

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Incidencia de *Bemisia tabaci* en germoplasma silvestre de jitomate y su relación con compuestos antioxidantes

Incidence of *Bemisia tabaci* in wild tomato germplasm and its relationship with antioxidant compounds

Authors/Autores: Alcantar-Acosta, S. M., Lobato-Ortiz, R., Ortega-Arenas, L. D., Conde-Martínez, V., Cruz-Izquierdo, S., García-Zavala, J. J., Mejía-Carranza, J.

ID: e1644

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1644>

Received/Fecha de recepción: February 12th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: June 27th 2025

Available online/Fecha de publicación: July 09th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: Alcantar-Acosta, S. M., Lobato-Ortiz, R., Ortega-Arenas, L. D., Conde-Martínez, V., Cruz-Izquierdo, S., García-Zavala, J. J., Mejía-Carranza, J. (2025). Incidence of *Bemisia tabaci* in wild tomato germplasm and its relationship with antioxidant compounds. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1644. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1644>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Incidencia de *Bemisia tabaci* en germoplasma silvestre de jitomate y su relación con compuestos antioxidantes

Incidence of *Bemisia tabaci* in wild tomato germplasm and its relationship with antioxidant compounds

Mecanismos defensivos en jitomate/**Defensive mechanisms in tomatoes**

Alcantar-Acosta, S. M.¹(0009-0003-2894-0563), Lobato-Ortiz, R.¹(0000-0002-0944-165X), Ortega-Arenas, L. D.¹(0000-0002-1154-4359), Conde-Martínez, V.¹(0000-0002-9821-831X), Cruz-Izquierdo, S.¹(0000-0002-3947-5877), García-Zavala, J. J.¹(0000-0002-0280-5940), Mejía-Carranza, J.^{2*} (0000-0003-3876-0788).

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5 Carr. México -Texcoco. Z. C. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México.

²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, Z.C. 50295, Toluca de Lerdo, Estado de México, México.

***Corresponding Author:**

Jaime Mejía-Carranza. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas. C.P 50295, Toluca de Lerdo, Estado de México, México. Teléfono (722) 2640843. E-mail: jmejiac@uaemex.mx

RESUMEN

En el acervo genético de poblaciones nativas y silvestres de jitomate, las defensas naturales representan una alternativa para generar variedades resistentes o tolerantes a insectos. El objetivo fue evaluar la incidencia de *Bemisia tabaci* y su relación con compuestos antioxidantes en jitomate. Se examinaron dos silvestres (*Solanum habrochaites* y *S. pimpinellifolium*); ocho nativos mexicanos y la variedad comercial Río Grande (testigo). En ensayo de no elección se registró el número de ninfas (Nn) y de huevos (Ne). Se analizaron, mediante espectrofotometría, el contenido de compuestos fenólicos (PC) y la actividad antioxidante DPPH (Aaox), en plantas con incidencia (PWI) y sin incidencia (PLI) de *B. tabaci*. Hubo diferencias entre genotipos en Nn + Ne ($p < 0.004$) y en PC ($p < 0.0001$). Diferencias de PLI a PWI en PC ($p < 0.0001$) y Aaox ($p < 0.0001$) indican variaciones en la síntesis de los compuestos antioxidantes entre poblaciones. Las correlaciones de Nn + Ne con Aaox (-0.44**), PC con Aaox (0.31**) y Nn + Ne con PC (-0.23), señalan la participación de moléculas antioxidantes en diferentes grados. *S. habrochaites* con la menor incidencia insectil y el nativo ojo de venado 21207 con el mayor contenido de PC demuestran potencial en mejoramiento genético.

PALABRAS CLAVE:

Bemisia tabaci, actividad antioxidante DPPH, compuestos fenólicos, variedades nativas de jitomate.

Abstract

In the gene pool of native and wild populations of tomatoes, natural defenses represent an alternative for generating insect-resistant or tolerant varieties. The study aimed to evaluate the incidence of *Bemisia tabaci* and its relationship with antioxidant compounds in tomatoes. Two wild species (*Solanum habrochaites* and *S. pimpinellifolium*), eight Mexican natives, and the commercial variety Río Grande (control) were examined. The number of nymphs (Nn) and eggs (Ne) was recorded in a no-choice test. The content of phenolic compounds (PC) and DPPH antioxidant activity (Aaox) in plants with incidence (PWI) and lacking incidence (PLI) of *B. tabaci* were analyzed spectrophotometrically. Significant differences were found between genotypes in Nn + Ne ($p < 0.004$) and PC ($p < 0.0001$). Differences between PLI and PWI in PC ($p < 0.0001$) and Aaox ($p < 0.0001$) indicate variations in the synthesis of antioxidant compounds among populations. The correlations of Nn + Ne with Aaox (-0.44**), PC with Aaox (0.31**), and Nn + Ne with PC (-0.23) suggest the involvement of antioxidant molecules to varying degrees. *S. habrochaites*, with the lowest insect incidence, and the native Ojo de Venado 21207, with the highest PC content, show potential in breeding programs.

KEYWORDS:

Bemisia tabaci, DPPH antioxidant activity, phenolic compounds, native tomato varieties.

Introducción

El cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es susceptible a plagas como la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Genn.) (Narita *et al.*, 2023). Este insecto polífago representa una amenaza, no solo para el cultivo de jitomate, sino para la agricultura mundial (Ortega-Arenas & Carapia, 2020; Joshi & Srivastava, 2022). *B. tabaci* disminuye el rendimiento y la calidad de los frutos de jitomate por daños directos en la succión de savia de las plantas e indirectos por la transmisión de virus (Perring *et al.*, 2018; Rodríguez-López *et al.*, 2020; Narita *et al.*, 2023). Para su control, se utilizan frecuentemente, insecticidas, cuyo uso inadecuado conlleva al desarrollo de resistencia por el insecto (Perier *et al.*, 2022). Una alternativa es generar variedades de jitomate resistentes o tolerantes a insectos (Narita *et al.*, 2023) mediante la exploración y utilización de las defensas naturales de las plantas (Kumar *et al.*, 2020). En este sentido, la variabilidad genética en las poblaciones silvestres y nativas de jitomate constituye una fuente importante de alelos, útiles para incrementar la resistencia a factores bióticos y abióticos en las variedades comerciales (Marin-Montes *et al.*, 2019).

En la resistencia vegetal, la suma de diferentes características defensivas tanto constitutivas como inducidas pueden reducir el éxito de un insecto como parásito en una especie vegetal determinada (Firdaus *et al.*, 2012; Zunjarrao *et al.*, 2020; Yactayo-Chang *et al.*, 2020; Shree *et al.*, 2021). Por ejemplo, barreras mecánicas como estructuras morfológicas en las hojas, o compuestos bioquímicos contenidos o inducidos en los tejidos vegetales, como alcaloides, terpenoides, glucósidos cianogénicos, inhibidores de enzimas digestivas y fenoles, los cuales pueden tener efectos anti-alimentarios (resistencia tipo antibiosis) o de repelencia (resistencia tipo antixenosis o no preferencia) sobre artrópodos (Álvarez, 2015; War *et al.*, 2020).

Aleloquímicos presentes en poblaciones silvestres de jitomate participan en las interacciones con artrópodos y les confieren resistencia a través de antibiosis y antixenosis, tales como metilcetonas, sesquiterpenos y acilazúcares (Álvarez, 2015; Dawood & Snyder, 2020; Rodríguez-López *et al.*, 2020), que se almacenan, principalmente, en tricomas glandulares y están ausentes en el jitomate cultivado (Andrade *et al.*, 2017). No obstante, otras investigaciones refieren la participación de metabolitos secundarios, como los compuestos fenólicos (PC) en los mecanismos de defensa y de resistencia al estrés causado por la mosca blanca en jitomate (Yao *et al.*, 2019; Pal *et al.*, 2021). Los compuestos fenólicos han sido asociados en la defensa de las plantas contra insectos, tales como cumarinas y flavonoides (Yao *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2023), taninos

hidrolizables y taninos condensados, los cuales, debido a su acumulación tóxica en las hojas, causan la repelencia o preferencia de insectos hacia su hospedero. Otros intervienen indirectamente en la síntesis de lignina y suberina que fortalecen las paredes celulares (Dar *et al.*, 2017; Rashad *et al.*, 2020). Wagay *et al.* (2020) señalan, además, el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos frente a las Especies Reactivas de Oxígeno (ROS).

Las ROS participan en diversas respuestas fisiológicas de las plantas, no obstante, también causan daño oxidativo a proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Nafees *et al.*, 2019; Sperdouli *et al.*, 2022), debido a un incremento en su concentración durante condiciones de estrés, como la alimentación por insectos (Wagay *et al.*, 2020; Sperdouli *et al.*, 2022). Sin embargo, las plantas contrarrestan el estrés oxidativo causado por las ROS, con moléculas antioxidantes enzimáticas y no enzimáticas, e inducen tolerancia (Orabi & AboU, 2019), tal como se demostró en respuesta a la presencia de insectos en jitomate (Dieng *et al.*, 2011; El-Zohri *et al.*, 2020).

Identificar el germoplasma de jitomate silvestre o nativo que muestre tolerancia a la incidencia de la mosca blanca, permitiría su aprovechamiento como recurso genético. El objetivo de esta investigación fue evaluar la incidencia de *Bemisia tabaci* en germoplasma de jitomates nativos mexicanos y silvestres y su relación con el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante.

Material y Métodos

Localización del experimento

El experimento se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados (19° 30'N y 98° 53'O, altitud de 2250 m), ubicado en Montecillo, Texcoco, Estado de México, en el ciclo verano-otoño 2021.

Material vegetal

Se evaluaron 11 poblaciones de jitomate, de las cuales, ocho fueron nativos mexicanos con diferente grado de domesticación, provenientes de diferentes áreas geográficas de México; dos fueron accesiones introducidas de parientes silvestres de jitomate; y, la variedad comercial Río Grande, como testigo (Tabla 1).

Tabla 1. Características, origen y especie de las poblaciones de jitomate *Solanum* spp. evaluados para la incidencia de la mosca blanca *Bemisia tabaci* y su relación con compuestos antioxidantes.

Genotipo	Tipo	Origen / Coordenadas	Especie
Native Mexican tomatoes			
21201	Arriñonado	Santa Cruz Xitla, Oax. 16°19'00"N 96°40'00"O	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i>
21202	Chino criollo	Tehuacán, Pue. 18°27'46"N 97°23'39"O	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i>
21203	Ojo de Venado	Xicotepec, Pue. 20°18'00"N 97°58'00"O	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i>
21204	Ojo de Venado	Huatusco, Ver. 19°08'56"N 96°58'03"O	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i>
21206	Cherry	Teotitlán de Flores Magón, Oax. 18°08'00"N 97°05'00"O	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>
21207	Ojo de Venado	Tehuacán, Pue. 18°27'46"N 97°23'39"O	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i>
21208	Arriñonado	Malinalco, Edo. Méx. 18°57'N 99°30'O	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i>
21209	Cherry	Tejupilco, Edo. Méx. 18°54'21"N 100°09'10"O	<i>S. lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>
Wild relatives of tomatoes			
21205	Cherry	U. D. C. Germplasm Bank*	<i>S. pimpinellifolium</i> LA1602
21211	Ojo de Venado	U. D. C. Germplasm Bank*	<i>S. habrochaites</i> LA1777
Commercial variety			
21210	Saladette	Comercial Río Grande Pomodoro	<i>S. lycopersicum</i> L.

*Banco de germoplasma de la Universidad de Davis, California.

Población de insectos

Se utilizó una población aislada de *B. tabaci*, previamente caracterizada en el Programa de Fitosanidad - Entomología del Colegio de Postgraduados. Los adultos de *B. tabaci* se mantuvieron en macetas de plantas de jitomate var. Río Grande por más de 10 generaciones en jaulas entomológicas (60 x 40 x 60 cm) cubiertas con tela de organza. La colonia de mosca blanca se mantuvo hasta el inicio de la evaluación del germoplasma.

Establecimiento del experimento y manejo agronómico

Bajo condiciones de invernadero se establecieron dos tipos de ensayo: Con y Sin incidencia de mosca blanca (PWI y PLI, respectivamente). En ambas pruebas los genotipos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones por población para PWI, y tres repeticiones por población para PLI. La unidad experimental fue una planta. Las semillas se germinaron en turba (Peat moss®, Kekkilä) en charolas de 200 cavidades. Las plántulas se colocaron al centro de macetas plásticas de color negro de 7 pulgadas a los 36 días después de la siembra (dds) en una mezcla de turba (Peat moss®, Kekkilä) y perlita (Multiperl) (2:1). Las plantas se nutrieron por drench con solución de Steiner (1984), pH entre 5.5 y 6.0, a concentraciones de 25 % (~20 a 25 días después del trasplante, ddt), 50 % (~26 a 40 ddt), 75 % (~41 a 60 ddt) y 100 % (~61 ddt en adelante).

Las plantas se tutoraron con cintas de madera y las del ensayo PLI como PWI se mantuvieron aisladas en jaulas independientes de tela de organza (6 x 3 x 2.5 m), con eliminación de brotes laterales desde el inicio del cultivo y eliminación del meristemo principal a los 60 ddt. Se aplicaron insecticidas (imidacloprid y cipermetrina) al inicio del cultivo y jabón líquido para su mantenimiento hasta antes de la infestación de mosca blanca, así como fungicidas preventivos Captan® y Ridomil Gold® para tizón.

Infestación de la mosca blanca (prueba de no-elección)

A los 40 ddt, en las plantas PWI, se seleccionaron dos folíolos en el tercio medio de cada planta y repetición (5) y en cada una se sujetó una jaula entomológica de poliuretano de 4cm de diámetro, donde se colocaron por un orificio ~ 20 adultos de *B. tabaci* (de 1 a 6 días de emergencia y con 2 h de ayuno) con un aspirador manual y se mantuvieron confinados por 72 h para que ovipositaran. Posteriormente, las jaulas entomológicas y los adultos de mosca blanca se retiraron para evitar infestaciones futuras, y siete días después se registró el número de huevos en 10 mm² al centro del envés de cada folíolo. A continuación, se hizo monitoreo cada tres días de huevos y ninfas. A los 35 días después de la infestación, momento en que aparecieron las ninfas del IV instar, se contabilizaron en 10 mm² al centro del envés de los folíolos de acuerdo con la metodología propuesta por Ortega-Arenas *et al.* (2006). El recuento total de la incidencia de la mosca blanca (huevos y ninfas) incluyó los datos de los dos folíolos para obtener un total por población. Las plantas Sin Incidencia de mosca blanca (3 por población), se mantuvieron aisladas en otra jaula independiente cubiertas con tela de organza y libres del insecto.

Extracción y análisis de compuestos fenólicos (PC)

El contenido de compuestos fenólicos se determinó mediante el método de Folin Ciocalteu (PC) descrito por Singleton *et al.* (1999).

A los 75 ddt, se colectaron 1 g de folíolos del estrato medio tanto de plantas Sin incidencia de mosca blanca como de plantas Con incidencia del insecto. Las muestras se maceraron en 40 mL de metanol (80 %) y se incubaron a 60 °C por 60 min, posteriormente se filtraron en matraz kitasato con bomba de vacío, para separar y conservar el sobrenadante a 4 °C. Para el análisis, a 0.2 mL de sobrenadante de la muestra se le agregó 0.5 mL de reactivo PC y 2.5 mL de Na₂CO₃ al 10 %, se aforaron a 4.0 mL con agua destilada y se dejaron en oscuridad por 30 min en agitador orbital.

El blanco del espectrofotómetro fue metanol al 80 %. Las lecturas se hicieron a 760 nm de absorbancia (Thermo Fisher Scientific Oy Ratastie 2, FI-01620 Vanta, Finland). La curva de calibración se hizo con ácido gálico (10 mg en 10 mL de metanol al 80 %) como patrón en intervalos de concentración de 0.010 mg. Cada muestra se analizó por triplicado. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de peso fresco de muestra (mg GAE g⁻¹ FSW).

Extracción y análisis de la actividad antioxidante DPPH (Aaox)

Se determinó por el método 1,1-difenil-2-picril-hidracilo (DPPH) de acuerdo con Abe *et al.* (1998).

La metodología de extracción fue en las mismas muestras de folíolos recolectadas para la determinación de compuestos fenólicos. Se utilizó una solución de DPPH a 50 µM en metanol al 80 % (19.72 mg en 1000 mL de metanol al 80 %). A 2.750 mL de la solución de DPPH se le adicionaron 0.250 mL del sobrenadante del extracto de folíolos de jitomate y se dejaron en agitador orbital por 30 min en oscuridad.

Las lecturas se hicieron a 517 nm de absorbancia. El blanco del espectrofotómetro fue metanol al 80 %. La curva de calibración se realizó con Trolox (10 mg en 10 mL de metanol al 80 %), con intervalos de concentración de 0.001 mg. Cada muestra se analizó por triplicado. Los resultados se expresaron en µg de equivalentes de Trolox por gramo de peso fresco de muestra (µg Trolox g⁻¹ FSW).

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a análisis de la varianza ($\alpha = 0.05$) y comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) con el estadístico R Core Team (2021). También se hizo análisis de correlación múltiple. Para el cálculo de las varianzas, los datos de incidencia del insecto fueron transformados con raíz cuadrada de (x+1).

Resultados y Discusión

Incidencia de la mosca blanca

El análisis de varianza (Tabla 2) señaló diferencias altamente significativas en la ocurrencia de ninfas ($p \leq 0.001$) y ninfas + huevos ($p \leq 0.004$), más no para huevos ($p = 0.13$). La media de ninfas + huevos (Nn + Ne), osciló de 2.1 y 4.5 entre la accesión silvestre *S. habrochaites* (21211) y variedad comercial Río Grande (21210), respectivamente (Tabla 3). La comparación de medias del total de huevos más ninfas (Nn + Ne) mostró a *S. habrochaites* (21211), único en un grupo, con la menor densidad poblacional de mosca blanca; otro grupo incluyó a la variedad comercial Río Grande 21210 con los promedios más altos; y un tercer grupo incluyó a todos los nativos mexicanos (21201, 21202, 21203, 21204, 21206, 21207, 21208 y 21209) y a la accesión silvestre de *S. pimpinellifolium* (21205) (Tabla 3).

La prueba de no elección empleada, a juzgar por la ausencia de diferencias estadísticas en número de huevos, no dejó alternativa a los adultos de *B. tabaci* en la selección de una población determinada para la oviposición. Sin embargo, después de la eclosión de los huevos, en el estadio de ninfas, las diferencias estadísticas (Tabla 2) sugieren variaciones intrínsecas entre poblaciones en mecanismos de defensa, los cuales son determinantes en la presencia o supervivencia del insecto. Estos resultados de acuerdo con Alcantar-Acosta *et al.* (2020), sugieren que la variación natural posibilita la existencia de resistencia de los hospederos a diferentes niveles de infestación de la mosca blanca. En otras especies vegetales, Ortega-Arenas *et al.* (2006) señalan diferencias en la densidad poblacional de mosca blanca (huevos y ninfas) en diferentes genotipos solo hasta la evaluación en el ensayo de libre elección.

Tabla 2. Suma de cuadrados de las fuentes de variación, grados de libertad y promedio de siete variables evaluadas en 11 genotipos de jitomate infestados con *Bemisia tabaci*.

Variable	Fuentes de variación (SS)			CV (%)	Df			Media
	Genotipos	Bloque	Error		Genotipos	Bloque	Error	
Ne	6.2	8.0**	15.5	33	10	4	40	1.9
Nn	10.1**	3.5*	11.3	19	10	4	40	2.8
Ne + Nn	16.5**	4.8	20.6	22	10	4	40	3.3
PC (PLI)	224.8**	41.7**	67.1	16	10	2	20	10.9
PC (PWI)	519.1**	14.7	130.9	17	10	4	40	11.2
Aaox (PLI)	0.3	2.3**	0.54	1.4	10	2	20	11.6
Aaox (PWI)	4.3	0.6	11.6	4.4	10	4	40	12.0

**p ≤ 0.01; SS: Suma de Cuadrados; CV: Coeficiente de Variación, Df: grados de libertad. Ne: Huevos, Nn: Ninfas, Ne + Nn: Huevos + Ninfas, Desviación estándar, PC (PLI) y Aaox (PLI): Compuestos fenólicos y actividad antioxidante Sin incidencia de mosca blanca; PC (PWI) y Aaox (PWI): Compuestos fenólicos y actividad antioxidante con incidencia de mosca blanca.

Tabla 3. Comparación de medias de la concentración de compuestos fenólicos (mg GAE g⁻¹ FSW) y actividad antioxidante (µg Trolox g⁻¹ PF) en germoplasma de jitomates nativos mexicanos y silvestres y la variedad comercial Rio grande, a los 75 días después del trasplante en plantas sin incidencia (PLI) y con incidencia (PWI) de mosca blanca *Bemisia tabaci*, 2021.

Genotipo	Ne	Nn	Nn + Ne	PC (PLI)	PC (PWI)	Aaox(PLI)	Aaox(PWI)
Nativos mexicanos							
21201 (arriñonado)	1.95 ^a	3.27 ^a	3.68 ^{ab}	9.66 ^b	10.83 ^{bc}	11.60 ^a	12.15 ^a
21202 (chino criollo)	1.93 ^a	3.25 ^a	3.7 ^a	11.75 ^b	11.05 ^{bc}	11.60 ^a	12.19 ^a
21203 (ojo de venado)	1.77 ^a	2.64 ^{ab}	3.02 ^{ab}	10.53 ^b	10.36 ^{bcd}	11.67 ^a	12.13 ^a
21204 (ojo de venado)	1.72 ^a	2.84 ^{ab}	3.19 ^{ab}	12.07 ^b	10.38 ^{bcd}	11.71 ^a	12.08 ^a
21206 (cherry)	1.76 ^a	2.54 ^{ab}	3.08 ^{ab}	12.38 ^b	9.56 ^{bcd}	11.70 ^a	12.01 ^a
21207 (ojo de venado)	1.93 ^a	3.03 ^{ab}	3.46 ^{ab}	18.74 ^a	19.43 ^a	11.86 ^a	12.30 ^a
21208 (arriñonado)	1.86 ^a	2.79 ^{ab}	3.24 ^{ab}	10.24 ^b	9.02 ^{cd}	11.67 ^a	12.20 ^a
21209 (cherry)	1.86 ^a	2.73 ^{ab}	3.17 ^{ab}	10.5 ^b	10.05 ^{bcd}	11.51 ^a	12.12 ^a
Parientes silvestres							
21205 <i>S. pimpinellifolium</i> (cherry)	1.87 ^a	2.81 ^{ab}	3.29 ^{ab}	8.81 ^b	9.24 ^{cd}	11.52 ^a	12.30 ^a
21211 <i>S. habrochaites</i> (ojo de venado)	1.45 ^a	1.88 ^b	2.15 ^b	10.04 ^b	13.17 ^b	11.63 ^a	12.08 ^a
Variedad comercial							
21210 var. Río grande (saladette)	2.88 ^a	3.6 ^a	4.52 ^a	9.08 ^b	6.83 ^d	11.5 ^a	11.23 ^a
Media	1.91	2.85	3.32	11.2 ^A	10.9 ^A	11.64 ^A	12.07 ^B
DMS	1.3	1.1	1.5	5.4	3.9	0.5	1.16

Ne: Huevos, Nn: Ninfas, Nn + Ne: Ninfas + Huevos, PC (PLI): Compuestos fenólicos sin incidencia de *B. tabaci*, PC (PWI) = Compuestos fenólicos con incidencia de *B. tabaci*; Aaox (PLI): Actividad antioxidante sin incidencia de *B. tabaci*, Aaox (PWI): Actividad antioxidante con incidencia de *B. tabaci*. LSD: Diferencia Mínima Significativa. Medias con letras minúsculas iguales, entre columnas, no son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$). Medias generales entre columnas con letras mayúsculas iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$).

Dentro de la variación natural, las variedades cultivadas, regularmente, presentan mayor incidencia de mosca blanca que las poblaciones silvestres de jitomate (Baldin *et al.*, 2005; García-Sánchez *et al.*, 2023), que de acuerdo con Sánchez-Peña *et al.* (2006) se debe a que las poblaciones silvestres de jitomate al encontrarse por largos periodos en una misma área geográfica están expuestas a una presión selectiva impuesta por la mosca blanca, lo que explicaría mayores sus

niveles de resistencia contra el insecto. Tal es el caso de la resistencia de *S. habrochaites* (21211) a *B. tabaci*, ya reportada por otros autores (Kortbeek *et al.*, 2019; García-Sánchez *et al.*, 2023) y que coincide con el reporte en esta investigación de una baja incidencia del insecto. Adicionalmente, en evaluaciones futuras podrían incluirse los nativos mexicanos ojo de venado Xicotepec 21203, cherry Teotiltán 21206 y cherry Tejupilco 21209, los cuales después de *S. habrochaites* (Tabla 3) presentaron los menores valores de incidencia de ninfas, ya que de acuerdo con Zeist *et al.* (2021), las poblaciones nativas de jitomate al formar parte de la variabilidad intraespecífica de *S. lycopersicum*, representan en selección e hibridación una fuente más conveniente de resistencia a plagas que las derivadas de cruces interespecíficos.

Compuestos fenólicos (PC)

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en el contenido de PC entre el germoplasma de jitomate evaluado, tanto en PLI ($p < 0.0002$) como en PWI ($p < 0.0001$) (Tabla 3). En PLI, *S. pimpinellifolium* (21205) registró el menor contenido de PC (8.81 mg GAE·g⁻¹ PF), en tanto que ojo de venado Tehuacán (21207) el mayor (18.74 mg GAE·g⁻¹ PF). En PWI, la variedad Río Grande registró la menor concentración de PC con 6.83 mg GAE·g⁻¹ PF y ojo de venado Tehuacán 21207 la mayor con 19.43 mg GAE·g⁻¹ PF.

De la condición PLI a PWI, las diferencias para PC fueron significativas ($p < 0.0001$), donde *S. habrochaites* (21211) mostró un incremento de PC de PLI a PWI de casi el doble (73 %; $p < 0.02$). Los nativos mexicanos arriñonado Santa Cruz 21201 (12.11 %, $p < 0.49$) y ojo de venado Tehuacán 21207 (3.7 %; $p < 0.9$), así como la accesión silvestre *S. pimpinellifolium* (4.8 %, $p < 0.4$) también mostraron un incremento, aunque no fue significativo. Contrariamente, la variedad comercial Río Grande 21210, mostró una disminución del 25 % ($p < 0.01$) de PC de PLI a PWI. Los demás nativos mexicanos 21203 (-1.6 %, $p < 0.9$), 21202, 21204, 21208, 21209 y 21206 (-22.8 %, $p < 0.1$), también disminuyeron el contenido de PC, no obstante, los valores no fueron significativos.

Si bien, los insectos herbívoros son responsables de grandes pérdidas en la agricultura (Kortbeek *et al.*, 2019); las plantas utilizan diversos mecanismos de defensa tanto constitutivos como inducidos para protegerse contra las plagas (Zunjarrao *et al.*, 2020; Yactayo-Chang *et al.*, 2020) e involucran barreras tanto físicas como químicas (Mostafa *et al.*, 2022). Dentro de esas defensas químicas participan productos del metabolismo primario (Kerchev *et al.*, 2012; Kundu *et al.*, 2018) como enzimas antioxidantes (Dieng *et al.*, 2011), así como también moléculas del metabolismo secundario como los compuestos fenólicos (Kundu & Vadassery, 2019; Alcantar-Acosta *et al.*, 2020), los cuales reducen los ataques de insectos (Perier *et al.*, 2022).

En este estudio, la presencia y variación en el contenido de PC entre el germoplasma de jitomate, sugiere una modulación diferencial entre los genotipos, donde los silvestres (*S. habrochaites* y *S. pimpinellifolium*) y los nativos mexicanos arriñonado 21201 y ojo de venado 21207 mostraron un incremento en el contenido de PC. Contrariamente la variedad comercial Río Grande, así como al resto de los nativos mexicanos tuvieron una disminución de este metabolito. Variaciones en el contenido de compuestos fenólicos en jitomate las reportan Pal *et al.* (2021) y señalan una mayor concentración en aquellos resistentes a la mosca blanca. Su *et al.* (2018) reportan la participación de los PC como respuesta de defensa en plantas de jitomate infestadas con mosca blanca. No obstante, otros estudios en jitomate indican que las variaciones en el contenido de PC dependen de la edad de la planta, el genotipo, los tejidos, la estación, las condiciones de cultivo, así como del tiempo de exposición a un determinado tipo de estrés (Kisa *et al.*, 2019; Dadáková *et al.*, 2020).

El incremento significativo en PC de PLI a PWI de la accesión silvestre de *S. habrochaites* (21214), contrario a una disminución significativa en la variedad comercial Río Grande (21210), así como las variaciones en el contenido de PC entre el germoplasma nativo ponen de manifiesto ciertas diferencias en la síntesis de los compuestos fenólicos en las poblaciones silvestres de jitomate con respecto a las cultivadas y hace necesarios trabajos futuros sobre el papel defensivo de los compuestos fenólicos. War *et al.* (2020) señalan que, entre los rasgos defensivos de las plantas, la

síntesis e inducción de metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos se considera una respuesta común a la herbivoría de los insectos. Tal resistencia inducida en las plantas puede aprovecharse como una herramienta importante para el manejo de plagas (Shree *et al.*, 2021). De hecho, en otras solanáceas infestadas con *B. tabaci* y *T. vaporariorum* los contenidos de compuestos fenólicos aumentaron significativamente respecto de las plantas control (Zhang *et al.*, 2017). Poblaciones de jitomate, como la del nativo mexicano ojo de venado de Tehuacán 21207 que de manera constitutiva presentan una alta concentración de PC, pudieran presentar cierta ventaja ecológica al sintetizarlos de manera constitutiva, contrario a aquellas poblaciones que inducen cambios en los PC y a menudo representan una mayor inversión de recursos para mantener la síntesis activa de los metabolitos secundarios (Kerchev *et al.*, 2012). Paudel *et al.* (2019) al respecto indican que la selección de rasgos durante la domesticación y la reproducción selectiva en plantas como el jitomate podría alterar la asignación de recursos, donde las plantas seleccionadas para un mayor rendimiento asignan recursos a la defensa sólo cuando son atacadas.

Compuestos fenólicos como los flavonoides (Yao *et al.*, 2019), ácido clorogénico (Zhang *et al.*, 2017; Kundu & Vadassery, 2019), taninos, lignina y suberina (Rashad *et al.*, 2020), catequina, ácido cafeico, rutina, ácido p-cumarico y ácido ferúlico (Zhang *et al.*, 2017), entre otros, pueden actuar como agentes en la protección de las plantas, debido a su participación en el fortalecimiento de las paredes celulares, a su acumulación tóxica en las hojas y a la repelencia de los insectos (Dar *et al.*, 2017; Rashad *et al.*, 2020), o inclusive en la desecación y/o desprendimiento de los huevos en las hojas (Hilker *et al.*, 2016); no obstante, su rol en el crecimiento y desarrollo de las plantas es más diverso (Wagay *et al.*, 2020; Tak & Kumar, 2020).

Actividad antioxidante DPPH (Aaox)

La Aaox del germoplasma evaluado fue similar tanto en PLI ($p < 0.39$) como en PWI ($p < 0.18$) (Tabla 3). No obstante, de PLI a PWI, la Aaox registró, en promedio, un incremento de 3.7 % ($p < 0.0001$). Los nativos mexicanos arriñonado Santa Cruz 21201, (4.74 %, $p < 0.02$), ojo de venado Xicotepec 21203 (3.94 %, $p < 0.02$), arriñonado Malinalco 21208 tipo (4.5 %, $p < 0.005$) y cherry Tejupilco 21209 (5.25 %, $p < 0.01$), así como los silvestres *S. pimpinellifolium* 21205 (6.75 %, $p < 0.02$) y *S. habrochaites* 21211 (3.8 %, $p < 0.04$) registraron un incremento significativo en la Aaox de PLI a PWI, lo cual sugiere la participación de moléculas antioxidantes durante la interacción planta-insecto.

El incremento en la Aaox en PWI respecto de PLI en los demás nativos mexicanos como 21202 (5.05 %, $p < 0.08$), 21204 (3.17 %, $p < 0.12$), 21206 (2.6 %, $p < 0.06$) y 21207 (3.6 %, $p < 0.23$) no fue significativo, lo cual podría señalar la participación de otros mecanismos de defensa al insecto. La Aaox en la variedad comercial Río Grande 21210, por el contrario, disminuyó de PLI a PWI ($p < 0.5$), lo cual pudiera representar una pérdida en la capacidad de respuesta de la planta a estrés con este mecanismo, como una consecuencia de la pérdida de función genética por los procesos de selección experimentados durante su creación (Kulus, 2022).

En la interacción planta-insecto, las Especies Reactivas de Oxígeno (ROS) como el oxígeno singulete ($^1\text{O}_2$), el radical superóxido (O_2^-), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el radical hidroxilo ($\text{OH}^\cdot$), pueden ser dañinos o útiles según su concentración celular (Sachdev *et al.*, 2021; Dvořák *et al.*, 2021). A una baja concentración, activan múltiples componentes de señalización intracelular para promover respuestas de defensa; en cambio, a una alta concentración aumentan el daño producido por el estrés (Satyabrata *et al.*, 2021). No obstante, las plantas tienen mecanismos antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos para contrarrestar la oxidación ocasionada por las ROS que se incrementan en situaciones de estrés biótico y abiótico (El-Zohri *et al.*, 2020).

El incremento significativo en la Aaox en algunas poblaciones de jitomate sugiere la participación de moléculas antioxidantes que neutralizan ROS durante la interacción planta-insecto y/o posiblemente en la activación de genes defensivos. Al respecto, Kerchev *et al.* (2012) señalan una reprogramación de la expresión génica durante la herbivoría de los insectos, donde las ROS desempeñan un papel central como moléculas de señalización. El-Zohri *et al.* (2020) asocian un

aumento en la concentración de H_2O_2 con la tolerancia a insectos, pues desencadena respuestas defensivas.

La pérdida de variabilidad genética de los cultivares modernos de jitomate incrementa la susceptibilidad a las plagas y enfermedades (Kulus, 2022), lo cual podría explicar la disminución en la Aox en la variedad comercial Río Grande 21210, contrario a lo que se observó en los silvestres *S. habrochaites* y *S. pimpinellifolium*. Orabi y Abou (2019) plantean que, bajo un estrés prolongado, las plantas con un mayor potencial antioxidante tienen vías de eliminación de ROS mejor desarrolladas, o mecanismos de desintoxicación para mitigar el impacto adverso del estrés oxidativo e inducir tolerancia en las plantas, por lo que, el estado redox de la planta puede considerarse como un indicador de su resistencia, que se logra mediante la eliminación de los ROS generados, por ejemplo, a través de un incremento de moléculas antioxidantes en plantas de jitomate, después de la presencia de insectos (El-Zohri *et al.*, 2020). De tal modo que, plantas con la capacidad de contrarrestar condiciones de estrés, como la alimentación de la mosca blanca *B. tabaci*, a través de un incremento en la actividad antioxidante podrían presentar un mayor potencial antioxidante e inducir mecanismos de defensa o contrarrestar los ROS generados.

Análisis de correlación

Las correlaciones negativas y significativas entre la incidencia de insectos, particularmente ninfas ($r = -0.28^{**}$), huevos ($r = -0.50^{**}$) y ninfas más huevos ($r = -0.44^{**}$) con la Aox, señalan la participación de moléculas antioxidantes en las poblaciones de jitomate por la presencia de la mosca blanca *B. tabaci* (Tabla 4). Si bien, la principal fuente de ROS se produce durante la fotosíntesis; la mosca blanca es capaz de reducir la fijación de carbono y la tasa fotosintética de sus hospederos, por lo que, tal interrupción podría interferir en la producción de ROS que participan en la cascada de señalización en respuesta al insecto, de tal modo que, este cambio resulta en la inactivación de genes defensivos y es aprovechado por la mosca blanca (El-Zohri *et al.*, 2020).

Asimismo, la correlación significativa entre los compuestos fenólicos PC y la actividad antioxidante Aox ($r = 0.31^*$), señala el papel de estos metabolitos como moléculas antioxidantes en las muestras de jitomate. Estos resultados coinciden con lo reportado por Tak y Kumar (2020), quienes señalan que los compuestos fenólicos tienen diversas funciones para mitigar diversas condiciones de estrés. Una de estas, es su intervención como antioxidante dentro del mecanismo no enzimático en las plantas (Orabi & Abou, 2019), lo cual concuerda con la asociación significativa de estas dos variables.

Tabla 4. Matriz de correlación Pearson de cinco variables en germoplasma de jitomate evaluado para incidencia de mosca blanca

	Aox (PWI)	PC (PWI)	Nn	Ne	Nn + Ne
Aox PWI	1				
PC PWI	0.31*	1			
Nn	-0.28*	-0.2	1		
Ne	-0.5**	-0.2	0.46**	1	
Nn+ Ne	-0.44**	-0.23	0.88	0.82	1

Ne: Huevos, Nn: Ninfas, Nn + Ne: Ninfas + Huevos; PC (PWI) y Aox (PWI): Compuestos fenólicos y Actividad antioxidante con incidencia de *B. tabaci*. * Significativo ($p \leq 0.05$) ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Las respuestas de las plantas a los insectos dependen de muchos factores tales como la especie vegetal, el número de herbívoros y la especie, así como el tiempo de infestación, entre otros (El-Zohri *et al.*, 2020). La correlación negativa pero no significativa, entre los PC con la incidencia de *B.*

tabaci sugiere en general una participación discreta de estos metabolitos en los mecanismos de defensa, abriendo la opción a otras alternativas de defensa para contrarrestar la incidencia de la mosca blanca. En otras investigaciones, los PC participan en el mecanismo de defensa para contrarrestar a la mosca blanca (Alcantar-Acosta *et al.*, 2020). Asimismo, dentro del umbral de ocupaciones de los compuestos fenólicos, además de neutralizar ROS, se señala su participación en respuesta a otros diferentes tipos de estrés (Bacha *et al.*, 2017; Dar *et al.*, 2017; Awan *et al.*, 2018; Yao *et al.*, 2019), no evaluados en este estudio.

Conclusiones

La presencia de *B. tabaci* desde la puesta de huevos en las poblaciones de jitomate evaluadas, sugiere la intervención del sistema antioxidante de las plantas. La correlación positiva y significativa entre la actividad antioxidante y compuestos fenólicos posiblemente implique la activación de genes defensivos para la síntesis de productos que neutralizan ROS y disminuyen el impacto del daño por el insecto. *S. habrochaites* con la menor incidencia de *B. tabaci* y el nativo mexicano ojo de venado Tehuacán 21207 con el mayor contenido de PC, demuestran su potencial para incluirlos en programas de mejoramiento genético. Se destaca el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos en la interacción planta-insecto, aunque otros mecanismos de defensa podrían estar involucrados para contrarrestar y repeler a *B. tabaci*. La exploración de las defensas naturales de las plantas, como mecanismo de resistencia a plagas, constituye un elemento clave y amigable con el ambiente en el control de la mosca blanca.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, autor 1, autor 2, autor 7; desarrollo de la metodología, autor 1, autor 2, autor 3, autor 5.; manejo de software, autor 1, autor 2. Autor 6; validación experimental, autor 3, autor 4, autor 6, autor 7.; análisis de resultados, autor 1, autor 2, autor 3, autor 6, autor 7; Manejo de datos, autor 1, autor 3, autor 4, autor 7.; escritura y preparación del manuscrito, autor 1, autor 7.; redacción, revisión y edición, autor 1, autor 3, autor 6, autor 7.; administrador de proyectos, autor 2, autor 5.; adquisición de fondos, autor 2. "Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo."

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

Declaraciones éticas

El estudio no requiere aprobación ética.

Declaración de consentimiento informado

No aplica para esta investigación.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Abe, N., Murata, T., & Hirota, A. (1998). Novel. DPPH radical scavengers, bisorbicillinol and demethyltrichodimerol, from a fungus. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 62 (4), 661-666. <https://doi.org/10.1271/bbb.62.661>
- Alcantar-Acosta, S. M., Mejía-Carranza, J., Mora-Herrera, M. E., & Aguilar-Medel, S. (2020). Incidencia de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) y mecanismos de defensa en *Gerbera x hybrida*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11 (2), 275-288. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1742>
- Álvarez, G. M. (2015). Resistencia a insectos en tomate (*Solanum* spp.). *Cultivos Tropicales*, 36 (2), 100-110. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193239249015>
- Andrade, M. C., Da Silva, A. A., Neiva, I. P., Oliveira, I. R. C., De Castro, E. M., Francis, D. M., & Maluf, W. R. (2017). Inheritance of type IV glandular trichome density and its association with whitefly resistance from *Solanum galapagense* accession LA1401. *Euphytica*, 213, 52. <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1792-1>
- Awan, Z. A., Shoaib, A., & Khan, K. A. (2018). Variations in total phenolics and antioxidant enzymes cause phenotypic variability and differential resistant response in tomato genotypes against early blight disease. *Scientia Horticulturae*, 239, 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.044>
- Bacha, H., Tekaya, M., Drine, S., Guasmi, F., Touil, L., Enneb, H., Triki, T., Cheour, F., & Ferchichi, A. (2017). Impact of salt stress on morpho-physiological and biochemical parameters of *Solanum lycopersicum* cv. Microtom leaves. *South African Journal of Botany*, 108, 364-369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2016.08.018>
- Baldin, E. L., Vendramim, J. D., & Lourenção, A. L. (2005). Resistência de genótipos de tomateiro à mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). *Neotropical Entomology*, 34 (3), 435-441. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000300012>
- Dadáková, K., Heinrichová, T., Lochman, J., & Kašparovský, T. (2020). Production of defense phenolics in tomato leaves of different age. *Molecules*, 25 (21), 4952. <https://doi.org/10.3390/molecules25214952>
- Dar, S. A., Rather, B. A., Wani, A. R., & Ganie, M. A. (2017). Resistance against insect pests by plant phenolics and their derivative compounds. *Chemical Science Review Letters*, 6(23), 1941-1949. https://www.researchgate.net/profile/Showket-Dar/publication/343999289_Chemical_Science_Review_and_Letters_Resistance_against_Insect_Pests_by_Plant_Phenolics_and_their_Derivative_Compounds/links/5f4d4b4d299bf13c506c89be/Chemical-Science-Review-and-Letters-Resistance-against-Insect-Pests-by-Plant-Phenolics-and-their-Derivative-Compounds.pdf
- Dawood, M. H., & Snyder, J. C. (2020). The alcohol and epoxy alcohol of zingiberene, produced in trichomes of wild tomato, are more repellent to spider mites than zingiberene. *Frontiers in Plant Science*, 11, 35. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00035>
- Dieng, H., Satho, T., Hassan, A. A., Aziz, A. T., Morales, R. E., Hamid, S. A., Miake, F., & Abubakar, S. (2011). Peroxidase activity after viral infection and whitefly infestation in juvenile

- and mature leaves of *Solanum lycopersicum*. *Journal of Phytopathology*, 159, 707-712. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2011.01830.x>
- Dvořák, P., Krasylenko, Y., Zeiner, A., Šamaj, J., & Takáč, T. (2021). Signaling toward reactive oxygen species-scavenging enzymes in plants. *Frontiers in Plant Science*, 2178, 618835. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.618835>
- El-Zohri, M., Bafeel, S. O., & Al-Zahrani, W. (2020). Differential oxidative and biochemical responses of tomato and maize leaves to *Spodoptera exigua* herbivory. *Pakistan Journal of Botany*, 52(4), 1277-1287. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-4\(23\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-4(23))
- Firdaus, S., Van Heusden, A. W., Hidayati, N., Supena, E. D. J., Vsser, R. G., & Vosman, B. (2012). Resistance to *Bemisia tabaci* in tomato wild relatives. *Euphytica*, 187, 31-45. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0704-2>
- García-Sánchez, A. N., Hernández-Juárez, A., López-López, H., Sierra-Gómez, U. A., & Delgado-Ortiz, J. C. (2023). Resistencia de tres variedades de tomate a la mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum*. *Southwestern Entomologist*, 48(1), 249-256. <https://doi.org/10.3958/059.048.0124>
- Hilker, M., & Fatouros, N. E. (2016). Resisting the onset of herbivore attack: plants perceive and respond to insect eggs. *Current Opinion in Plant Biology*, 32, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.05.003>
- Joshi, S., & Srivastava, R. M. (2022). Screening of tomato varieties against whitefly, *Bemisia tabaci* (Gen.) under field condition at Pantnagar Uttarakhand. *The Pharma Innovation Journal*, 11(7), 3255-3258. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue7S/PartAJ/S-11-7-336-887.pdf>
- Kerchev, P. I., Fenton, B., Foyer, C. H., & Hancock, R. D. (2012). Plant responses to insect herbivory: interactions between photosynthesis, reactive oxygen species and hormonal signalling pathways. *Plant, cell & environment*, 35(2), 441-453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02399.x>
- Kisa, D., Kayır, Ö., Sağlam, N., Şahin, S., Öztürk, L., & Elmastaş, M. (2019). Changes of phenolic compounds in tomato associated with the heavy metal stress. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(1), 35-43. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jonas/issue/47366/549252>
- Kortbeek, R. W., Van der Gragt, M., & Bleeker, P. M. (2019). Endogenous plant metabolites against insects. *European Journal of Plant Pathology*, 154, 67-90. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1540-6>
- Kulus, D. (2022). Genetic diversity for breeding tomato. In: Priyadarshan, P., & Jain, S. M. Cash Crops. (pp. 505–521). Ed. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74926-2_13
- Kumar, K., Pal, S., & Devi, Y. K. (2020). Morpho-physical characteristic in tomato imparting resistance to sucking pest whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) Aleyrodidae: Hemiptera: A Review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (Jetir)*, 7(12), 1512-1522. https://www.researchgate.net/publication/347635085_Morpho-physical_Characteristic_in_Tomato_Imparting_Resistance_to_Sucking_Pest_Whitefly_Bemisia_tabaci_Gennadius_Aleyrodidae_Hemiptera_A_Review

- Kundu, A., Mishra, S., & Vadassery, J. (2018). *Spodoptera litura*-mediated chemical defense is differentially modulated in older and younger systemic leaves of *Solanum lycopersicum*. *Planta*, 248, 981-997. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2953-3>
- Kundu, A., & Vadassery, J. (2019). Chlorogenic acid-mediated chemical defense of plants against insect herbivores. *Plant Biology*, 21(2), 185-189. <https://doi.org/10.1111/plb.12947>
- Marin-Montes, I. M., Lobato-Ortiz, R., Carrillo-Castañeda, G., Rodríguez-Pérez, J. E., García-Zavala, J. J., & Velasco-García, Á. M. (2019). Riqueza alélica de poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) para el mejoramiento genético. *Agrociencia*, 53, 355-370. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1789/1786>
- Mostafa, S., Wang, Y., Zeng, W., & Jin, B. (2022). Plant responses to herbivory, wounding, and infection. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), 7031. <https://doi.org/10.3390/ijms23137031>
- Nafees, M., Fahad, S., Shah, A. N., Bukhari, M. A., Ahmed, I., Ahmad, S., & Hussain, S. (2019). Reactive oxygen species signaling in plants. In: Hasanuzzaman, M., Rehman, H. K., Nahar, K., & Alharby, F. H. Plant abiotic stress tolerance. (pp. 259-272). Ed. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_11
- Narita, J. P., Fatoretto, M. B., Lopes, J. R. S., & Vendramim, J. D. (2023). Type-IV glandular trichomes disrupt the probing behavior of *Bemisia tabaci* MEAM1 and Tomato severe rugose virus inoculation in tomato plants. *Journal of Pest Science*, 96(3), 1035-1048. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01599-4>
- Orabi, S., & Abou-Hussein, S. D. (2019). Antioxidant defense mechanisms enhance oxidative stress tolerance in plants. A review. *Current Science International*, 8(3), 565-576. <https://www.curreweb.com/csi/csi/2019/565-576.pdf>
- Ortega-Arenas, L. D., & Carapia, R. V. E. (2020). Moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae) en México: estatus, especies, distribución e importancia. *Dugesiana*, 27(1), 37-54. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v27i1.7095>
- Ortega-Arenas, L. D., Miranda-Aragón, D. A., & Sandoval-Villa, M. (2006). Densidad de huevos y ninfas de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (WEST.) en *Gerbera jamesonii* H. Bolus con diferentes regímenes de fertilización nitrogenada. *Agrociencia*, 40 (3), 363-371. México. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240309>
- Pal, S., Karmakar, P., Chattopadhyay, A., & Ghosh, S. K. (2021). Evaluation of tomato genotypes for resistance to whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius) and tomato leaf curl virus in eastern India. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(2), 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.04.001>
- Paudel, S., Lin, P. A., Foolad, M. R., Ali, J. G., Rajotte, G. E., & Felton G. W. (2019). Induced plant defenses against herbivory in cultivated and wild tomato. *Journal of Chemical Ecology*, 45, 693-707. <https://doi.org/10.1007/s10886-019-01090-4>
- Perier, D. J., Cremonese, S. G. P., Champagne, D. E., Simmons, M. K., & Riley, G. D. (2022). Whiteflies at the intersection of polyphagy and insecticide resistance. *Annals of the Entomological Society of America*, 115(6), 401-416. <https://doi.org/10.1093/aesa/saac008>
- Perring, T. M., Stansly, P. A., Liu, T. X., Smith, H. A., & Andreason, S. A. (2018). Whiteflies: Biology, Ecology, and Management. In: Wakil, W, Brust, G. E., & Perring, T. M. Sustainable

- Management of Arthropod Pests of Tomato. (pp. 73-110) Ed. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802441-6.00004-8>
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Rashad, Y., Aseel, D., & Hammad, S. (2020). Phenolic compounds against fungal and viral plant diseases. In: Lone, R., Shuab, R., Kamili, A. N. Plant Phenolics in Sustainable Agriculture (pp. 201-219). Ed. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_9
- Rodríguez-López, M. J., Moriones, E., & Fernández-Muñoz, R. (2020). An acylsucrose-producing tomato line derived from the wild species *Solanum pimpinellifolium* decreases fitness of the whitefly *Trialeurodes vaporariorum*. *Insects*, 11(9), 616.
<https://doi.org/10.3390/insects11090616>
- Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021) Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10, 277. <https://doi.org/10.3390/antiox10020277>
- Sánchez-Peña, P., Oyuma K., Núñez-Farfán, J., Fornoni, J., Hernández-Verdugo, S., Márquez-Guzmán, J., & Garzón-Tiznado J. A. (2006). Sources of resistance to whitefly (*Bemisia* spp.) in wild populations of *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (Dunal) spooner G. J. Anderson et R.K. Jansen in Northwestern Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53, 711–719.
<https://doi.org/10.1007/s10722-004-3943-9>
- Satyabrata, N., Rukmini, M., & Kumar, J. R. (2021). Molecular basis of insect resistance in plants: current updates and future prospects. *Research Journal of Biotechnology*, 16(3), 194-205.
https://www.researchgate.net/profile/Satyabrata-Nanda/publication/349584959_Molecular_basis_of_insect_resistance_in_plants_Current_updates_and_future_prospects/links/603725b14585158939c9fbbe/Molecular-basis-of-insect-resistance-in-plants-Current-updates-and-future-prospects.pdf
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sperdoui, I., Andreadi, S. S., Adamakis, I. D. S., Moustaka, J., Koutsogeorgiou, E. I., & Moustakas, M. (2022). Reactive oxygen species initiate defense responses of potato photosystem II to sap-sucking insect feeding. *Insects*, 13(5), 409. <https://doi.org/10.3390/insects13050409>
- Steiner, A. A. (1984). The Universal Nutrient Solution. In: International Society for Soilless Culture, ISOSC. Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture. (pp. 633-649). Wageningen, The Netherlands. ISBN: 9789070976040.
- Su, Q., Chen, G., Mescher, M. C., Peng, Z., Xie, W., Wang, S., Wu, Q., Liu, J., Li, C., Wang, W., & Zhang, Y. (2018). Whitefly aggregation on tomato is mediated by feeding-induced changes in plant metabolites that influence the behaviour and performance of conspecifics. *Functional Ecology*, 32(5), 1180-1193. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13055>
- Tak, Y., & Kumar, M. (2020). Phenolics: a key defence secondary metabolite to counter biotic stress. In: Lone, R., Shuab, R., Kamili, A. N. Plant phenolics in sustainable agriculture. (pp. 309-329). Ed. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_13

- Wagay, N. A., Lone, R., Rafiq, S., & Bashir, S. U. (2020). Phenolics: A Game Changer in the Life Cycle of Plants. In: Lone, R., Shuab, R., Kamili, A. N. Plant phenolics in sustainable agriculture. (pp. 241-275). Ed. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_11
- Yactayo-Chang, J. P., Tang, H. V., Mendoza, J., Christensen, S. A., & Block, A. K. (2020). Plant defense chemicals against insect pests. *Agronomy* 10(8), 1156. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081156>
- Yang, F., Shen, H., Huang, T., Yao, Q., Hu, J., Tang, J., Zhang, R., Tong, H., Wu, Q., Zhang, Y., & Su, Q. (2023). Flavonoid production in tomato mediates both direct and indirect plant defences against whiteflies in tritrophic interactions. *Pest Management Science*, 79, 4644-4654. <https://doi.org/10.1002/ps.7667>
- Yao, Q., Peng, Z., Tong, H., Yang, F., Xing, G., Wang, L., Zheng, J., Zhang, Y., & Su, Q. (2019). Tomato plant flavonoids increase whitefly resistance and reduce spread of Tomato Yellow Leaf Curl Virus. *Journal of Economic Entomology*, 112(6), 2790-2796. <https://doi.org/10.1093/jee/toz199>
- Zeist, A. R., de Resende, J. T. V., Perrud, A. C., Gabriel, A., Maluf, W. R., Arantes, J. H. V., & Youssef, K. (2021). Resistance to *Bemisia tabaci* in tomato species and hybrids and its association with leaf trichomes. *Euphytica*, 217, 85. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02815-x>
- Zunjarrao, S. S., Tellis, M. B., Joshi, S. N., & Joshi, R. S. (2020). Plant-insect interaction: the saga of molecular coevolution. In: Mérillon, J. M., & Ramawat, K. G. Co-Evolution of secondary metabolites. (pp. 19-45). Ed. Springer Nature, Switzerland AG. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76887-8_42-1
- Shree, P., Kumar, M., & Singh, D. K. (2021). Molecular and Biochemical Aspect of Insect-Plant Interaction: A perspective for pest management. In: Singh, I. K., Singh, A. (eds). Plant-Pest Interactions: From Molecular Mechanisms to Chemical Ecology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2467-7_17
- War, A. R., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ahmad, T., Nair R. M., & Sharma, H. C. (2020). Plant defense and insect adaptation with reference to secondary metabolites. In: Co-Evolution of Secondary Metabolites. Mérillon, J.-M., Ramawat K. G. (eds.). Springer Nature Switzerland AG, pp. 795-822. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96397-6_60
- Zhang, X., Sun, X., Zhao, H., Xue M., & Wang D. (2017). Phenolic compounds induced by *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* in *Nicotiana tabacum* L. and their relationship with the salicylic acid signaling pathway. *Arthropod Plant Interactions*, 11, 659-67, <https://doi.org/10.1007/s11829-017-9508-6>