigua* y *E. varians* con base en la respuesta de la defensa y nutrición vegetal inducida por el hongo a la exposición con estos insectos.

2. ANTECEDENTES

2.1 Jitomate

México tiene una extensión territorial de alrededor de 2,000,000 km², de los cuales más de la mitad se destina a la ganadería, mientras que 22 millones de hectáreas se dedican a la agricultura, siendo el maíz, la papa y las hortalizas los cultivos que ocupan la mayor superficie cultivable, representando el 72% del total (Williams et al. 2013).

Uno de los cultivos más importantes para la alimentación es el jitomate (Fig. 1), el cual México ocupa el décimo lugar en producción a nivel mundial (FAOSTAT, 2016; Fernández et al., 2004). Además, el jitomate es uno de los productos más consumidos, ubicándose en el segundo lugar después de la papa (Foolad y Panthee, 2012). La producción y exportación de jitomate en México se concentran en los estados de Sinaloa y Michoacán, los cuales ocupan el primer y segundo lugar a nivel nacional, respectivamente (Rodríguez, 2011; Williams et al. 2015). Debido a la alta demanda en el mercado, la comercialización de jitomate genera mayores ganancias para los productores (FAOSTAT, 2016).



Figura 1. Hojas y flor de la planta de *Solanum lycopersicum* (Tomada de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/pagina1.htm>)

2.1.1 Plagas del jitomate

Los cultivos del jitomate son susceptibles a un gran número de insectos plaga (Cuadro 1), éstos generan problemas fitosanitarios debido a que no sólo se alimentan de las plantas, sino que también fungen como vectores enfermedades (Bolger y Usadel, 2014). Debido al gran número de plagas que tiene la planta del

jitomate, se utilizan un gran número de insecticidas químicos, los cuales tienen impactos negativos para el medio ambiente y su uso indiscriminado puede provocar la aparición de poblaciones resistentes a estos insecticidas (Che et al. 2015).

2.2 *Spodoptera exigua*

Spodoptera exigua pertenece a la familia Noctuidae y, dentro del género *Spodoptera* Guenée, se conocen 25 especies de las cuales sólo algunas son de importancia económica (EPPO, 2020). Este insecto se ha considerado como una de las plagas más amenazantes para las hortalizas, puesto que sus poblaciones son difíciles de controlar y, cuando está presente en los cultivos, sus poblaciones son grandes, por lo que es más fácil que causen importantes daños en el follaje y frutos de los cultivos (Luna-Santillana, 2014).

Cuadro 1. Plagas de artrópodos más comunes en los cultivos de la planta de jitomate, nombre común, científico, orden y familia (Bayer Crop Science México; www.yumpu.com/es/document/read/14763466/nva-guia-tomate-finalindd-bayer-cropscience-mexico).

Nombre común	Nombre científico	Orden	Familia
Mosquita blanca	<i>Bemisia tabaci</i>	Hemiptera	Aleyrodidae
Pulgón myzus	<i>Myzus persicae</i>	Homoptera	Aphididae
Paratrioza	<i>Bactericera cockerelli</i>	Hemiptera	Triozidae
Trips	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Thysanoptera	Thripidae
Gusano del fruto	<i>Helicoverpa zea</i>	Lepidoptera	Noctuidae
Gusano soldado	<i>Spodoptera exigua</i>	Lepidoptera	Noctuidae
Araña roja	<i>Tetranychus</i> sp.	Prostigmata	Tetranychidae
Ácaro blanco	<i>Polyphagotarsonemus latus</i>	Trombidiformes	Tarsonemidae

2.2.1 Ciclo de vida

Spodoptera exigua es un insecto que tiene un desarrollo holometábolo, es decir, que pasa por una etapa de huevo, larva, pupa y adulto (Fig. 2; Allen y Vanegas, 2021). Puede tener varias generaciones durante un año, que pueden ser desde dos a seis o incluso más. La etapa de huevo dura de dos a tres días, posteriormente comienza la etapa larval o juvenil, esta dura entre 18 y 20 días y durante este periodo llega a tener seis estadios. La pupa dura entre seis y siete días, por último, el adulto emerge y tiene una vida de entre 4 y 10 días, durante esta etapa se aparean y las hembras ponen huevos en las hojas de las plantas. Su ciclo biológico se completa entre 30 a 40 días (Bohmfolk et al. 1996; Capinera, 2014).

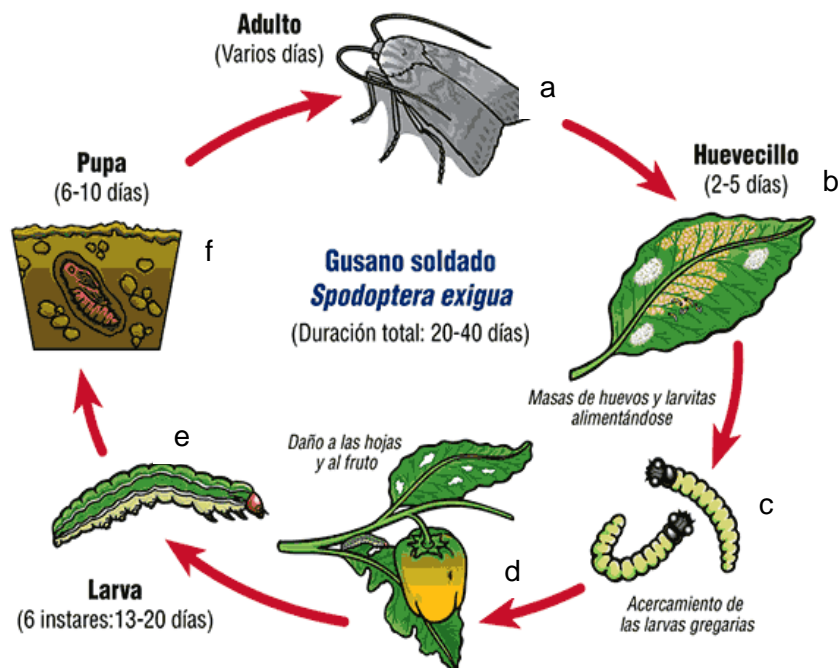


Figura 2. Ciclo de vida de *S. exigua*, a) adulto, b) Masa de huevos c) Larvas neonatas, d) hojas y frutos dañados, e) larva, f) pupa (Tomado de <https://www.cropscience.bayer.es>).

2.2.1.1 Descripción morfológica de los huevos

Las hembras ponen los huevos en grupos o masas que son de color blanco cremoso o verde olivo, tienen una forma semiesférica y están cubiertos con escamas lo que da un aspecto algodonoso (Capinera, 2014; EPPO, 2020). Comúnmente los huevos son colocados en el envés de las hojas y los cubren con las escamas que la hembra suelta de su abdomen para evitar la desecación y también evitar ser consumidos por enemigos naturales. Las masas contienen entre 50 a 150 huevecillos, y pueden ser ovipositados en la misma planta o en distintas, las hembras pueden llegar a poner de 300 a 600 huevos a lo largo de su vida (Capinera, 2014). Se ha observado que la cantidad de huevos depende de la planta hospedera, y se ha documentado que tiene preferencia en plantas de quelite cenizo (*Amaranthus retroflexus* L. (Amaranthaceae) (Greenberg et al. 2001; Greenberg et al. 2002).

2.2.1.2 Descripción de las larvas

Las larvas de *S. exigua* se caracterizan por tener una mancha lateral en el mesotórax generalmente oscura (Fig. 3) y se encuentra cerca de la seta (SD1). Las

larvas tienen una coloración entre verde y negro en la cabeza, en los últimos estadios alcanzan una longitud de 25 a 30 mm de longitud (Gilligan y Passoa, 2014). Hay dos formas de coloración: una consiste en un dorso oscuro marcado ya sea con guiones o manchas rectangulares, y la más común, varía de claro a verde oliva oscuro y está marcado con una mezcla de puntos blancos y líneas discontinuas en el dorso; generalmente con cinco líneas blancas angostas interrumpidas en cada lado de su parte superior y una línea oscura, una línea continua subdorsal y otra junto a los espiráculos (SENASICA, 2021). Cerca de los espiráculos se encuentran manchas blancas o amarillo brillantes. La parte ventral es de color verde brillante y moteado, con líneas blancas irregulares (Passoa, 1991; Bohmfalk et al. 1996).

Las larvas del primer estadio se alimentan en grupo en el envés de las hojas; las del segundo estadio se dispersan y hacen perforaciones irregulares en el follaje, en los últimos estadios llegan a alimentarse de los frutos (Garza y Terán, 2001, 2007). Durante el primer y segundo estadio las larvas son gregarias, conforme crecen estas se vuelven solitarias (Capinera, 2014).

2.2.1.3 Descripción de la pupa

Cuando la fase larval termina, estas bajan al suelo para iniciar la etapa de pupa, excavan una cámara subterránea entre 1 a 2 cm de profundidad y en algunos casos llegan a excavar hasta los 5 cm. Cuando ya se encuentran dentro de esta cámara, las larvas tejen un capullo de seda y posteriormente se desarrolla la pupa para protegerse durante la hibernación (Zheng et al. 2011b). Las pupas presentan un color marrón, llegan a medir entre 15 a 22 mm de longitud y tienen dos espinas de 0.5 mm de longitud y un par adicional de espinas más cortas en posición dorsal (EPPO, 2020).

2.2.1.4 Descripción de los adultos

Las alas llegan a medir hasta 30 mm, las alas anteriores son color café grisáceo y tienen un patrón de bandas irregulares transversales en forma de zigzag, presentan una mancha clara semicircular al centro del ala y cerca del margen costal. Las alas

posteriores son color gris o blanco uniforme, con una línea oscura en el margen (Bautista, 2006).



Figura 3. Larva de *Spodoptera exigua* donde la flecha muestra la mancha lateral en el mesotórax (imagen tomada de https://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/beet_armyworm.htm).

Los adultos pueden aparearse desde la primera noche que emergen, el tiempo de apareamiento es variable y puede durar entre 30 a 180 min, esto depende de la edad de los adultos (Luo et al. 2003). Los adultos principalmente tienen hábitos nocturnos, aunque en ocasiones aparecen desde la puesta del sol, durante el día se encuentran en reposo protegidos entre el follaje (Garza y Terán, 2001). La oviposición en las hojas de la planta por parte de las hembras inicia de cinco a seis días posteriormente al emerger (Farahani et al. 2012).

2.3 Métodos de control de *S. exigua*

Para el control de esta plaga existen diferentes métodos que pueden usarse desde de la etapa larval hasta la adulta.

Estos métodos consisten en el monitoreo, control tradicional, físico, mecánico, químico, biológico y etológico (Pérez-Hedo et al. 2015). No obstante, lo anterior, el control químico es el más utilizado en la agricultura (Pérez-Hedo et al. 2015). El uso de control químico es desmedido y trae consigo problemas para el medio ambiente, sin embargo, este no es la única problemática, sino que también tiene problemas para la salud humana y animal y puede afectar a los insectos benéficos (León-García et al. 2012).

Los problemas que estos químicos tienen, han llevado a que se busquen alternativas de control que sean amigables con el medio ambiente, una de estas alternativas es el control biológico con enemigos naturales (Williams et al. 2013), como parasitoides, depredadores (IAEA, 2022) y hongos entomopatógenos que son capaces de mantener controladas las poblaciones de la plaga (SENASICA, 2021).

2.4 Míridos depredadores

El orden Hemiptera se compone por un número grande y diverso de especies, estas se diferencian por la forma del cuerpo, tamaño, alas, antenas, ciclos de vida y gremios alimenticios. Debido a la gran diversidad de especies, el orden se divide en tres subórdenes: Heteróptera (chinchas verdaderas), Auchenorrhynca (cigarra, chicharras, entre otros) y Sternorrhyncha (moscas blancas y pulgones) (Zumbado-Arrieta y Azofeifa-Jiménez, 2018). Dentro Heteróptera, se encuentran cerca de 75 familias y, estas se encuentran dentro de la tribu Dicyphini que tiene una gran diversidad.

Debido a esta diversidad, las especies dentro de esta tribu han evolucionado para estar adaptados a diferentes entornos en los que estos se encuentren (Schuh, 1995). La familia Miridae está compuesto por alrededor del 25% de todas las especies descritas del suborden Heteróptera (aproximadamente 10,000 especies). La gran diversidad de ambientes en las que estas especies se encuentran ha hecho que estas especies puedan alimentarse de distintos grupos biológicos. Esto ha provocado que las especies que están dentro de estos grupos sean objeto de investigación por su potencial, como enemigos naturales y por sus hábitos fitófagos (Cassis y Schuh, 2012). Existen estudios en los que estos insectos han mostrado ser eficaces frente a plagas de artrópodos, por ejemplo, las moscas blancas, pulgones, trips, ácaros y lepidópteros (Bueno et al. 2013; Zappalà et al. 2013).

El uso de míridos ha mostrado ser la opción más eficaz para controlar las plagas de lepidópteros y moscas blancas, los míridos son capaces de mantener controladas sus poblaciones más que el uso de otros enemigos naturales como los parasitoides y los hongos entomopatógenos (Calvo et al. 2012; Urbaneja et al. 2012). En la cuenca del mediterráneo oriental, se ha implementado el uso de los míridos zoofitófagos para el control de plagas en los cultivos de jitomate, algunas

de las especies más utilizadas son: *Macrolophus pygmaeus* Rambur 1869 y *Nesidiocoris tenuis* Reuter 1895, estas, han logrado disminuir de manera significativa el uso de productos químicos (Pérez-Hedo et al. 2015). Desde la década de los 80's, investigadores de distintos países han evaluado los efectos de especies de la tribu Dicyphini sobre poblaciones de insectos plaga en cultivos hortícolas, esto con el objetivo de integrar los míridos zoofitófagos en programas de manejo integrado de plagas (MIP) (Pérez-Aguilar, 2016). En Europa, el MIP permite que estos depredadores colonicen naturalmente los invernaderos cuando los productores dejan de usar insecticidas de amplio espectro (Alomar et al. 2002; Gabarra et al. 2006).

El uso de míridos zoofitófagos como agentes de control en distintos cultivos de hortalizas actualmente causa controversia, debido a que tienen hábitos mixtos y por esta razón, algunas especies de míridos pueden llegar a convertirse en plagas, un ejemplo de esto es *N. tenuis* (CABI, 2015). Sin embargo, las especies de míridos por sus hábitos alimenticios, es poco común que causen daños graves a las plantas (Albajes y Alomar, 2008) y pueden ser resultado de interacciones que ocurren entre la morfología, fisiología, tipos de cultivo, variedades y algunas variables ambientales (Gessé, 1992). Se ha observado que la abundancia de las presas no influye en la alimentación de las chinches sobre los cultivos (Pumariño et al. 2010). Aunque en países europeos el uso de chinches ha demostrado ser un método de control biológico eficaz, en países de América del norte, como Estados Unidos y Canadá es un método poco estudiado. Por lo tanto, por su potencial, se está iniciando la investigación en especies de míridos como lo son: *Engytatus varians*, *Engytatus modestus* Distant, *Dicyphus hesperus* Knight (Wheeler, 2001; Araya y Cáceres, 2018).

2.5 *Engytatus varians*

Es una especie zoofitófaga, se puede alimentar de áfidos, moscas blancas, pseudocóccidos y lepidópteros (Martínez et al. 2014), la distribución de esta especie va desde América del norte hasta Sudamérica (Silva et al. 2016). En México, se reportó por primera vez en el estado de Michoacán en el año 2014 y se observó alimentándose de larvas de *Bactericera cockerelli* Surc. (Hemiptera: Triozidae) en

plantas de jitomate (Martínez et al. 2014). Esta especie ha demostrado tener una alta capacidad depredadora contra varios insectos herbívoros de importancia agrícola (Martínez et al. 2014) y es considerada como un importante enemigo natural de la mosca blanca *Bemisia tabaci* Genn en diversos cultivos hortícolas (Castiñeiras, 1995). También se ha observado su presencia en cultivos de tabaco alimentándose de huevos y larvas de *Heliothis virescens* Fabricius (Hurtado et al. 2006; Martínez et al. 2014). Por lo antes mencionado, es una especie que causa altas expectativas para ser usado en planes de manejo de plagas. Sin embargo, se requiere realizar más investigación para que este insecto sea considerado un método de control seguro y eficaz (Hernández-Quintero et al. 2017).

2.5.1 Ciclo de vida

2.5.1.1 Huevo

Las hembras insertan los huevos dentro de los tejidos de vegetales para dificultar la visibilidad y así evitar la depredación (Mena, 2016). El huevo tiene forma de elipse y ligeramente curvo y al ser recién ovipositados o con menos de 24 h, son transparentes (Fig. 4a) y conforme maduran se vuelven blanquecinos (Fig. 4e). A las 24 h tienen una longitud de 0.8 x 0.2 mm, cuando los huevos llegan a las 168 h (0.9 x 0.3 mm), se pueden ver los ojos rojos de las ninfas (Pérez-Aguilar, 2016). Comúnmente, los huevos de *E. varians* presentan dos o tres proyecciones exocoriales con forma de cuernos, los cuáles serán sus conductos respiratorios (Fig. 4e) (Perdikis y Lykouressis, 2002). El estadio de huevo tiene una duración alrededor de nueve días (Pérez-Aguilar, 2016).

2.5.1.2 Ninfa

La primera etapa de ninfa (N_1) dura alrededor de cuatro días, esta llega a medir 0.9 x 0.2 mm, tiene ojos rojizos y un cuerpo cilíndrico de color amarillo pálido (Fig. 4f). El color se oscurece a medida que avanza el desarrollo. (Pérez-Aguilar, 2016). Las patas son largas, delgadas y descoloridas al igual que las antenas (Pérez-Aguilar, 2016). La segunda etapa (N_2) dura aproximadamente 3 días, muy similar al primer

estadio, pero tiene el doble de tamaño (1.8 x 0.4 mm) y ligeramente verdoso (Fig. 4g). En el tercer estadio (N₃), hay un ala primitiva (Figura 4h) de 2 x 0,5 mm con una duración de 2 días. El cuarto estadio (N₄) dura alrededor de 3 días, mide 2.6 x 0.5 mm y se diferencia en las aletas que alcanzan el borde de ataque del segundo segmento abdominal (Fig. 4i). Finalmente, el quinto estadio (N₅) tiene un tamaño de 2.7 x 0.5 mm y se diferencia porque el primordio del ala se extiende hasta el centro del cuarto segmento abdominal (Fig. 4j). En esta fase se pueden identificar y distinguir diferencias de sexos, con una duración de cinco días.

2.5.1.3 Adulto

Los adultos son de color amarillo verdoso, las alas grises y el esternón abdominal verdoso (Pérez-Aguilar, 2016). Los ojos son rojos. El fémur tiene pequeñas manchas circulares de color marrón oscuro dispersas. El cuarto base del primer segmento de antena y el segundo segmento de antena es de color marrón oscuro a negro. Tienen una cabeza que converge en la vista trasera, ojos ligeramente salientes, cuatro segmentos en las antenas y la longitud de las antenas es aproximadamente igual a la longitud del cuerpo. Se ha observado que *E. varians* en plantas de jitomate, se alimenta de huevos y ninfas del psílido del jitomate *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) (Palma-Castillo et al. 2019).

Macho: Los machos pueden llegar a medir 3.07 mm de largo y 0.5mm de ancho, el abdomen es más estrecho en comparación con las hembras (Fig. 4k y l). Los últimos segmentos denotan la genitalia con parámetros expuestos. El macho en condiciones de laboratorio llega a vivir hasta 17 días (Mena, 2016).

Hembra: Las hembras son más pequeñas que los machos, miden 2.6 mm de largo y 0.5 mm, tienen un abdomen más robusto (Figura 4n y o). En el vientre tienen una abertura en el cuarto segmento, en este se muestra su genitalia (Figura 4m). En condiciones de laboratorio llegan a vivir 22 días.

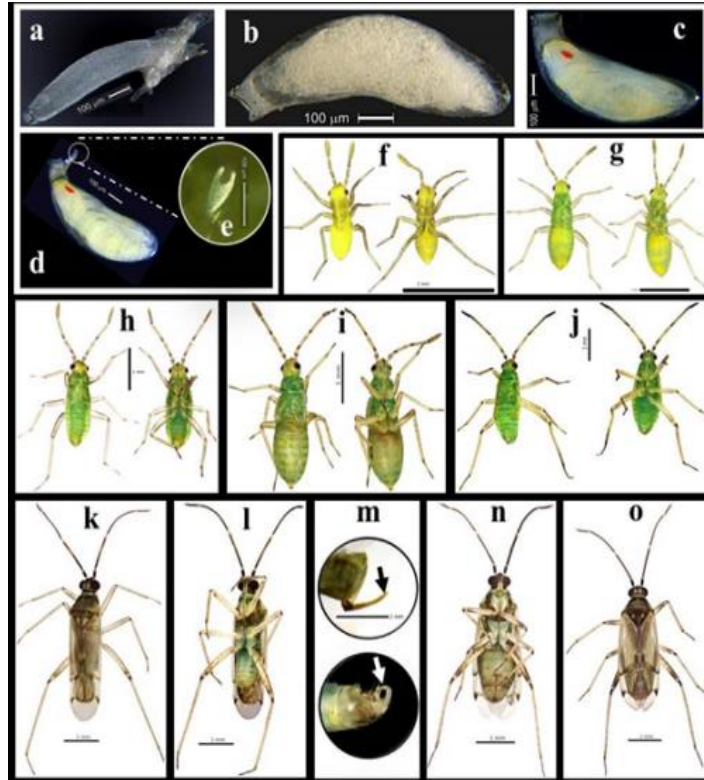


Figura 4. Morfología y ciclo de vida de *Engyptus varians*. Vista lateral de huevo de *E. varians* (a), (b), (c) y (d) de 24, 72, 168 y 216 h de edad, (e) cuerno respiratorio con dos proyecciones ornamentales; (f), (g), (h), (i) y (j) vista dorsal y ventral la ninfa de primero, segundo, tercero, cuarto y quinto estadio, respectivamente; (k) y (l) vista dorsal y ventral del macho, respectivamente; genitalia de (m) hembra (flecha indica el aparato ovopositor) y macho (flecha indica proceso de capsula genital acodada); (n) y (o) vista ventral y dorsal de la hembra (Tomada de Pineda et al. 2016).

2.6 *Trichoderma harzianum*

El reino Fungi se compone por distintos órdenes, uno de ellos es el de los Ascomycetes, dentro de este orden hay organismos que se consideran de gran importancia económica, algunos son patógenos y otros pueden ser controladores biológicos debido a que producen antibióticos y micotoxinas (Romero-Arenas et al. 2009). Dentro del orden de los Ascomycetes se encuentra la familia Hypocreacea en la cual se encuentra el género *Trichoderma* (Singh, 2020). La especies de *Trichoderma* sp. son hongos cosmopolitas, típicamente habitan en el suelo, pueden ser usados en sustratos para el cultivo de hongos comestibles (Klein y Eveleigh 1998; Romero-Arenas et al. 2009). Hasta el año 1996 se habían descrito cerca de 40 taxones de *Trichoderma* sp. Sin embargo, basados en su morfología, el número real podría ser más de 200 taxones (Samuels, 1996; Romero-Arenas et al. 2009). Las especies de *Trichoderma* sp. en su mayoría se han descrito en Norteamérica y

el continente europeo (Romero-Arenas et al. 2009). Un gran número de especies de la familia *Trichoderma* son utilizadas en la agricultura como agentes de control biológico, para la producción de enzimas, antibióticos y en la biorremediación de suelos contaminados (Fernández-Velázquez 2015), algunas de estas especies son: *T. harzianum*, *Trichoderma aggressivum* Shoemaker, *Trichoderma pleuroti* Song, *Trichoderma atroviride* Harman, entre otras. En este trabajo se utilizó *T. harzianum* y se le puede encontrar en diferentes ambientes como materia orgánica y suelo. Está adaptada a diferentes condiciones lo que hace que tenga una amplia distribución. Además, es conocida por su producción de toxinas y antibióticos (Seaby, 1996). Se conoce que en los primeros estadios de *T. harzianum*, el color del micelio es blanco y conforme se desarrolla se torna de un color verde oscuro después de la esporulación. Las colonias de *T. harzianum*, crecen y maduran rápidamente a los cinco días de incubación. Se ha observado que produce enzimas hidrolíticas que degradan componentes de la pared celular de muchos microorganismos, que luego pueden ser utilizados como fuente de nutrientes para las plantas (Krupke et al. 2003).

2.6.1 Ciclo de vida

El desarrollo de *T. harzianum* comienza cuando el hongo se expande y se divide en una estructura parecida a una hifa, esta estructura tiene un diámetro de 5-10 μ . La producción asexual de esporas tiene lugar cuando se liberan una gran cantidad de esporas con un diámetro de 3-5 μ . También se forman clamidosporas individualmente y, a veces, dos o más pueden unirse. Los conidióforos tienen un tamaño de 62,5-69 x 3-4,7 μ m, son verdes y tienen ramificaciones perpendicularmente y en ocasiones ramas laterales en grupos de dos a tres, con una forma piramidal (Romero-Arenas et al. 2009).

2.7 Mecanismos de defensa

Las plantas a través de la evolución han desarrollado numerosas estrategias para defenderse de organismos enemigos, conocidas como mecanismos de defensa o estrés (Pérez et al. 2004). Sin embargo, no sólo cuentan con sus propios

mecanismos, sino que son capaces de formar interacciones que las benefician o que pueden ser antagónicas (Ramírez y Rodríguez, 2012), estas interacciones pueden ser complejas (Fig. 5), en parte a la gran diversidad de especies de plantas, insectos y microorganismos, incluyendo, a los que sus interacciones son benéficas y permiten mejorar el crecimiento y la nutrición vegetal y favorecen la tolerancia a estrés, el control de plagas y la polinización (Pozo et al. 2004).

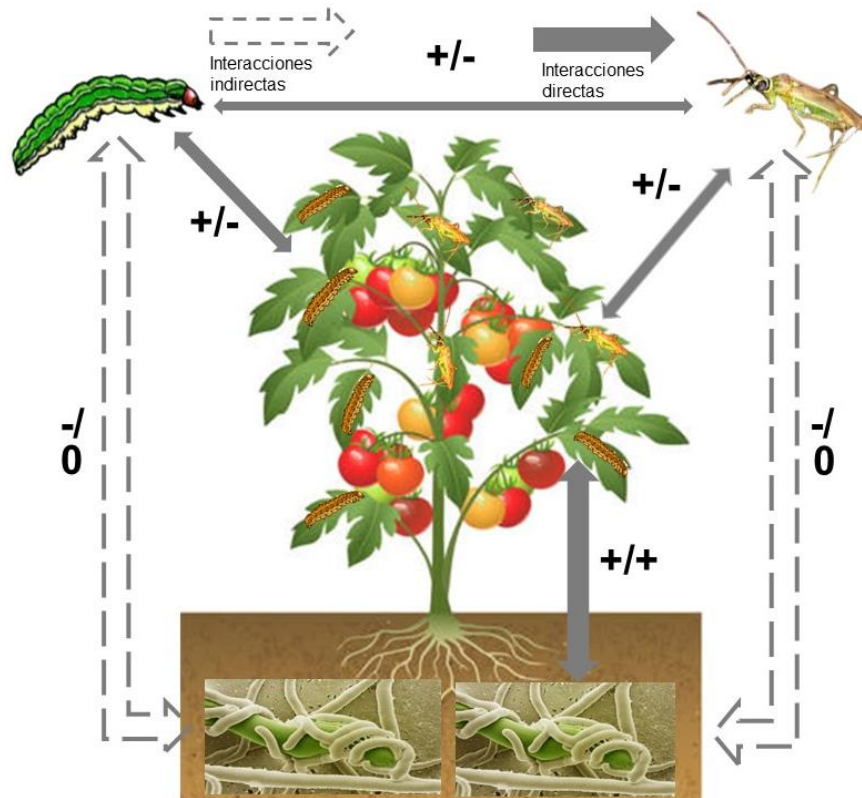


Figura 5. Diagrama de interacciones multitróficas entre *Solanum lycopersicum*, *Engytatus varians*, *Spodoptera exigua* y *Trichoderma harzianum*. Los símbolos $+/-$ representan una interacción en la que un organismo se beneficia mientras que la otra se ve afectada, el $+/+$ representa las interacciones en las que ambos organismos se ven beneficiados, los símbolos $-/0$, representan las interacciones en las que un organismo se ve afectado de manera negativa, mientras que el otro organismo ni se beneficia ni se ve afectado. Elaboración propia

Los insectos herbívoros, pueden desencadenar diferentes respuestas de las plantas y estas, al detectar los compuestos de la saliva de los insectos o el daño provocado en alguna parte, desencadenan las respuestas de defensa, que puede ser la producción de metabolitos secundarios tóxicos o repelentes y de volátiles (Vivanco et al. 2005). Debido a ello, las plantas generan respuestas de defensa aumentando las concentraciones de diversas fitohormonas como pueden ser el ácido jasmónico, ácido abscísico y ácido salicílico, etc. (Bouagga et al. 2018).

3. HIPÓTESIS

Trichoderma harzianum modula la respuesta de defensa de la planta de jitomate y la interacción de *E. varians* y *S. exigua* en plantas de jitomate bajo condiciones controladas.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar el efecto de la inoculación de *T. harzianum* en la defensa y nutrición de las plantas de tomate y su posible impacto en el control biológico de la interacción entre *E. varians* y *S. exigua*, en condiciones de invernadero

4.2 Específicos

- Evaluar las variables agronómicas de la planta de jitomate inoculadas con *T. harzianum* en la etapa vegetativa y reproductiva en la interacción entre *E. varians* y *S. exigua*.
- Evaluar la nutrición vegetal en plantas de jitomate inoculadas con *T.harzianum* a *E. varians* y *S. exigua*.
- Evaluar la defensa vegetal en plantas de jitomate inoculadas con *T. harzianum* a *E. varians* y *S. exigua*.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Diseño experimental

Se realizó un experimento multifactorial al azar con tres factores: (1) plantas sin y con *T. harzianum*, (2) plantas sin y con *S. exigua* y (3) plantas sin y con *E. varians*. El experimento tuvo cinco repeticiones por tratamiento, dando como resultado 8 tratamientos y 40 unidades experimentales (2x2x2x5). Las plantas se colocaron en bloques al azar en una cámara de crecimiento vegetal Lumistell® T500.

5.2 Materiales biológicos

Solanum lycopersicum: Se usaron plantas de jitomate de la variedad Saladette de la empresa Rancho los Molinos (www.rancholosmolinos.com). Las plantas se germinaron en un semillero con un sustrato rico en humus de lombriz de la empresa Rancho los Molinos® y roca perlita en proporción 2:1 (v:v). Para asegurar la germinación se sembraron aproximadamente 200 plántulas, estas permanecieron durante 21 días en el semillero.

Trichoderma harzianum (Th): Se utilizó inóculo proveniente de la casa comercial Microvida innovación® (<https://www.microvida.mx/>). Para cada planta se utilizó una concentración de 1.5×10^6 UFC/g (unidades formadoras de colonias).

Spodoptera exigua (Se): Las larvas del gusano soldado fueron obtenidos de una cría establecida en el laboratorio en Entomología Agrícola del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Las larvas se alimentaron de dieta semisintética y los adultos con miel al 15% y se mantuvieron a 25 ± 2 °C, 70-80% de humedad relativa (HR) y un fotoperiodo de 16:8 h (Luz: Oscuridad) (Pineda et al. 2020).

Engytatus varians (Ev): La cría fue alimentada con huevecillos de *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae) (Bio Bichs de México, S.A. de C.V., Uruapan, Michoacán, México), depositados sobre las hojas de jitomate.

La cría se mantuvo a 25 ± 1 °C, 56% HR y un fotoperiodo de 12:12 h (L: O) (Pineda et al. 2016).

5.3 Suelo

El suelo se colectó en la localidad de Jamaica del municipio de Tarímbaro, Michoacán de Ocampo (19°51' N y 101°08' O., 1869 msnm) suelo agrícola franco arcilloso, tiene un pH de 8.33 (alcalino), tiene una capacidad de campo del 33 %. Este suelo se mezcló con arena de río silicada en proporción 1:1 (peso/peso) con el propósito de mejorar las propiedades de retención, aireación y drenaje del suelo. El suelo se esterilizó en una autoclave Novatech® a 120°C y 1.05 Kg/cm² por 90 min. Se aplicó el inóculo de *T. harzianum* a una concentración de 1.5×10^6 UFC/g (unidades formadoras de colonias).

5.4 Establecimiento del experimento

Los experimentos se realizaron en el laboratorio de Agroecología del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México Campus Morelia (IIES-UNAM). Las plántulas se trasplantaron a los 21 días de haber germinado, se colocaron en macetas con capacidad de 1.5 L con la mezcla del suelo antes descrita, en cada maceta se colocó una plántula.

Los nutrientes de las plantas se mezclaron con el suelo en forma líquida, posteriormente se agregaron a las macetas, en las cantidades siguientes (mg kg⁻¹ de suelo seco): KH₂PO₄ (30) K₂SO₄ (75), CaCl₂·2H₂O (75), CuSO₄·5H₂O (2.1), ZnSO₄·7H₂O (5.4), MnSO₄·H₂O (1.,5), MgSO₄ ·7H₂O (45), Na₂MoO₄·2H₂O (0.18) y NH₃NO₄ (30) (Real-Santillán et al. 2019). El NH₃NO₄ se aplicó constantemente una vez por semana hasta el final del experimento.

Las plantas se mantuvieron en una cámara de crecimiento vegetal Lumistell® T500 bajo condiciones controladas (25 ± 1 °C, 12:12 h (L:O), estas fueron regadas cada tercer día y cuando tenían cuatro hojas verdaderas completamente expandidas y una altura aproximada de 30 cm, todas fueron cubiertas por una malla de tergal francés (0.2 mm de diámetro de poro) para contener a los insectos. A continuación, se les colocaron 35 larvas neonatas de *S. exigua* recién eclosionadas

en cada planta y tres días después se les colocaron tres parejas de adultos de *E. varians*.

5.5 Cosecha

Los insectos permanecieron diez días en las plantas, posteriormente fueron removidos, y se cuantificaron los parámetros agronómicos: altura, diámetro del tallo, número de flores y de frutos, diámetro polar (largo del fruto) y ecuatorial de los frutos (ancho del fruto), volumen total del fruto, posteriormente se evaluó la herbivoría por las larvas de *S. exigua* con el método visual propuesto por Dirzo y Domínguez (1995) este consiste en asignar seis categorías de daño (0,1,2,3,4,5 y 6; 0,1-5, 6-12, 13-25, 26-50, 51-100% respectivamente). Una vez que todos los insectos fueron retirados, la parte aérea se separó de la radical. Se tomó una hoja que presentaba herbivoría y se sumergió en 40 mL de metanol y almacenó en tubo Falcon de 50 mL para posteriormente analizar la defensa vegetal (ácido acetilsalicílico y jasmónico). El resto de la biomasa se colocó en un horno Fisher Scientific® a 80 °C por 72 h para secar la planta y posteriormente pesarla. Después de retirar las muestras del horno se almacenaron a temperatura ambiente en bolsas de papel.

5.6 Cuantificación de la nutrición vegetal

Las plantas que fueron almacenadas se colocaron por segunda vez en un horno a 80 °C por 24 h con el fin de eliminar la humedad adquirida en el periodo que estuvieron almacenadas. Una vez que las plantas fueron retiradas del horno, cada una de las muestras se trituró en un molino de la marca Thomas Scientific® utilizando una malla de 0.42 mm. De cada muestra se tomaron 0.2 g para procesarse mediante el método de Micro-Kjeldahl propuesto por Murphy y Riley (1962). Para determinar el nitrógeno en la planta se utilizó el método propuesto por Murphy y Riley (1962) y para el fósforo se siguió el método de Bremner (1996). Las muestras se colocaron en tubos digestores (75 mL) a esto se les agregó 1.1 g de mezcla digestora la cual contenía 1.0 g de sulfato de cobre y 10 g de potasio monobásico en una proporción 1:10. Al resto de tubos se adicionaron dos muestras blanco que contenían sólo la muestra digestora.

Posteriormente se añadieron 3 mL de Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) al 30% a cada tubo por 10 min, para llevar a cabo la reacción de oxidación. En una cámara de extracción se agregaron lentamente por las paredes del tubo digestor 7 mL de ácidos sulfúrico (H_2SO_4) para disociar los compuestos nitrogenados de restos de agua, fosfatos y dióxido de carbono. Las muestras en los tubos digestores se colocaron en un bloque digestor para elevar la temperatura gradualmente $50\text{ }^\circ\text{C}$ cada 20 min hasta llegar a una temperatura $375\text{ }^\circ\text{C}$. Se mantuvo esta temperatura durante 3 h. Las muestras se dejaron reposando por 24 h.

Después el extracto se pasó por un filtró en discos de papel Whatman® del número 1 (0.125 mm) en viales de cristal. Se diluyeron 0.2 mL de la muestra en 9.8 mL de agua destilada para obtener una dilución 1:50. Para el caso del fósforo se usó una dilución de 2 mL en 8 mL de agua destilada para obtener una proporción de 1:5. Los extractos se homogeneizaron con un agitador mecánico Eberbach® a 300 rpm durante 30 min. Para la cuantificación la cantidad de amonio presente en la muestra, se utilizó el método colorimétrico en un autoanalizador Bran Luebbe® a una longitud de onda de 600 nm. Para el nitrógeno total se hizo absorber en este autoanalizador: una solución buffer de trabajo, nitropruciatosalicilato de sodio $[(Na_2Fe(CN)_5NO_2H_2O)]$, hipoclorito de sodio ($NaClO$), agua, solución de lavado (ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 4%).

5.7 Defensa vegetal

Por cada planta se tomó una muestra de aproximadamente 4 g de tejido vegetal (la tercera hoja tomando la base como referencia). Se siguió la metodología descrita por Contreras-Cornejo et al. (2021). El tejido fresco se depositó en tubos Falcon® que contenían 40 mL de metanol puro. Las muestras se maceraron a 4°C en obscuridad durante 30 días. Al término de este periodo se tomó una alícuota de 10 ml que se transfirió a un tubo de ensaye de cristal y se le añadieron 0.03 g de carbón activado por muestra para capturar los pigmentos. Posteriormente, la fase orgánica se colocó en un tubo de ensaye que se colocó a 75°C y se esperó a que el solvente se evaporara totalmente bajo una corriente de nitrógeno gaseoso. Una vez seca la muestra, se procedió a derivar para obtener los subproductos metil-esterificados de

las fitohormonas. A cada muestra se le agregaron 2.5 ml de un reactivo que consistió en 2 mL de metanol y 0.5 ml de cloruro de acilo. Bajo esta condición, cada muestra se sónico durante 30 min y después se colocó a 75°C durante una hora. Al término de este tiempo, el reactivo se evaporó con nitrógeno gaseoso. Antes de secarse completamente, el pellet concentrado de cada muestra fue colocado en un tubo Eppendorf y secado totalmente con N₂. Para el análisis químico las muestras se disolvieron en 50 µL de diclorometano y se inyectaron 2 µl por cada muestra. El análisis químico se realizó en un cromatógrafo (Agilent 7890B; Agilent, Foster City, CA, USA), equipado con un detector MS (5977A; Agilent) y el software Mass Hunter Workstation Software (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). El cromatógrafo se equipó con una columna capilar HP-5 MS (Agilent). Las detecciones del ácido jasmónico-metil ester (AJ-ME) se realizaron mediante la detección de los iones m/z 83 and m/z 224 [M⁺] y m/z 152 para el ácido salicílico metil ester (AS- ME). Las condiciones de operación del cromatógrafo fueron utilizar Helio (1 mL min⁻¹) como gas acarreador, la temperatura del inyector fue de 250 °C y la temperatura del detector fue de 300 °C. La columna fue calentada por 5 min a 150 °C y se incrementó 5 °C min⁻¹ para una temperatura final de 278 °C por 5 min. Finalmente, las cuantificaciones de AJ-ME y AS- ME (ng g⁻¹). realizaron con un punto de concentración de calibración externa

5.8 Análisis estadísticos

Se realizaron análisis de varianza con modelos lineales generalizados (GLM). Para el número de jitomates y flores con una distribución Poisson, en las demás variables se utilizó Gamma (volumen del fruto, diámetro polar, peso seco aéreo y radicular N y P total, N:P, concentración ácido salicílico, jasmónico y herbivoría). Se realizaron ANOVAS de dos vías para encontrar diferencias entre tratamientos. Se realizaron pruebas post hoc de Tukey para buscar diferencias entre medias. Todos los análisis se realizaron con un 95% de confianza. Se utilizó el programa de R 4.2.1 (www.r-project.org), con las paqueterías emmeans, lsmeans, multcompView, ggplot2 y ggtext. Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) con el paquete Factomine con el fin de visualizar en una sola gráfica todo el experimento.

6. RESULTADOS

La hipótesis se cumple de manera parcial por qué no se pudo medir la defensa de las plantas de jitomate, sin embargo, no se evaluó el efecto de *T. harzianum* sobre la interacción entre los insectos, esto debido a la depredación de la chinche sobre la larva, no se recuperaron larvas vivas en las plantas donde interactuaban los tres organismos.

6.1 Variables agronómicas

Los tratamientos en donde las plantas estaban no tenían el inoculo con Th y no había presencia de los insectos las plantas mostraron un mayor peso aéreo comparado con las plantas que si estaban inoculadas con Th (Fig. 6A).

De manera similar, en el caso del peso seco de la raíz se encontró un mayor peso cuando la planta no habían sido inoculada con *T. harzianum*, que cuando si había presencia de Th (Fig. 6B). En cuanto a los otros tratamientos e interacciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 2).

Adicionalmente, se observó que en las plantas inoculadas con Th se produjo un menor número de flores que cuando Th no estaba presente (Fig. 7A). Para el caso de Se, los análisis mostraron que en las plantas en las que fueron colocados los insectos, no presentaron diferencias significativas en la producción de flores en comparación a las plantas en las que no los tenían, esto tampoco fue significativo cuando Ev estaba en interacción con Se, ni cuando la planta estaba en interacción con Th, Ev y Se (Cuadro 2). En el caso de los frutos se observó que las plantas que se inocularon con Th produjeron frutos con un diámetro polar menor en comparación con las plantas que no estaban inoculadas (Fig. 7B). En cuanto al volumen de los frutos, se observaron frutos con un volumen menor en plantas inoculadas con Th, en comparación con las plantas que lo estaban (Fig. 7C). En la producción de frutos no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 2).

6.2 Nutrición vegetal

Las plantas que fueron inoculadas con *T. harzianum* tenían una concentración de fósforo más alta en comparación con las plantas donde no había presencia del hongo. (Cuadro 3; Fig. 8A) Se midió la relación Nitrógeno: Fósforo, los análisis

mostraron una relación Nitrógeno: Fósforo más alta en plantas inoculadas con *T. harzianum* (Cuadro 3; Fig. 8B).

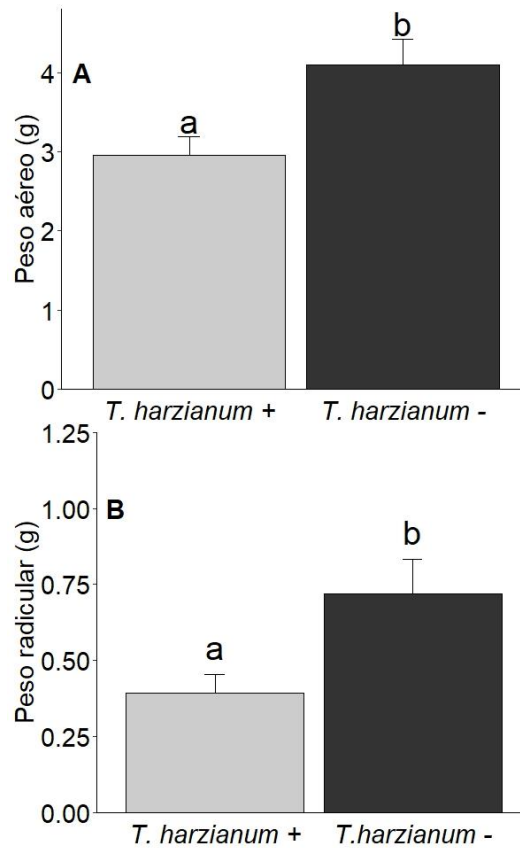


Figura 6. Se muestran promedios \pm EE de: Peso seco aéreo (A) y peso seco radicular (B) de las plantas de *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos.

Cuadro 2. Valores de P del análisis multifactorial de varianza GLM para los tratamientos con *T. harzianum* (Th), *S. exigua* (Se) y *E. varians* (Ev) y todas sus interacciones para las variables de medición.

	Peso aéreo total	Peso Raíz Total	Número de flores	Número de frutos	Diámetro Polar	Volumen
Th	**	**	*	0.64	*	**
Se	0.98	0.42	0.27	0.24	0.27	0.73
Ev	0.64	0.5	0.76	0.64	1	0.37
Th * Se	0.28	0.65	0.09	0.95	0.38	0.98
Th * Ev	0.59	0.16	0.51	0.84	0.48	0.99
Se * Ev	0.51	0.46	0.87	0.32	0.22	0.59
Th * Se * Ev	0.76	0.97	0.31	0.79	0.58	0.54
Desviación residual y grados de libertad	4.9650 sobre 32 GL	15.883 sobre 32 GL	25.049 sobre 32 GL	16.318 sobre 32 GL	4.4095 sobre 32 GL	4.1123 sobre 32 GL

'P < 0.001 = (***)', 'P < 0.01 = (**)', 'P < 0.05 = (*)'.

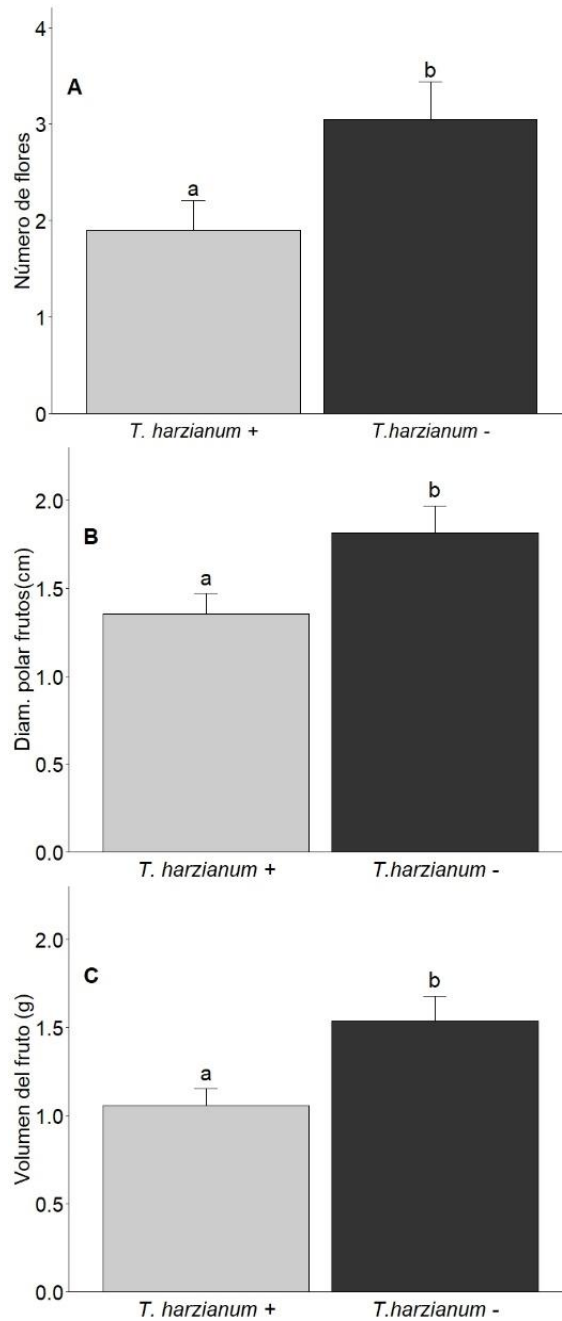


Figura 7. Se muestran promedios \pm EE de: (A) Producción de flores en plantas de *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*. (B) Diámetro polar de frutos en plantas de *S. lycopersicum* con la presencia de *T. harzianum*. (C) . Volumen de los frutos de *S. lycopersicum* inoculadas con *T. Harzianum*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos.

6.3 Defensa vegetal

Las plantas con el inoculo de Th tuvieron una menor concentración de ácido jasmónico comparado con las no inoculadas (Fig. 9A). En contraste, cuando se estuvo presente hubo una mayor concentración de ácido jasmónico en comparación de las que no tenían al insecto (Fig. 9B). En las plantas donde Th interactuaba con Ev, en el tratamiento en el que estaba presente tanto Th como Ev tuvo la menor concentración, los tratamientos en los que no estaba presente Th tuvieron una mayor concentración de ácido jasmónico (Fig. 9C). En cuanto a los demás tratamientos no se observaron diferencias significativas (Cuadro 4). Por otro lado, en la concentración de ácido salicílico se observaron diferencias significativas cuando las plantas interactuaban con Ev, la menor concentración la tuvieron las plantas en donde no estaba presente Ev (Cuadro 4; Fig. 10).

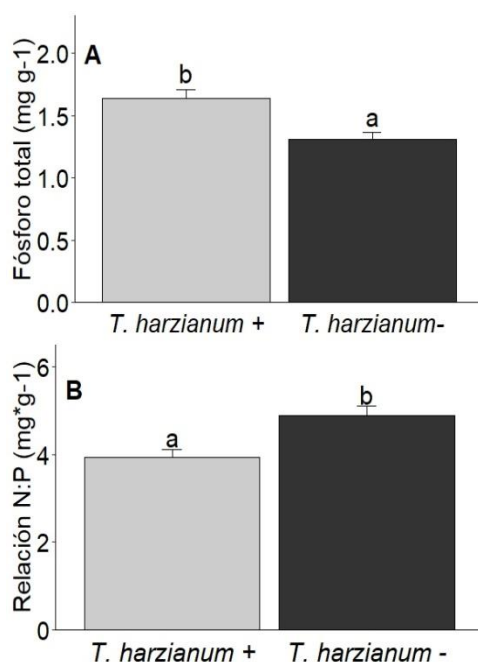


Figura 8. Se muestran promedios y EE de : (A) Concentración de fósforo total y (B) relación N:P en plantas *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos.

En el caso de la herbivoría no se observaron diferencias significativas entre las plantas ($P>005$) el promedio de herbivoría fue de 2.66 ± 0.941 para las plantas control y de 2.67 ± 0.943 para las plantas con Ev, el promedio para Th el promedio fue de 2.42 ± 0.898 y para Th y Ev fue de 2.25 ± 0.866 .

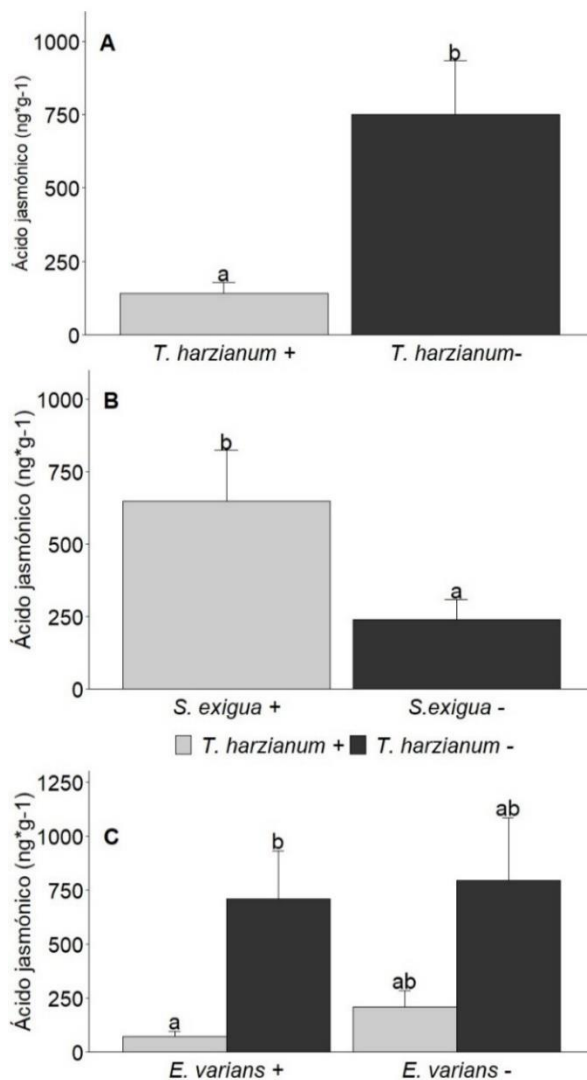


Figura 9. Se muestran promedios \pm EE de: (A) Concentración de ácido jasmónico en plantas de *S. lycopersicum* inoculadas con *T. harzianum*, (B) en presencia de *S. exigua* y (C) en plantas inoculadas con *T. harzianum* en presencia de *E. varians*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos.

Cuadro 3. Valores de P del análisis multifactorial de varianza por GLM para los tratamientos con *T. harzianum* (Con y Sin), *S. exigua* (Se) y *E. varians* (Ev), y todas sus interacciones para las variables de medición de la nutrición vegetal.

	Nitrógeno total	Fósforo Total	Relación N:P
Th	0.82	***	***
Se	0.4	0.53	0.64
Ev	0.95	0.32	0.38
Th * Se	0.3	0.73	0.9
Th * Ev	**	0.58	0.64
Se * Ev	0.08	0.94	0.97
Th * Se * Ev	0.15	0.53	0.65
Desviación residual y grados de libertad	0.0083109 sobre 16 GL	0.39588 sobre 16 GL	0.36868 sobre 16 GL

'P < 0.001 = (***)', 'P < 0.01 = (**)', 'P < 0.05 = (*)'.

Cuando se analizaron todas las variables mediante un PCA, se pudo observar que el primer componente explica el 17.7% de la varianza, el segundo componente explica el 39.3%, en total el modelo explica el 57% de la varianza. En el primer componente no se observó una clara separación entre los grupos (Con y sin Th), por otro lado, en el segundo componente se puede observar la separación de los grupos, las variables diámetro polar, volumen, peso aéreo total y peso seco raíz total, son las más cercanas al eje del segundo componente, esto quiere decir que son las variables más importantes para la separación entre los grupos (con y sin Th) en el segundo componente (Fig. 11).

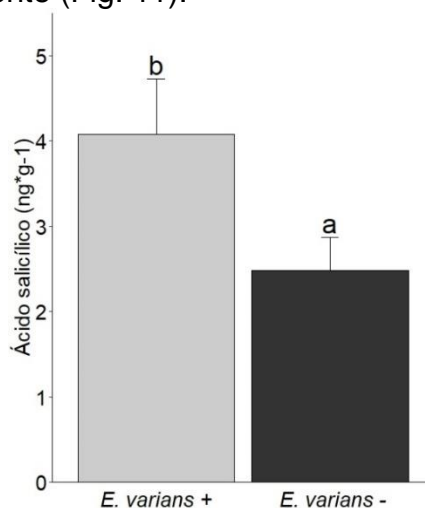


Figura 10. Se muestran promedios ± EE de: Concentración de ácido salicílico en plantas de *S. lycopersicum* en presencia de *E. varians*. Las letras a y b presentan a los grupos que se asignan en la prueba de Tukey, son un indicador de la significancia estadística de la diferencia entre ellos.

Cuadro 4. Valores de P del análisis multifactorial de varianza GLM de los factores *T. harzianum* (Th), *S. exigua* (Se) y *E. varians* (Ev), y todas sus interacciones para las variables de defensa vegetal.

Factores	Ácido Salicílico	Ácido Jasmónico
Th	0.14	***
Se	0.08	**
Ev	*	0.55
Th * Se	0.72	0.05
Th * Ev	0.39	*
Se * Ev	0.41	0.11
Th * Se * Ev	0.40	0.48
Desviación residual y grados de libertad	14.948 sobre 32 GL	58.258 sobre 32 GL

'P < 0.001 = (***)', 'P < 0.01 = (**)', 'P < 0.05 = (*)'.

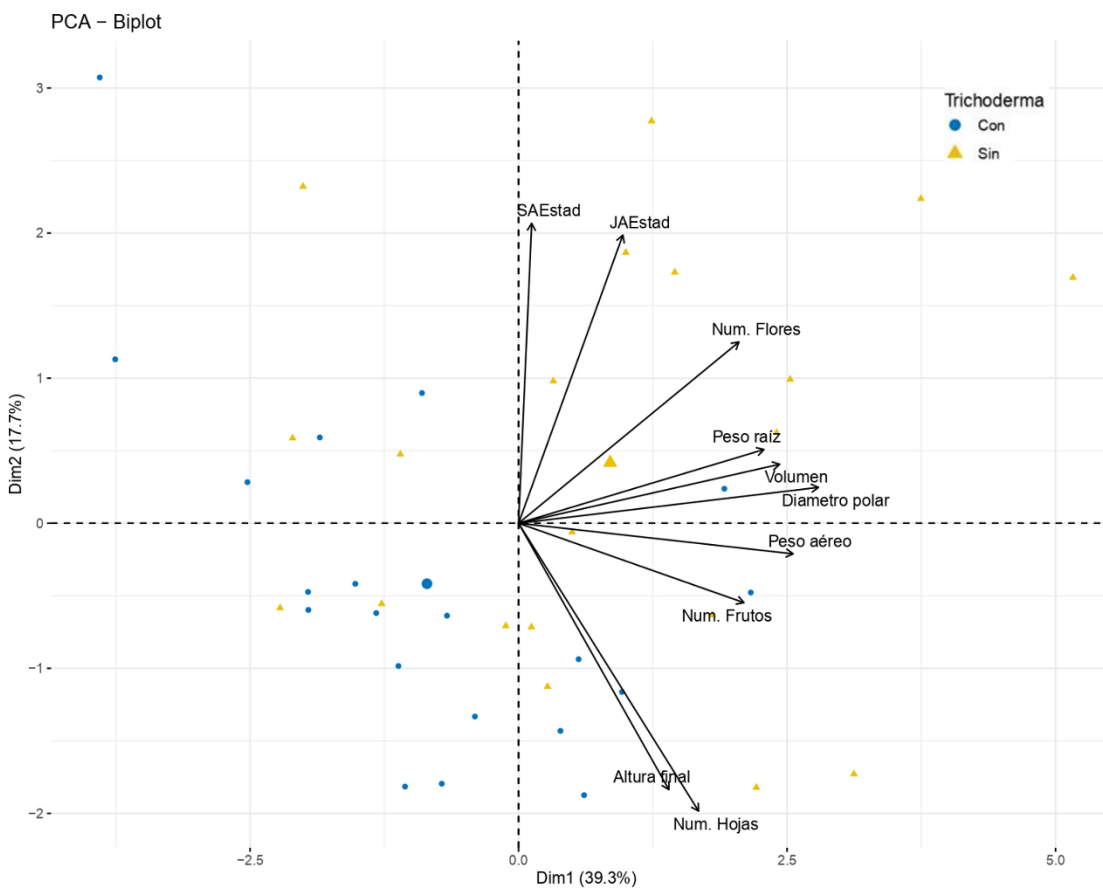


Figura 11. Análisis de componentes principales (PCA) donde se relacionan las variables: SAEstad: Concentración ácido salicílico, JAEstad: concentración de ácido jasmónico, núm. Flores: producción total de flores, peso raíz: peso seco de la raíz, volumen: volumen del fruto, diámetro polar: Diam. polar del fruto, peso aéreo: peso seco aéreo, núm. Frutos: producción total de frutos, núm. Hojas: producción total de hojas, altura final: altura de la planta al final del experimento agrónomicas y defensa vegetal con plantas con y sin el inoculo de *T. harzianum*.

7. DISCUSIÓN

Los resultados principales del presente estudio muestran que *T. harzianum* puede afectar la defensa vegetal e incluso interactuar con los míridos para modularla y también que los dos insectos, pueden influenciar esta por su cuenta. También se observó de *T. harzianum* puede tener impactos en la nutrición de las plantas e impactos negativos sobre las variables agronómicas.

7.1 Biomasa

Estudios previos han demostrado que, en general, *Trichoderma* sp. tiene efectos positivos en la producción de biomasa radicular. Este hongo puede formar simbiosis mutualistas y ayuda a las plantas al promover el desarrollo de las raíces, gracias a su capacidad para solubilizar fosfatos, micronutrientes y cationes minerales que se utilizan en el metabolismo de las plantas (Cano, 2011; Tucci et al. 2011). Sin embargo, en el presente estudio se encontró que en las plantas inoculadas con *T. harzianum*, la biomasa radicular fue menor que en las plantas en las que el hongo no estaba presente. En este sentido se conoce que *Trichoderma* sp. tiene la capacidad de producir compuestos inductores de auxinas, no obstante, cuando hay una alta producción de esta fitohormona en la rizosfera, también puede afectar el desarrollo del sistema radicular como observaron Vinale et al. (2008).

Por otro lado, en la biomasa aérea, se observó que en las plantas con el inoculo de *T. harzianum* el peso seco aéreo fue menor. Esto puede estar explicado por la cantidad de UFC/g de suelo utilizadas, en trabajos con germinación de semillas, con concentraciones de 1×10^5 UFC/g de *Trichoderma* sp. tuvieron una menor tasa de germinación, mostrando un efecto inhibitorio sobre la germinación de semillas y sobre el desarrollo de las plántulas en plantas de cebolla, lechuga y achicoria (Ousley et al. 1993; Nieto-Jacobo et al. 2017). Estos efectos pueden estar relacionados con la producción del compuesto trichosetina, el cual es capaz de inhibir el desarrollo de algunas especies vegetales como lo son *Oryza sativa*, *Vigna radiate*, *Medicago sativa*, *Capsicum frutescens* y *Solanum lycopersicum* (Marfori y Bamba, 2003; Nieto-Jacobo et al. 2017).

Sin embargo, las condiciones en las que se llevó a cabo ese experimento son diferentes a las del presente estudio, por ejemplo: el tipo de suelo, sus propiedades fisicoquímicas, variedad de la planta, cepa de *Trichoderma* sp., tipo de inoculación y las condiciones en las que se realizó el experimento pueden influir en los resultados. La estimulación en el crecimiento vegetal depende genotipo de jitomate, lo que sugiere que la respuesta a *Trichoderma* sp. está influenciada por la genética de las plantas, por ejemplo, Tucci et al. (2011) observaron, que en diferentes variedades de jitomate tenían efectos positivos y en otros negativos.

Otro de los factores mencionado anteriormente, es el uso de diferentes especies, cepas y concentraciones de *Trichoderma* sp.

En este sentido, existen trabajos donde se pusieron a prueba distintas especies de *Trichoderma* sp. en tomate y se observó que el efecto del hongo sobre la planta depende de la especie, como indicaron García y Rojas (2022), que encontraron que especies como *T. asperellum* y *T. asperelloides* tienen efectos positivos en el tamaño de las hojas, mientras que, para la biomasa radicular, *T. asperellum* tuvieron una longitud de raíz mayor. Para la altura de las plantas se observó que aquellas con el inoculo de *T. asperelloides* y *T. guizhouense* tuvieron una altura mayor que las plantas con otros inóculos.

También, Lynch et al. (1991), al trabajar con plantas de lechuga *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) y *T. harzianum*, *T. viridae* cada una con concentraciones diferentes reportaron tanto efectos positivos como negativos en la biomasa aérea y radicular de la planta, dependiendo de las cepas y las concentraciones de unidades formadoras de colonias que se usaron para inocular el suelo.

Por otra parte, la presencia de los insectos no tuvo efectos sobre la biomasa de la planta, ni sobre la herbivoría del gusano soldado o de *E. varians*.

Por lo anterior, se hipotetiza que el efecto negativo de *Trichoderma* sp. sobre el desarrollo aéreo y radicular de las plantas depende de la cepa utilizada para el inóculo, la dosis, inóculo, el genotipo y finalmente la etapa de desarrollo donde se hace la aplicación (Lynch et al. 1991; Donoso et al. 2008; García y Rojas, 2022).

En los parámetros de reproducción de las plantas, se observó que las plantas inoculadas con *T. harzianum* tuvieron una menor producción de flores, este patrón

se observó en el volumen y diámetro polar del fruto. Estos resultados como los anteriores, pueden ser explicados por las diferencias en las cepas y las concentraciones usadas y la forma de inoculación pueden tener efectos en la producción y el tamaño del fruto (Sharma y Gothwal 2017).

Por ejemplo, Harman (2006) comparan distintas líneas endogámicas de la planta de maíz y diversas cepas de *Trichoderma* encontraron que esta planta presentaba efectos negativos en la producción de grano, siendo la mazorca más pequeña en presencia de algunas cepas del hongo. Por otra parte, existen factores como enfermedades y patógenos que pueden influir en el desempeño de las cepas de *Trichoderma*. Por otra parte, existen factores como enfermedades y patógenos que pueden influir en el desempeño de las cepas de *Trichoderma*.

No obstante, en el presente estudio, no evaluó el efecto antagónico de otros microorganismos en el suelo que pudieran influenciar este trabajo

7.3 Nutrición vegetal

En el estudio de nutrición vegetal, se observó que las plantas inoculadas con *T. harzianum* presentaron una mayor concentración de fósforo que las plantas sin inoculación. Sin embargo, en la relación N:P, las plantas inoculadas mostraron una menor relación. En cuanto a la concentración de nitrógeno, no se encontraron diferencias significativas entre las plantas con y sin inoculación.

Es ampliamente conocido que *T. harzianum* tiene la capacidad de solubilizar los nutrientes del suelo (Cano et al. 2011), entre estos se encuentran los fosfatos, micronutrientes y cationes minerales útiles para el metabolismo de las plantas (Tucci et al. 2011), lo que puede provocar un aumento en la biomasa de las plantas. Aunado a ello, este hongo también mejora la eficiencia del uso de nutrientes, y mejora la producción de cultivos (Harman et al. 2004).

Sin embargo, en nuestros resultados no se observó que hubiera diferencias en la concentración de nitrógeno. Existen pocos estudios en los que se explique el efecto de la interacción entre los inóculos y las dosis de nitrógeno, este tema no se ha estudiado a fondo, sin embargo, en el estudio de Quiñones-Aguilar et al. (2015) se evaluó el efecto de cinco cepas de HMA: *Glomus* sp. (G); un consorcio nativo

llamado Agua Dulce (AD) aislado del suelo rizosférico de plantaciones de *Agave cupreata* en Michoacán, México; *Glomus claroideum* (Gc); *Acaulospora spinosa* (Ac), bajo la fertilización de N, 0, 0.5, 1.0 y 4.0 mM (NH₄)₂SO₄, se encontró que en la cepa AG el tratamiento con 1.5 mM de N alcanzó el porcentaje más alto de colonización con 71.67%. Por otro lado, se observó que cuando las plantas tenían la interacción de las cepas con 4.0 mM de N tenían una menor biomasa aérea (Quiñones-Aguilar et al. 2015).

En el presente trabajo la fertilización frecuente con nitrato de amonio puede haber mantenido un equilibrio adecuado de nitrógeno en el suelo, lo que puede haber influido en el efecto de *Trichoderma* para la absorción de este nutriente teniendo un efecto neutro, ni aumento, ni disminuyó la concentración de N en las plantas con y sin *T. harzianum*. En estudios con HMA en los que se compara la absorción de las plantas con y sin el inoculo, en suelos ricos y pobres en zinc, no se encontraron diferencias entre plantas con y sin el inoculo de HMA entre suelos (Konieczny y Kowalska, 2017).

Por otra parte, es sabido que las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la luz, pueden afectar la eficacia de *Trichoderma* en la estimulación de la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas, algunas de estas características son el pH y la temperatura, esta última debe estar en un rango de temperatura que va desde los -5 °C hasta los 10 °C esto para mejorar la producción de enzimas que están relacionadas con la absorción de algunos nutrientes. La humedad en el suelo también afecta las funciones de *Trichoderma* sp. (Kredics et al. 2003). En suelos muy húmedos afectan la germinación de esporas y el crecimiento del tubo germinativo (Magan, 1988), crecimiento del micelio (Luard y Griffin, 1981), tienen un efecto crítico en la capacidad saprofita (Eastburn y Butler, 1991), sobre la interacción con otros hongos (Badham, 1991) y en la producción de enzimas (Grajek y Gervais, 1987). La producción de estas enzimas podría estar relacionada con absorción de nitrógeno y afectar negativamente la concentración de este en las plantas. En nuestro experimento las condiciones de la cámara de crecimiento vegetal Lumistell® T500, tenía una temperatura de 25 ± 1 °C

y un fotoperiodo de 12:12 h (L:O), la humedad del suelo no se midió, sin embargo, al regarse las plantas se buscaba que el suelo se mantuviera húmedo.

En cuanto a la cantidad de Fósforo, durante la simbiosis, la planta hospedera recibe nutrientes del suelo procesados por el hongo (principalmente fósforo), mientras que la planta le brinda compuestos de carbono derivados de la fotosíntesis, siendo las plantas inoculadas con *T. harzianum* las que poseen una mayor concentración de fósforo en el tejido vegetal (Brundrett et al. 1996). Esto puede deberse a que *Trichoderma* cambia la composición de los microorganismos en la raíz, además mejora la absorción de nutrientes, mejora solubilidad de los nutrientes del suelo, incrementa la formación de pelos absorbentes, mejora la profundización de la raíz (Harman y Shores, 2007). Las enzimas hidrolíticas que produce *Trichoderma* sp. movilizan la materia orgánica del medio y de esta forma mejoran la absorción de compuestos más simples por la planta y finalmente influyen en su estado nutricional (Verma et al. 2007).

En cuanto al balance N:P se observó que en las plantas inoculadas con *T. harzianum* tenían una menor relación N:P que las plantas sin el inoculo, se conoce que *Trichoderma* puede alterar la química de los nutrientes del suelo (Zhang et al, 2018). En el trabajo de Di Lonardo et al (2020), mencionan que cuando hay cantidades pequeñas de nitrógeno el hongo lo inmoviliza en su biomasa y no deja disponibilidad de este nutriente, por otro lado, se conoce que la disponibilidad de N está relacionada con la biomasa de la planta, cuando hay bajas concentraciones de N está relacionado con una menor biomasa. Además, se ha observado que la fertilización constante con N disminuye la biomasa fúngica tal como señalaron Di Lonardo et al. (2020).

En resumen, los resultados de este estudio muestran que la inoculación con *T. harzianum* tiene un efecto positivo en la concentración de fósforo de las plantas, pero no afecta significativamente la concentración de nitrógeno. La interacción entre inóculos y dosis de nitrógeno debe ser considerada en futuros estudios. Además, se debe tener en cuenta la influencia de las condiciones ambientales en la eficacia de *Trichoderma* para la estimulación de la absorción de nutrientes.

7.4 Defensa vegetal

En los análisis de defensa vegetal se observó una menor concentración en las plantas con *T. harzianum*. Por otro lado, en las plantas con *S. exigua* se encontró una mayor concentración en comparación con las plantas que no tenían la larva. En cuanto al ácido salicílico, las plantas con *E. varians* presentaron una mayor concentración que las plantas que no tenían la chinche.

Se sabe que los hongos del género *Trichoderma* pueden aumentar los niveles de ácido salicílico y jasmónico en las plantas hospederas cuando se ven afectadas por depredadores o patógenos (Segarra et al. 2007). Sin embargo, en este estudio se encontró que las plantas con el inoculo de *T. harzianum* tuvieron una menor concentración de ácido jasmónico que las plantas sin el inoculo. En otros estudios realizados con *Arabidopsis* sp. se ha observado que en la interacción entre la planta y *T. harzianum*, los genes involucrados en las vías de señalización dependientes de ácido jasmónico y ácido salicílico disminuyeron su expresión (Salazar, 2016).

Además, las concentraciones de ácido jasmónico también dependen de la cepa con la que se inocula, como se observó en el estudio de Marra et al. (2020) que utilizaron diferentes especies y cepas de *Trichoderma* en plantas de olivos. En ese estudio, las cepas KV906 y T22 sobre expresaron el gen PR27, mientras que la cepa GV41 indujo la expresión de TD. Estos resultados muestran que, dependiendo de la cepa, la planta puede ser inducida a diferentes tipos de defensa.

En otros estudios, como el de Enríquez-López (2020), se compararon tres inóculos de *Trichoderma* en plantas de café (*T. harzianum*, *T. asperellum* y *T. viridescens*) y se encontraron diferencias significativas en la producción de ácido jasmónico. En este caso, la concentración de ácido jasmónico encontrada en plantas inoculadas con *T. viridescens* fue menor en comparación con las otras cepas.

En las plantas donde se colocó *S. exigua* se encontró una mayor concentración de ácido jasmónico en plantas inoculadas. Se conoce que los ataques de insectos herbívoros desencadenan una serie de respuestas inmediatas, como cambios en el incremento de calcio citosólico y en potencial de membrana,

así como producción de especies reactivas de oxígeno y de nitrógeno, la apertura de canales iónicos y la fosforilación de proteínas (Maffei et al. 2007; Zebelo y Maffei 2015). Como consecuencia de estos procesos, ocurre la síntesis de ácido jasmónico, este puede regular la transcripción de genes involucrados en la emisión de compuestos volátiles, la producción de toxinas, proteínas antinutritivas. (Erb y Howe, 2012). Las plantas donde interactuaron *T. harzianum* con *E. varians* mostraron una concentración menor de ácido jasmónico, que las plantas donde sólo estaba *E. varians*. Esto se explica debido a que *E. varians* activa la vía de defensa del ácido salicílico, esta es una hormona implicada en la respuesta a patógenos e insectos chupadores de floema (Vidal, 2019) y en las plantas en las que sólo estaba *E. varians* se encontró una mayor concentración de ácido salicílico, se conoce que los niveles elevados de ácido salicílico pueden inhibir la expresión de genes que son inducidos por heridas bloqueando la biosíntesis de ácido jasmónico (Farmer et al. 1992).

Engyptatus varians demostró tener potencial como agente de control biológico, puesto que no permitió que *Spodoptera exigua* hiciera un daño notable en las plantas de *S. lycopersicum*. En los resultados no se observó que *S. exigua* tuviera efectos sobre la biomasa aérea, la nutrición, el único efecto que tuvo fue en la defensa vegetal, activó la vía de defensa por ácido jasmónico, por otro lado, no se observó que *E. varians* tuviera efectos en la biomasa, esto puede ser que por el tiempo de duración del experimento no se haya logrado observar el daño provocado por *E. varians*, sin embargo, existen estudios en los que a pesar de la ausencia de alimento los adultos, sin importar el sexo, no causaron anillos necróticos en las secciones de los tallos ni dejaron cicatrices de alimentación sobre los frutos de jitomate (Esquivel-Ayala et al. 2021).

8. CONCLUSION

Se concluye que tanto *T. harzianum* como los móridos zoofitófagos presentan efectos, algunos positivos y otros negativos, sobre la planta del jitomate. Aunque *T. harzianum* tuvo efectos negativos sobre la planta, incluyendo la reducción de la biomasa vegetal aérea y radicular, la disminución del tamaño de los frutos y la producción de flores, y efectos negativos en la producción de ácido jasmónico, se observó que mejoró la absorción de fósforo en las plantas. Se hipotetiza que los efectos de *Trichoderma* sobre la planta del jitomate pueden deberse a la cepa con la que interactúa, al estadio de la planta en la que se colocó el inóculo o a la dosis con la que se inocula. Es importante seguir investigando la dosis-respuesta de estos compuestos para determinar la cantidad óptima de inoculación que se debe utilizar para obtener los mejores resultados.

Por otro lado, *Engytatus varians* demostró ser un potencial agente de control biológico, al no permitir un daño significativo por parte de *Spodoptera exigua* en la biomasa de la planta. Aunque no se encontraron diferencias entre las plantas con y sin la larva, se atribuye a la cantidad de insectos utilizados. Se recomienda para futuros trabajos colocar un mayor número de insectos sobre las plantas y aumentar el tiempo de permanencia de estos. No se observaron efectos negativos de *E. varians* sobre la biomasa de la planta.

Es esencial seguir analizando las interacciones multitróficas entre los microorganismos del suelo, las plantas, los insectos herbívoros y sus depredadores para mejorar las nuevas estrategias de control biológico para el manejo de plagas. La comprensión de cómo influyen estos organismos en la protección de las plantas frente a las plagas y en la dinámica de las poblaciones de los insectos es fundamental para desarrollar estrategias más efectivas y adaptadas a las necesidades de cada cultivo.

9. REFERENCIAS

- Albajes, R. y Alomar, O. (2008). Facultative predators. En: Capinera, J.L. (Ed.), *Encyclopedia of Entomology*. Springer, The Netherlands, pp. 1400–1405.
- Allen Siezars, O. C. y Thomas Vanegas, E. R. (2021). Evaluación de la capacidad biocida de extractos de chile (*Capsicum annum*) sobre larvas de *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) (Doctoral dissertation, Bluefields Indian y Caribbean University).
<http://repositorio.bicu.edu.ni/12333/1/Tesis%20Onosma%20-%20Erick%2024.03.2021-%20clasificacion%20632.9.pdf>
- Alomar, O., Goula, M. y Albajes, R. (2002). Colonization of tomato fields by mirid bugs (Hemiptera: Heteroptera) in northern Spain. *Agriculture Ecosystems and Environment* 89: 105–115. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00322-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00322-X)
- Álvarez, G. M. (2015). Resistencia a insectos en tomate (*Solanum* sp.). *Cultivos Tropicales*, 36(2), 100-110.
- Araya, J. E. y Cáceres, R. (2018). Heterópteros míridos depredadores de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), en particular *Tupiocoris cucurbitaceus* (Spinola) observado en Chile central. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 28(2), 6-19. <http://doi.org/10.17163/lgr.n28.2018.01>
- Badham, E. R. (1991). Growth and competition between *Lentinus edodes* and *Trichoderma harzianum* on sawdust substrates. *Mycologia*, 83(4), 455-463. <https://doi.org/10.1080/00275514.1991.12026035>
- Bautista, M. N. (2006). Insectos plaga en México. Una guía para su identificación. Bayer CropScience-Colegio de Postgraduados México, México. 113 p.
- Björkman, T., Blanchard, L. M. y Harman, G. E. (1998). Growth enhancement of shrunken-2 (sh2) sweet corn by *Trichoderma harzianum* 1295-22: effect of environmental stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(1), 35-40. <https://doi.org/10.21273/JASHS.123.1.35>
- Bohmfolk, G. T., Frisbie, R. E., Sterling, W. L., Metzger, R. B. y Knutson, A. E. (1996). Identification, biology, and sampling of cotton insects. Texas Agril Exten Serv, The Texas A & M Univ. System. Bolger, A. M., Lohse, M., y Usadel, B. (2014). Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics*, 30, 2114-2120. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu170>
- Bolger, A. M., Lohse, M. y Usadel, B. (2014). Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics*, 30, 2114-2120. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu170>
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5, 1085-1121. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37>
- Brown, E. S. y Dewhurst, C. F. (1975). The genus *Spodoptera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Africa and the Near East. *Bulletin of Entomology Research* 65:221-262. <https://doi.org/10.1017/S0007485300005939>
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. y Malajczuk, N. (1996). Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR Monograph 32. *Australian Centre for International Agricultural Research*, Canberra.
- Bouagga, S., Urbaneja, A., Rambla, J. L., Flors, V., Granell, A., Jaques, J. A. y Pérez-Hedo, M. (2018). Zoophytophagous mirids provide pest control by

- inducing direct defences, antixenosis and attraction to parasitoids in sweet pepper plants. *Pest Management Science*, 74(6), 1286-1296. <https://doi.org/10.1002/ps.4838>
- Bueno V. H. P., van Lenteren, J. C., Lins, J. C., Calixto, A. M., Montes, F. C., Silva, B. D., Santiago, L. D. y and Pérez, L. M. (2013). New records of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) predation by Brazilian hemipteran predatory bugs. *Journal of Applied Entomology*, 137, 29-37. <https://doi.org/10.1111/jen.12017>
- Cabello, T. Saéz, Gómez, V., Abad, M. M. y Belda, J. J. (1990). Problemática fitosanitaria en cultivos hortícolas intensivos de Almería. *Agrícola Vergel* 104: 640-647
- CABI. (2015). Centre for Agricultural Bioscience International. Plantwise knowledge bank. Tomato bug (*Nesidicoris tenuis*). Consultado en Julio del 2022. <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=16251> .
- Calvo, J., Lorente, J. M., Stansly, P. y Belda, J. E. (2012). Preplant release of *Nesidiocoris tenuis* and supplementary tactics for control of *Tuta absoluta* and *Bemisa tabaci* in green house tomato. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 143: 111–119. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2012.01238.x>
- Cano M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* sp. y *Pseudomonas* sp. UNA REVISIÓN. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.
- Capinera, J. L. (2014). Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). Eeny-105. U.S. Department of Agriculture, UF/IFAS Extension Service, University of Florida. En línea: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN26200.pdf>
- Cassis, G. y Schuh, R. T. (2012). Systematics, biodiversity, biogeography, and host associations of the Miridae (Insecta: Hemiptera: Heteroptera: Cimicomorpha). *Annual Review of Entomology*, 57, 377-404. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-121510-133533>
- Castiñeiras, A. (1995). Natural enemies of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Cuba. *Florida Entomologist*. 78: 538-540. <https://journals.flvc.org/flaent/article/download/59158/56837>
- Che, W., Huang, J., Guan, F., Wu, Y. y Yang, Y. (2015). Cross-resistance and inheritance of resistance to emamectin benzoate in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(4): 2015–2020. <https://doi.org/10.1093/jee/tov168>
- Conrath, U., Pieterse, C. M. y Mauch-Mani, B. (2002). Priming in plant–pathogen interactions. *Trends in plant science*, 7(5), 210-216. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02244-6](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02244-6)
- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Real-Santillán, R. O., López-Carmona, D., García-Gómez, G., Galicia-Gallardo, A. P. y Larsen, J. (2021). In a belowground multitrophic interaction, *Trichoderma harzianum* induces maize root herbivore tolerance against *Phyllophaga vetula*. *Pest Management Science*, 77(9), 3952-3963. <https://doi.org/10.1002/ps.6415>
- Di Lonardo, D. P., van der Wal, A., Harkes, P. y De Boer, W. (2020). Effect of nitrogen on fungal growth efficiency. Plant Biosystems-an-International.

- Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 154(4), 433-437.
<https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1779849>
- Donoso, E., Lobos, G. A. y Rojas, N. (2008). Efecto de *Trichoderma harzianum* y compost sobre el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en vivero. *Bosque (Valdivia)*, 29(1), 52-57. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002008000100006>
- Eastburn, D. M. y Butler, E. E. (1991). Effects of soil moisture and temperature on the saprophytic ability of *Trichoderma harzianum*. *Mycologia*, 83(3), 257-263.
<https://doi.org/10.1080/00275514.1991.12026009>
- Ellis, S. E. (2005). New pest response guidelines: *Spodoptera* USDA. APHIS/PPQ/PDMP.
- Enríquez-López, S. L. (2020). Efecto de diferentes cepas de *Trichoderma* en la producción de ácido jasmónico en semillas y plántulas de café. Tesis para obtener el título de Maestra en Ciencias Agropecuarias. Universidad Veracruzana. pp. 82.
<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50517/EnriquezLopezSandra.pdf?sequence=1>
- EPPO, (2020). *Spodoptera exigua* (LAPHEG). EPPO Global Database. En línea:
<https://gd.eppo.int/taxon/LAPHEG>
- Erb, M., Meldau, S. y Howe, G. A. (2012). Role of phytohormones in insect-specific plant reactions. *Trends in plant science*, 17(5), 250-259.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.01.003>
- Esquivel-Ayala, B. A., Martínez, A. M., Figueroa, J. I., Palma-Castillo, L. J., Morales-García, J. L., Rebollar-Alviter, Á., ... y Pineda, S. (2021). el impacto de *Engyptatus varians* (Distant) (Hemiptera: Miridae) en tomate dentro de jaulas en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 409-409.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.409>
- FAOSTAT. FAO statistical program of work. (2016). Country indicators, crop statistic. Retrieved from.
- Farahani, S., Asghar, A. y Fathipour, Y. (2012). Life Table of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) on Five Soybean Cultivars. *Psyche: A Journal of Entomology*, <http://dx.doi.org/10.1155/2012/513824>.
- Farmer, E. E., Johnson, R. R. y Ryan, C. A. (1992). Regulation of expression of proteinase inhibitor genes by methyl jasmonate and jasmonic acid. *Plant Physiology*, 98(3), 995-1002. <https://doi.org/10.1104/pp.98.3.995>
- Fernández, R. V., Galiana, L. y Sánchez, M. M. C. (2004). Internal quality characterization of fresh tomato fruits. *Horticultural Science*. 39(2): 339-345.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.2.339>
- Fernández-Velázquez, N. E. (2015). El ácido acetilsalicílico como factor para generar aplicaciones biotecnológicas de *Trichoderma* con potencial en la agricultura (Master's thesis), 13-16.
http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3330/Fernandez_Velazquez_NE_MC_EDAR_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FIRA. (2019). Tomate Rojo. Panorama agroalimentario pp. 26 Calendario de actividades propuestas.
<https://es.scribd.com/document/502336019/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019#>

- Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International journal of plant genomics*, 2007. <http://doi.org/10.1155/2007/64358>
- Foolad, M. R. y Panthee, D. R. (2012). Marker-Assisted Selection in Tomato Breeding. *Critical Reviews Plant Sciences*, 31(2), 93-123. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.616057>
- Gabarra, R., Zapata, C., Castañé, C., Riudavets, J. y Arnó, J., (2006). Releases of *Eretmocerus mundus* and *Macrolophus caliginosus* for controlling *Bemisia tabaci* on spring and autumn greenhouse tomato crops. *Bulletin IOBC/WPRS* 29(4): 71-76. https://www.researchgate.net/publication/286193767_Releases_of_Eretmocerus_mundus_and_Macrolophus_caliginosus_for_controlling_Bemisia_tabaci_on_spring_and_autumn_greenhouse_tomato_crops
- García, D. R. y Rojas, J. V. (2022). Efecto de la inoculación con *Trichoderma* sobre el crecimiento vegetativo del tomate (*Solanum lycopersicum*). *Agronomía Costarricense*. 46(2). <https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52045>
- Garza, U. E. y Terán, V. A. P. (2007). El gusano soldado *Spodoptera exigua* y su manejo en la Planicie Huasteca. Folleto técnico No. 15 pp. 20 <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/156.pdf>
- Garza, U. E. y Terán, V. A. P., (2001). Manejo integrado de las plagas del algodón en la Planicie Huasteca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). *Centro de Investigación Regional del Noreste-Campo Experimental Ebanó. Folleto técnico No. 8.* 62 p. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj0ofrNvp79AhWR12oFHbLoC3IQFnoECBqQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.inifapcirne.gob.mx%2FBiblioteca%2FPublicaciones%2F85.pdf&usq=AOvVaw0M23LICI2ybD1MY1i-tnJs>
- Gessé, S. F. (1992). Comportamiento alimenticio de *Dicyphus tamaninii* Wanger (Heteroptera: Miridae). *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*. 18 (4): 685-6916. ISSN [0213-6910](https://doi.org/10.1155/2007/64358)
- Gilligan, T. M. y Passoa, C. S., (2014). Noctuidae-*Spodoptera exigua* (Hübner). LepIntercept - An identification resource for intercepted Lepidoptera larvae. <http://idtools.org/id/leps/lepintercept/exigua.html>
- Grajek, W. y Gervais, P. (1987). Influence of water activity on the enzyme biosynthesis and enzyme activities produced by *Trichoderma viride* TS in solid-state fermentation. *Enzyme and Microbial Technology*, 9(11), 658-662. [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(87\)90123-2](https://doi.org/10.1016/0141-0229(87)90123-2)
- Greenberg, S. M., Sappington, T. W., Legaspi, B. C., T. X. Liu, T. X. y Sétamou, M. (2001). Feeding and Life History of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) on Different Host Plants. *Annals of the Entomological Society of America*, 94(4): 566-575. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2001\)094\[0566:FALHOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2001)094[0566:FALHOS]2.0.CO;2)
- Greenberg, S. M., Sappington, T. W., Sé Tamou, M. y Liu, T. X. (2002). Beet Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Host Plant Preferences for Oviposition. *Environmental Entomology*, 31(1): 142-148 <https://doi.org/10.1603/0046-225X-31.1.142>

- Harman, G. E. (2000). Mythos and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derive from research on *Trichoderma harzianum* T22. *Plant Disease*. 84:377-393
- Harman, G. E., y Shores, M. (2007). The mechanisms and applications of symbiotic opportunistic plant symbionts. In *Novel biotechnologies for biocontrol agent enhancement and management* (pp. 131-155). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5799-1_7
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I. y Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature reviews microbiology*, 2(1), 43-56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Harman, G. E. (2006). Overview of Mechanisms and Uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 96(2), 190-194. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190>
- Henry, T. J. (2009). Biodiversity of Heteroptera. In: R. Foottit y P. Adler, (Eds.). *Insect Biodiversity: Science and Society*. Blackwell Publishing, Oxford. pp. 223–263.
- Hernández-Quintero, O., Pineda-Guillermo, P., Chavarrieta-Yáñez, J. M., Morales-Alonso, S. I., Figueroa de la Rosa, J. I. y Martínez-Castillo, A. M. (2017). Capacidad de consumo de *Engytatus varians* (distant) (Hemiptera: Miridae) sobre larvas de *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomología Mexicana*, 4, 120-124.
- Howell, C. R. (2006). Understanding the mechanisms employed by *Trichoderma virens* to effect biological control of cotton diseases. *Phytopathology*, 96(2), 178-180. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/phyto-96-0178>
- Hurtado, L. L., Mansito, N. A., Vara, G. Q. y Marrero, Y. R. (2006). Actividad de los enemigos naturales de plagas en barreras vivas asociadas con tabaco. *Centro agrícola* (33):45-50. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V33-Numero_1/cag091061471.pdf
- IAEA. (2022). Control Biológico. Organismo Internacional de Energía Atómica., de <https://www.iaea.org/es/temas/controlbiologico#:~:text=El%20control%20biol%C3%B3gico%20supone%20la, respetuosa%20con%20el%20medio%20ambiente>
- INFOAGRO, (2002). Manejo de lepidópteros plaga (en línea). http://www.infoagro.com/hortalizas/lepidopteros_plaga.asp#2.%20CICLO%20DE%20VIDA%20Y%20MORFOLOGÍA
- Klein, D. y Eveleigh, D. E. (1998). Ecology of *Trichoderma*. In: Kubicek CP, Harman GE, eds. *Trichoderma and Gliocladium. Basic biology, taxonomy and genetics*. London, UK: p 57–74. ISBN: 0-7484-0572-0
- Konieczny, A. y Kowalska, I. (2017). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the content of zinc in lettuce grown at two phosphorus levels and an elevated zinc level in a nutrient solution. *Journal of Elementology*, 22(2). <http://doi.org/0.5601/jelem.2016.21.4.1335>.
- Kredics, L., Antal, Z., Manczinger, L., Szekeres, A., Kevei, F. y Nagy, E. (2003). Influence of environmental parameters on *Trichoderma* strains with biocontrol potential. *Food Technology and Biotechnology*, 41(1), 37-42. ISSN 1330-9862 <https://www.academia.edu/download/82385608/163474.pdf>
- Krupke, O. A., Castle, A. J., y Rinker, D. L. (2003). The North American mushroom competitor, *Trichoderma aggressivum f. aggressivum*, produces antifungal

- compounds in mushroom compost that inhibit mycelial growth of the commercial mushroom *Agaricus bisporus*. *Mycological research*, 107(12), 1467-1475. <https://doi.org/10.1017/S0953756203008621>
- Labate, J. A., Grandillo, S., Fulton, T., Muños, S., Caicedo, A. L., Peralta, I. y Causse, M. (2007). *Tomato*. In *Vegetables*, pp. 1-125. https://doi.org/10.1007/978-3-540-34536-7_1
- León-García, I., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Arenas, L. D. y Solís-Aguilar, J. F. (2012). Susceptibilidad de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a insecticidas asociada a césped en Quintana Roo, México. *Agrociencia*. 46(3):279-287. ISSN 2521-9766.
- Luard, E. J. y Griffin, D. M. (1981). Effect of water potential on fungal growth and turgor. *Transactions of the British Mycological Society*, 76(1), 33-40. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(81\)80006-X](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(81)80006-X)
- Luna-Santillana, E. de J. (2014). Evaluación de bioinsecticidas microencapsulados a partir de *Bacillus thuringiensis* y neem para el control del gusano soldado *Spodoptera exigua* (Hübner). Universidad autónoma de Nuevo León facultad de ciencias biológicas. pp. 118. <http://eprints.uanl.mx/4073/1/1080253560.pdf>
- Luo, L., Cao, W., Qian, K. y Yi, H. (2003). Mating behavior and capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 46(4): 494-499.
- Lynch, J. M., Wilson, K. L., Ousley, M. A. y Whipps, J. M. (1991). Response of lettuce to *Trichoderma* treatment. *Letters in Applied Microbiology*, 12(2), 59-61. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1991.tb00503.x>
- Maffei, M. E., Mithöfer, A. y Boland, W. (2007). Before gene expression: early events in plant–insect interaction. *Trends in plant science*, 12(7), 310-316. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.06.001>
- Magan, N. (1988). Effects of water potential and temperature on spore germination and germ-tube growth in vitro and on straw leaf sheaths. *Transactions of the British Mycological Society*, 90(1), 97-107. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(88\)80185-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(88)80185-2)
- Marra, R., Coppola, M., Pironti, A., Grasso, F., Lombardi, N., d'Errico, G., ... y Vinale, F. (2020). The application of *Trichoderma* strains or metabolites alters the olive leaf metabolome and the expression of defense-related genes. *Journal of Fungi*, 6(4), 369. <https://doi.org/10.3390/jof6040369>
- Marfori, E. C., Kajiyama, S. I., Fukusaki, E. I. y Kobayashi, A. (2003). Phytotoxicity of the tetramic acid metabolite trichosetin. *Phytochemistry*, 62(5), 715-721. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00629-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00629-5)
- Martínez, C. A. M., Baena, M., Figueroa, J. I., Del Estal, P., Medina, M., Guzmán, L. E. y Pineda, S. (2014). Primer registro de *Engytatus varians* (Distant) (Hemiptera: Heteroptera: Miridae) en México y su depredación sobre *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): una revisión de su distribución y hábitos. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 30(3): 617-624. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372014000300011&script=sci_abstract&tlng=pt
- Mena Mociño, L. V. (2016). Características biológicas y reproductivas de *Engytatus varians* (Distant) y *Dicyphus maroccanus* Wagner (Hemiptera: Miridae), depredadores zoofitófagos de plagas de solanáceas. Tesis para obtener el

- título de Maestra en Producción Agropecuaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Pp. 62. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6583
- Murphy, J. y Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica Acta*, 27, 31-36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Nieto-Jacobo, M. F., Steyaert, J. M., Salazar-Badillo, F. B., Nguyen, D. V., Rostás, M., Braithwaite, M., ... y Mendoza-Mendoza, A. (2017). Environmental growth conditions of *Trichoderma* sp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Frontiers in plant science*, 102. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00102>
- OIT Organización internacional del trabajo. Seguridad y salud en la agricultura. (2011). Oficina Internacional del Trabajo. *Repertorio de recomendaciones prácticas*. Ginebra: Primera edición. 398 p. ISBN 978-92-2-324971-7.
- Osorio, A., Martínez, A. M., Schneider, M. I., Diaz, O., Corrales, J. L., Avilés, M. C., Smaghe, G. y Pineda, S. (2008). Monitoring of beet armyworm resistance to spinosad and methoxyfenozide in Mexico. *Pest Management Science*, 64(10), 1001–1007. <https://doi.org/10.1002/ps.1594>.
- Ousley, M. A., Lynch, J. M. y Whipps, J. M. (1993). Effect of *Trichoderma* on plant-growth a balance between inhibition and growth promotion. *Microbial Ecology*. 26, 277–285. <https://doi.org/10.1007/BF00176959>
- Palma-Castillo, L. J., Mena-Mociño, L. V., Martínez, A. M., Pineda, S., Gómez-Ramos, B., Chavarrieta-Yáñez, J. M. y Figueroa, J. I. (2019). Diet and growth parameters of the zoophytophagous predator *Engytatus varians* (Hemiptera: Miridae). *Biocontrol Science and Technology*, 29(9), 901-911. <https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1614531>
- Passoa, S. (1991). Color identification of economically important *Spodoptera* larvae in Honduras (Lepidoptera: Noctuidae). *Insecta Mundi*. Paper. 414. <http://digitalcommons.unl.edu/insectamundi/414>
- Perdikis, D., y Lykouressis, D. (2002). Description of the egg and nymphal instars of *Macrolophus pygmaeus* Rambur (Hemiptera: Miridae). *Entomología Hellenica*. 14: 32-40. <https://doi.org/10.12681/eh.14041>.
- Pérez-Aguilar, D. A. (2016). Evaluación del potencial de control biológico del mrido *Engytatus varians* (Distant) y determinación de su susceptibilidad hacia distintos pesticidas. Tesis de maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 99 pp. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6592
- Pérez-Hedo, M., A. y Urbaneja, A. (2015). Prospects for predatory mirid bugs as biocontrol agents of aphids in sweet peppers. *Journal of Pest Science*, 88(1), 65-73. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0587-1>.
- Pérez, E., Rodríguez, Y., Hernández, M. D. L. A. y Blanca, M. (2004). Dinámica de inducción de algunos sistemas de defensa en la interacción HMA-tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. Amalia. II. Inducción y expresión de peroxidasas y polifenoloxidasas en raíces de tomate. *Cultivos Tropicales*, 25(2), 45-52. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217832007>
- Pérez-Hedo, M., Urbaneja-Bernat, P., Jaques, J. A., Flors, V. y Urbaneja, A. (2015). Defensive plant responses induced by *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera:

- Miridae) on tomato plants. *Journal of Pest Science*, 88(3), 543-554. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0640-0>
- Pumariño, L., Alomar, O. y Agustí, N. (2010). Development of specific ITS markers for plant DNA identification within herbivorous insects. *Bulletin of Entomological Research*, 101: 271-276. <https://doi.org/10.1017/S0007485310000465>
- Pozo, M. J., Van Loon, L. C. y Pieterse, C. M. (2004). Jasmonates-signals in plant-microbe interactions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 23(3), 211-222. <https://doi.org/10.1007/s00344-004-0031-5>
- Quiñones-Aguilar, E., Rincon-Enriquez, E., Hernandez-Cuevas, G., Veronica, L. y Lopez-PACopyrightrez, L. (2015). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen concentrations on *Carica papaya* plant growth. *International Journal of Agriculture and Biology*, 17(1). ISSN 1560–8530.
- Ramírez-Gómez, M. y Rodríguez, A. (2012). Mecanismos de defensa y respuestas de las plantas en la interacción micorrícica: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 271-284.
- Rodríguez, A. G., García, L. J., y Fernández, P. (2011). Enfermedades del jitomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en invernadero en la zona centro de Michoacán. *Revista Mexicana de Fitopatología*. S/N.50-59.
- Rodríguez-Rodríguez, R., Tabares-Rodríguez, J. M. y Medina-San Juan, J. A. (1996). Cultivo moderno del tomate. *Ediciones Mundi Prensa*. Madrid 13-14 p.
- Romero-Arenas, O., Huerta-Lara, M., Damián-Huato, M. A., Domínguez Hernández, F. y Arellano Victoria, D. A. (2009). Características de *Trichoderma harzianum*, como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles. *Revista colombiana de Biotecnología*, 11(2), 143-151. ISSN 0123-3475
- Salazar Badillo, F. B. (2016). Acumulación diferencial de poliaminas y de los transcritos de las argininas descarboxilasas de *Arabidopsis* durante la interacción con dos cepas de *Trichoderma*.
- Samuels (1996). *Trichoderma*: a review of biology and systematics of the genus. *Mycological Research*. 100: 923- 935. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(96\)80043-8](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(96)80043-8)
- Schuh, R. T. (1995). Plant bugs of the world (Insecta: Heteroptera: Miridae). Systematic catalog, distributions, host list, and bibliography. *New York Entomological Society, New York*. pp. 1329.
- Seaby, D. A. (1996). Investigation of the epidemiology of green mould of mushroom (*Agaricus bisporus*) compost caused by *Trichoderma harzianum*. *Plant Pathology*, 45(5), 913-923. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1996.tb02902.x>
- Segarra, G., Casanova, E., Bellido, D., Odena, M. A., Oliveira, E. y Trillas, I. (2007). Proteome, salicylic acid, and jasmonic acid changes in cucumber plants inoculated with *Trichoderma asperellum* strain T34. *Proteomics*, 7(21), 3943-3952. <https://doi.org/10.1002/pmic.200700173>
- SENASICA (2021). Ficha técnica de gusano soldado *S. exigua*. En línea: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633036/Gusano_soldado_spodoptera_exigua.pdf

- Sharma, P. K. y Gothwal, R. (2017). *Trichoderma*: a potent fungus as biological control agent. In *Agro-environmental sustainability* pp. 113-125 .
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquero. (2022). Producción mensual agrícola. Secretaría de Agricultura y desarrollo Rural. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Silva, D. B., Bueno, V. H. P., Montes, F. C. y van Lenteren, J. C. (2016). Population growth of three mirid predatory bugs feeding on eggs and larvae of *Tuta absoluta* on tomato. *BioControl* 61, 545–553. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9736-1>.
- Singh, S. K., Singh, P. N., Maurya, D. K. y Rana, S. (2020). Advances in Systematics, Taxonomy, and Conservation of *Trichoderma* Species. In *Trichoderma: Agricultural Applications and Beyond* pp. 1-20.
- Tucci, M., Ruocco, M., de Masi, L., de Palma, M. y Lorito, M. (2011). The beneficial effect of *Trichoderma* sp. on tomato is modulated by the plant genotype. *Molecular Plant Pathology* 12:341-354. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00674.x>.
- Urbaneja, A., González-Cabrera, J., Arno, J. y Gabarra, R. (2012). Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin. *Pest Management Science*, 68(9), 1215-1222. <https://doi.org/10.1002/ps.3344>.
- Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. N. y Valero, J. R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* sp.: panoply of biological control. *Biochemical Engineering Journal*, 37(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.05.012>
- Vidal, E. S. (2019). Response to multiple stressors in Iberian pine trees: tradeoffs between drought stress and resistance to herbivory (Doctoral dissertation, Universidad de Vigo. <http://hdl.handle.net/11093/1339>
- Vinale, F., Sivasithamparan, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L., y Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>
- Vivanco, J. M., Cosío, E., Loyola-Vargas, V. M. y Flores, H. E. (2005). Mecanismos químicos de defensa en las plantas. *Investigación y ciencia*, 34(2), 68-75.
- Wheeler Jr., A.G. (2001). Biology of the plant bugs (Hemiptera: Miridae). Pests, predators, opportunists. Cornell University Press, Comstock Publishing Associates. Ithaca New York, USA.
- Williams, T., Arredondo-Bernal, H.C. y Rodríguez-del-Bosque, L.A. (2013). Biological Pest Control in Mexico. *Annual Review of Entomology*, 58, 119-140. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153552>.
- Yedidia, I., Benhamou N. y Chet, I. (1999). Induction of defence responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Applied and Environmental Microbiology*. 65(3):1.061-1.070. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.3.1061-1070.1999>
- Zappalà, L., Biondi, A., Alma, A. et al. (2013). Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle East, and their potential use in pest control strategies. *Journal of Pest Science*, 86, 635–647 <https://doi.org/10.1007/s10340-013-0531-9>.

- Zhang, F., Huo, Y., Cobb, A. B., Luo, G., Zhou, J., Yang, G., ... y Zhang, Y. (2018). *Trichoderma* biofertilizer links to altered soil chemistry, altered microbial communities, and improved grassland biomass. *Frontiers in microbiology*, 9, 848. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00848>
- Zebelo, S. A. y Maffei, M. E. (2015). Role of early signalling events in plant-insect interactions. *Journal of Experimental Botany*, 66(2), 435–448. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru480>
- Zheng, L. X., Cong, P. X., Wang P. X. y Lei, L. C. (2011a). A Review of Geographic Distribution, Overwintering and Migration in *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera:Noctuidae). *Journal of the Entomological Research Society*, 13(3):39-48. <https://entomol.org/journal/index.php/JERS/article/view/327/142>
- Zheng, X. L., Cong, X. P., Wang, X. P. y Lei, C. L. (2011b). Pupation behaviour, depth, and site of *Spodoptera exigua*. *Bulletin of Insectology*, 64 (2): 209-214. <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol64-2011-209-214zheng.pdf>
- Zumbado-Arrieta, M. y Azofeifa-Jiménez, D. (2018). Insectos de importancia agrícola. <https://copa.acguanacaste.ac.cr/bitstream/handle/11606/514/insectosimpagri-web.pdf?sequence=1&isAllowed=y>