

Incidencia de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) y mecanismos de defensa en *Gerbera hybrida*

Santa Mayra Alcantar-Acosta
Jaime Mejía-Carranza[§]
Martha Elena Mora-Herrera
Sotero Aguilar-Medel

Universidad Autónoma del Estado de México-Centro Universitario UAEM Tenancingo. Ex-Hacienda de Santa Ana, Carretera Tenancingo-Villa Guerrero km 1.5, Tenancingo, Estado de México. CP. 52400. Tel. 714 1407724. (ing.alcantar@yahoo.com.mx; marthaelenam@gmail.com; soteromex@hotmail.com).

[§]Autor para correspondencia: jmejia@uaemex.mx.

Resumen

La existencia de variación natural a diferentes niveles de infestación de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en genotipos de gerbera (*Gerbera hybrida*) posibilita la existencia de diferentes niveles de resistencia o susceptibilidad al insecto. En esta investigación se evaluó la variación natural de gerbera a la incidencia de *T. vaporariorum*. En un diseño de bloques completos al azar, se analizaron diez genotipos de gerbera en diferentes etapas fenológicas sin incidencia (SI) y con incidencia (CI) de mosca blanca. Se contabilizaron ninfas, en un cm² al centro del envés de las hojas y total de adultos por hoja. Se midieron el contenido relativo de clorofila (USPAD), el contenido de compuestos fenólicos (Cf), la actividad enzimática de las peroxidasas (AePOX) y la capacidad antioxidante DPPH (Caox). Los genotipos de gerbera mostraron diferencias significativas en la incidencia de la mosca blanca ($p \leq 0.01$), así como en Cf, AePOX y Caox, tanto en SI como CI ($p \leq 0.01$), lo cual sugiere diferencias en la preferencia del insecto a su hospedero y en la capacidad de respuesta de los genotipos a la mosca blanca. En CI respecto a SI, incrementaron el contenido de Cf (1.4 veces), la AePOX (4 veces) y la Caox (12 veces). USPAD disminuyó en el genotipo con la mayor incidencia del insecto (-4%). Las correlaciones significativas entre número de insectos (ninfas) con Cf (-0.71**) y AePOX (-0.65**) y Caox con Cf (-0.73**) y AePOX (-0.76**), mostraron que la alimentación del insecto interfiere en el metabolismo de sus hospederos y desencadena respuestas integrales en el mecanismo de defensa de las plantas, con diferencias en resistencia aprovechables en mejoramiento genético.

Palabras clave: actividad enzimática de las peroxidasas, fenoles, variabilidad genética.

Recibido: diciembre de 2019

Aceptado: marzo de 2020

Introducción

La gerbera (*Gerbera hybrida*) es una de las ornamentales de mayor importancia comercial en el Estado de México (Andrade y Castro, 2018). Los principales productores en la región florícola del sur del estado son los municipios de Villa Guerrero, Tenancingo, Coatepec Harinas y Zumpahuacán, los cuales generan una producción de 1 108 384 t por ciclo de cultivo (SIAP, 2016). Una de las plagas que afecta el cultivo de gerbera es la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) (Parrella *et al.*, 2014; Reddy, 2016).

Para su control, se aplican comúnmente insecticidas cuyo uso inadecuado ha llevado al desarrollo de resistencia del hemíptero (Pérez-Sandoval *et al.*, 2011; Bass *et al.*, 2015). El uso de genotipos resistentes a esta plaga, detectables en la variabilidad genética, puede ser un método de control fácilmente adoptable, económico, ambientalmente seguro y puede ser una alternativa para disminuir el uso de insecticidas (Sulistyo e Inayati, 2016; Hoshino *et al.*, 2017).

El mejoramiento genético convencional ha recibido grandes beneficios de la variación genética de gerbera y ha resultado en el desarrollo de genotipos con características estéticas y de rendimiento (Senapati *et al.*, 2013; Pradhan *et al.*, 2017; Mangroliya *et al.*, 2018). De acuerdo a percepción de productores y comercializadores de la región florícola mencionada, se cultivan aproximadamente 200 variedades de gerbera que además de ser diferentes morfológicamente, también presentan diferencias de susceptibilidad a las plagas y pueden ser utilizadas como recurso genético. En este sentido, se han reportado variaciones entre genotipos de gerbera y crisantemo en la síntesis de metabolitos secundarios y de enzimas antioxidantes como mecanismos de defensa en respuesta al ataque de plagas (Krisps *et al.*, 2001; He *et al.*, 2011).

Por ejemplo, Sierra *et al.* (2014) mencionan que la presencia de ciertos metabolitos secundarios en las plantas causa que los insectos, como la mosca blanca tengan preferencia por ciertas plantas y repelencia por otras debido a variaciones en compuestos como cumarinas, terpenos y esteroides. En especies vegetales, el estrés causado por insectos induce enzimas antioxidantes como las peroxidasas, que participan en el mecanismo de defensa con la síntesis de polímeros de pared celular como lignina y suberina, barreras físicas naturales (Dicko *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2016).

En gerbera, evidenciar variación entre genotipos pudiera ser aprovechada en la búsqueda de materiales resistentes a la mosca blanca, lo cual implicaría una disminución en los costos de producción, particularmente en el uso de insecticidas destinados al control de esta plaga. Es por ello que el objetivo de esta investigación fue evaluar la variación de 10 genotipos de *G. hybrida* en la incidencia de *T. vaporariorum*, contenido de compuestos fenólicos, actividad enzimática de las peroxidasas, capacidad antioxidante y contenido relativo de clorofila.

Materiales y métodos

Localización del experimento

La investigación se realizó de septiembre de 2016 a diciembre de 2017, en las instalaciones del Centro Universitario Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México, que se localizan en el km 1.5 de la carretera Tenancingo-Villa Guerrero, Tenancingo, Estado de México a 18° 97' 03'' latitud norte y 99° 61' 17'' longitud oeste y a una altitud de 2 200 m.

Material vegetativo

Se emplearon 10 genotipos de *G. hybrida* obtenidos por cultivo *in vitro*. Siete de ellos desarrollados en el Centro Universitario UAEM Tenancingo y la empresa Servicios Integrales para la Horticultura e identificados como: Sofía (Sof), Estrella (Est), Andrea (And), Magda (Mag), Lisieka (Lis), Carmín (Car) y Morelia (Mor), los tres restantes son variedades comerciales de nombres Dino (Din), Opera (Ope) y Completa (Com).

Establecimiento del experimento

Plántulas aclimatadas de seis a ocho semanas con promedios de 10 cm de altura y 6 hojas fueron establecidas bajo invernadero en macetas de plástico de 20 L con sustrato previamente desinfectado, compuesto por una mezcla de turba y perlita expandida en una relación 2:1(v/v), comúnmente utilizado para la macetería en la región. Las plantas se establecieron en un diseño experimental de bloques completos al azar con 10 repeticiones. La unidad experimental fue una maceta con una planta.

Fertilización del cultivo

Fue de acuerdo a Surin (2011) con modificaciones en micronutrientes. El pH se ajustó en un rango de 5.5 a 6 y conductividad eléctrica de 2 a 2.7 mS m⁻¹.

Incidencia de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*

La infestación en gerbera fue por invasión natural del insecto al inicio de la emisión del capítulo floral, durante un período de 30 días en el cual no se realizaron aplicaciones de insecticidas. Se cuantificaron ninfas, sin considerar instar, en un centímetro cuadrado al centro del envés de hojas maduras y el total de adultos por hoja madura completa. Se hicieron mediciones a los 30 y 60 días después de la infestación (Morales y Cermeli, 2001).

Evaluación de las variables bioquímicas

Se determinaron en hojas maduras y con mayor contenido relativo de clorofila, registrado en 58 ±3.5 unidades SPAD, (SPAD-502, Minolta Camera Co., Osaka Japón). Se midieron en condiciones de sin incidencia (SI), en etapa vegetativa de las plantas, previo a la infestación del insecto y con incidencia del insecto (CI) al inicio de la emisión de capítulo y en floración. Se midieron por espectrofotometría (Genesys 10S UV-Vis Thermo Scientific) las siguientes variables.

Compuestos fenólicos (Cf). Se determinaron mediante el método de folin-ciocalteu (FC) descrito por Waterman y Mole (1994). Muestras de 100 mg de hoja fueron maceradas en 5 mL de metanol (50%) e incubadas a 100° C por cinco min, se centrifugaron a 5400 rpm por 5 minutos para separar y conservar el sobrenadante a 4° C. A 0.15 mL de sobrenadante de la muestra se les agregó la misma cantidad de reactivo FC y 0.5 mL de Na₂CO₃ al 20%, se aforaron a 4.5 mL con agua destilada y se dejaron reposar en la oscuridad por 30 min. La curva de calibración se hizo con ácido gálico (10 mg en 10 mL de metanol al 50%) como patrón en intervalos de concentración de 0.005 mL. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de la muestra analizada.

Actividad enzimática de las peroxidasa (AePOX). Se determinó de acuerdo al método descrito por Anderson *et al.* (1995). Muestras de ± 50 mg de hoja madura se maceraron en 200 μ L de buffer de extracción 50 mM de fósforo de potasio pH 7.2, 1 mM de ácido etileno diamino tetracético (Edta) y 1% de polyvinylpirrolidona (PVP). El extracto se centrifugó a 6 000 rpm durante 5 min y el sobrenadante en volumen de 0.020 mL se usó para cuantificar la AePOX en un buffer de mezcla de reacción con 50 mM de fosfato de sodio pH 7.0, 3.33 mM de guaiacol, 4 mM de H₂O₂, a 25° C, en un volumen final de 3 mL. Como blanco se utilizó buffer de reacción sin sobrenadante.

La actividad enzimática se determinó por la oxidación del sustrato guaiacol en presencia de H₂O₂ a 470 nm durante tres min en intervalos de 30 s (coeficiente de extinción del guaiacol $\epsilon = 26.6 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, en la ecuación $\text{nmol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$). Actividad enzimática $\text{Pox} = (\text{Abs}) (\epsilon) (\text{volumen final ensayo/volumen de la muestra}) (\text{mg de proteína})$.

Capacidad antioxidante DPPH (Caox). Se determinó por el método 1,1-difenil-2-picril-hidracilo (DPPH) de acuerdo con Abe *et al.* (1998). La metodología de extracción de la muestra fue la misma que para Cf. Se utilizó una solución de DPPH a 250 μ M en metanol al 80% (98.58 mg en 1000 mL de metanol). A 2.750 mL de la solución de DPPH se le adicionaron 0.250 mL del sobrenadante del extracto de gerbera y se dejaron reposar por una hora. Las lecturas se hicieron a 517 nm de absorbancia. El blanco del espectrofotómetro fue metanol al 80%. La curva de calibración se realizó con ácido ascórbico (10 mg en 10 mL de metanol al 80%), con intervalos de concentración de 0.005 mL. Cada muestra se analizó por triplicado. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido ascórbico por gramo de la muestra analizada.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron con el estadístico Info Stat (Di Rienzo *et al.*, 2016) y se sometieron a análisis de la varianza ($\alpha = 0.05$), donde hubo diferencias significativas se aplicó comparación de medias con la prueba Duncan ($\alpha = 0.05$). También se hizo análisis de correlación múltiple.

Resultados y discusión

Incidencia de *Trialeurodes vaporariorum*

En la ocurrencia de adultos más ninfas de mosca blanca se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los diez genotipos de gerbera evaluados. La variación de genotipos con valores extremos fue de 1 a 43 entre Com y Lis, respectivamente (Figura 1). La comparación de medias agrupó a los genotipos en cuatro categorías, definidas en este estudio, de acuerdo a su incidencia en: baja (A), Com, Din, Ope, Sof, And y Car, moderada baja (AB), Est y Mor, moderada alta (B), Mag y alta (C), Lis.

La presencia de *T. vaporariorum* en gerbera ha sido documentada por varios autores (Berndt y Meyhöfer, 2008; Parrella *et al.*, 2014; Rojas *et al.*, 2018). La variación en la respuesta entre genotipos pudiera atender a diferencias en características morfológicas de las plantas, las cuales pueden actuar como barreras físicas a los insectos (Taggar y Gill, 2012; Belete, 2018) y a factores relacionados con el metabolismo de las plantas y mecanismos antioxidantes tales como la participación de metabolitos secundarios (Zhang *et al.*, 2017) y la actividad de ciertas enzimas (Taggar *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2016).

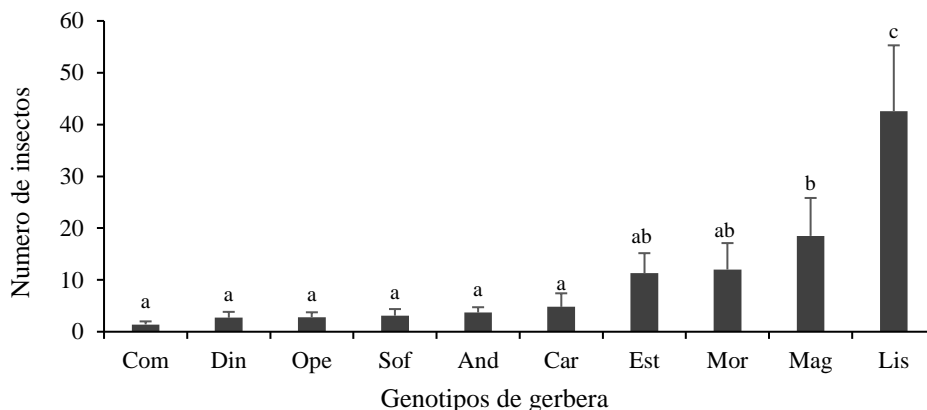


Figura 1. Incidencia de *trialeurodes vaporariorum* (adultos más ninfas) en *Gerbera hybrida* en las etapas fenológicas de inicio de emisión de capitulo floral y floración. Barras de error= error estándar. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

A este respecto, estudios en gerbera, destacan la variación entre genotipos en la síntesis de metabolitos secundarios como respuesta al ataque de plagas (Krisps *et al.*, 2001), los cuales constituyen un elemento de importancia para su aprovechamiento en el desarrollo de variedades resistentes (Broekgaarden *et al.*, 2011; Mitchell *et al.*, 2016; Hoshino *et al.*, 2017).

En estudios realizados por Lucatti *et al.* (2010) con genotipos de *Solanum lycopersicum* L., sugirieron que la variación entre sus poblaciones a la incidencia de la mosca blanca posibilita la selección de genotipos con cierta resistencia al insecto para el mejoramiento genético y la obtención de variedades resistentes. Aquellos genotipos que mostraron menor incidencia de *T. vaporariorum* podrían ser utilizados en el mejoramiento genético de gerbera para desarrollar variedades resistentes o tolerantes a esta plaga, lo que implicaría una disminución en el uso de insecticidas destinados a su control.

Contenido de Cf

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), en el contenido de Cf tanto en SI como CI entre los diez genotipos evaluados (Figura 2). En SI, la diferencia entre valores extremos fue de casi el doble entre Ope y Mor, lo que sugiere que aquellos genotipos con mayor contenido pudieran tener una ventaja en la repelencia al insecto sobre los que presentaron menores valores de este metabolito, al sintetizarlos como estrategia de defensa permanente. Sin embargo, los productos químicos de defensa como los compuestos fenólicos se consideran costosos para las plantas debido a recursos consumidos en su biosíntesis (inducidos) o a las consecuencias ecológicas de su acumulación como expresión constitutiva (Lattanzio, 2013).

En CI se observó un incremento promedio de 40% en el contenido de Cf con respecto a SI y de forma particular se encontró variación de respuesta entre los genotipos desde un 5 (Ope) hasta 108% (Mor). Genotipos como Ope y Car, aun cuando su incremento de SI a CI fue bajo, se mantuvieron entre los genotipos con los valores más altos de Cf, al mostrar valores altos desde SI.

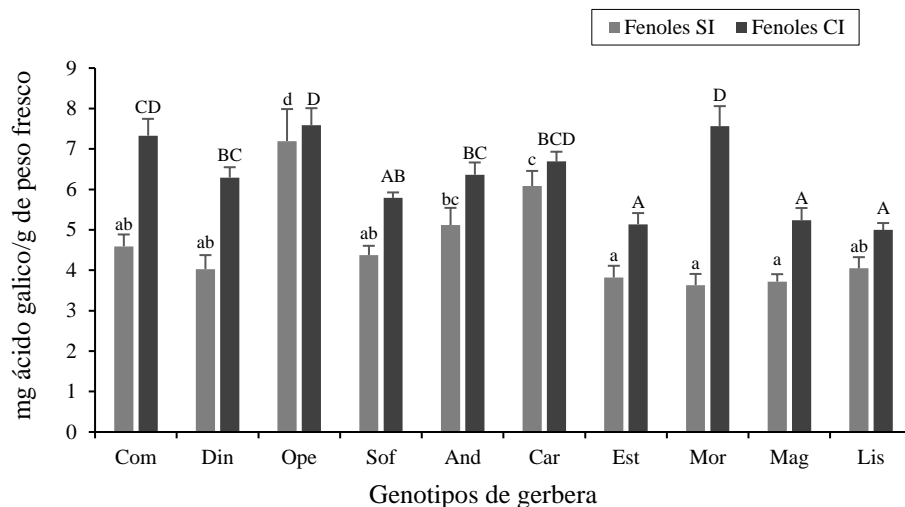


Figura 2. Contenido de compuestos fenólicos (cf) en hojas maduras de diez genotipos de *Gerbera hybrida* sin incidencia (SI) en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Barras de error corresponde al error estándar. Letras minúsculas=comparación de medias SI; letras mayúsculas=comparación de medias CI. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

El hecho de que aquellos genotipos que tuvieron un incremento significativo de SI a CI como Mor y Com, sugiere que inducen la síntesis de este metabolito como mecanismo de defensa hacia *T. vaporariorum* y de acuerdo con la incidencia del insecto Com pudiera presentar cierta resistencia a la mosca blanca al presentar menor incidencia del insecto y alta concentración de Cf en CI. Los genotipos Lis, Est y Mag presentaron las concentraciones más bajas de Cf tanto en SI como en CI, lo que sugiere que pudieran ser más susceptibles al insecto de no presentar otros mecanismos de defensa diferentes a dichos compuestos.

Diferentes estudios reportan la participación de los compuestos fenólicos tales como ácido clorogénico, ácido caféico, ácido cinámico (Sandhyarani y Usha, 2013), ácido ferulico, catequina (Zhang *et al.*, 2017), cumarinas (Rehman *et al.*, 2012), taninos y lignina (War *et al.*, 2012; Vaca-Sánchez *et al.*, 2016), para contrarrestar el estrés por insectos como mecanismo de defensa. Los taninos, por ejemplo, exhiben cierta toxicidad hacia las plagas y pueden reducir significativamente el crecimiento, desarrollo y supervivencia de los insectos (War *et al.*, 2012), otros como la lignina fortalecen la pared celular de las plantas, y actúa como barrera física hacia los insectos (Lattanzio, 2013; Sandhyarani y Usha, 2013).

Sierra *et al.* (2014) mencionaron que la presencia de metabolitos secundarios incluidos los compuestos fenólicos en las plantas, causa que los insectos, como la mosca blanca tengan preferencia por ciertas plantas y repelencia por otras debido a variaciones en la concentración de metabolitos secundarios. Asimismo, el incremento en el contenido de fenoles en las plantas es considerado una respuesta común al daño por insectos (Sandhyarani y Usha, 2013).

En esta investigación, los resultados señalan un incremento significativo en el contenido de Cf con la presencia del insecto, lo cual indica que este metabolito tiene una participación importante en los mecanismos de defensa de las plantas posiblemente para contrarrestar el estrés de la planta

generado por *T. vaporariorum*. Resultados similares los reportaron Zhang *et al.* (2017) quienes indican un incremento en el contenido de compuestos fenólicos en genotipos de *Nicotiana tabacum* después de la incidencia de *T. vaporariorum* y *Bemisia tabaci*. En soya, los genotipos más resistentes a áfidos mostraron un mayor incremento en compuestos fenólicos que aquellos susceptibles (Jiang *et al.*, 2009). La variación en la síntesis de Cf entre los genotipos de gerbera tanto en SI (Ope y Car), como CI (Com), sugiere diferencias en el tipo de respuesta de las plantas al insecto, de acuerdo a una prioridad metabólica por la planta (Strauss *et al.*, 2002).

Actividad enzimática de las peroxidadas (AePOX)

Se presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los genotipos en estudio para la AePOX en ambas mediciones tanto SI como CI (Figura 3). En SI la diferencia entre valores extremos de la actividad de la enzima fue de 20 veces entre Din y Mor. De SI a CI se observó un incremento de 4 veces promedio la AePOX. La variación entre valores extremos de CI fue de 1 a 3 veces entre Car y Lis, respectivamente. Aquellos genotipos con mayor AePOX en SI (Com y Din), mostraron un menor incremento de la actividad de la enzima con respecto a los demás genotipos en CI, sin embargo, sus valores previos (en SI) les permitió estar a la par que aquellos genotipos con alta AePOX en CI (Figura 1). Contrariamente, los genotipos que tuvieron un incremento proporcional significativo de SI a CI fueron Mor y Lis, aunque sus valores se mantuvieron bajos comparados a otros genotipos.

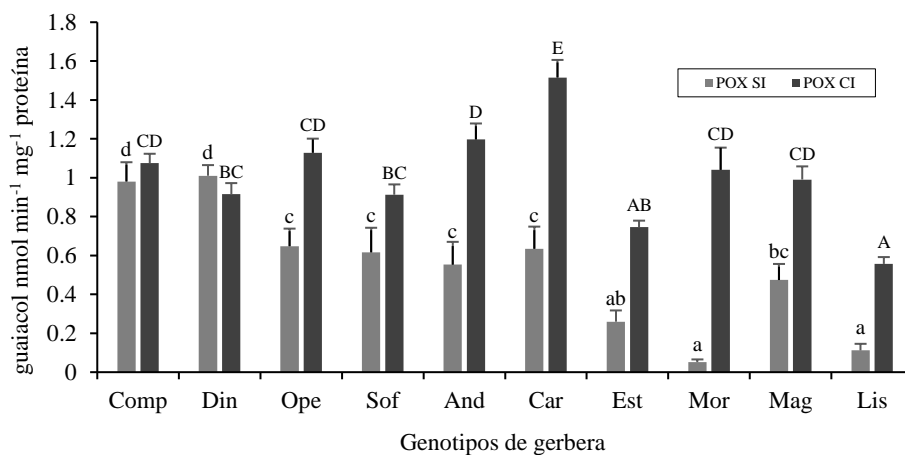


Figura 3. Actividad enzimática de las peroxidadas (AePOX) en hojas maduras de *Gerbera hybrida*; sin incidencia (SI), en etapa vegetativa; y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Barras de error corresponde al error estándar. Letras minúsculas=comparación de medias SI; letras mayúsculas=comparación de medias CI. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

En la interacción planta-insecto, también se ha reportado la participación de enzimas antioxidantes como POX y polifenol oxidasas (PPO) (Jiang *et al.*, 2009; Sandhyarani y Usha, 2013), las cuales catalizan la oxidación de una gran variedad de fenoles para la síntesis de lignina y suberina que se acumulan en la pared celular o bien para la formación de quinonas, tóxicas para los insectos (Lattanzio *et al.*, 2006; López-Nicolás y García Carmona, 2010; Shigeto y Tsutsumi, 2016).

En este estudio, las diferencias en la AePOX entre los genotipos de gerbera evaluados, tanto en SI como en CI, indica variación natural entre los genotipos en la síntesis de esta enzima posiblemente regulada a nivel de transcripción o traducción (Cosio y Dunand, 2009; Shigeto y Tsutsumi, 2016). En genotipos de otras ornamentales de la misma familia como *Crysanthemum grandiflorum*, también se ha reportado variación en la expresión de enzimas antioxidantes (super óxido dismutasa y fenil amonio liasa) incluidas las POX, tanto sin incidencia como con incidencia de áfidos y sugieren la participación de estas enzimas en la resistencia al insecto (He *et al.*, 2011).

Aquellos genotipos que indujeron más la enzima de SI a CI, como Lis, Mor y Car, orientaron de manera diferente el ejercicio de sus recursos energéticos (Strauss *et al.*, 2002). Resultados similares a esta investigación sobre el incremento de la actividad enzimática de la POX con la incidencia de la mosca blanca se obtuvieron en genotipos de lenteja negra (*Vigna mungo* L.) afectados por *Bemisia tabaci*, donde aquellos más resistentes al estrés por el insecto mostraron un mayor incremento en AePOX que aquellos susceptibles (Taggar *et al.*, 2014). Zhao *et al.* (2016) reportaron un incremento en la actividad enzimática de POX y catalasa en plantas de tabaco después de la presencia de *B. tabaci*, en comparación de las plantas control. Por otro lado, la capacidad de Mor de promover la AePOX con la alta incidencia de *T. vaporariorum*, sugiere la participación de la enzima como mecanismo de defensa.

Capacidad antioxidante DPPH (Caox)

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), entre los diez genotipos de gerbera evaluados tanto en SI como en CI (Figura 4). En SI aun cuando hubo variación entre los genotipos de casi 2:1, sus valores fueron inferiores a los 0.1 mg de ácido ascórbico por gramo de peso fresco en todos los genotipos evaluados. Contrariamente, en CI el incremento proporcional en cada genotipo varió de seis a 20 veces con respecto a SI. Lis que destacó con valores intermedios de capacidad antioxidante, mostró bajos valores de contenido de Cf y de AePOX, lo cual posiblemente explique el mayor valor de incidencia de *T. vaporariorum*, caso contrario Com que presentó valores bajos de capacidad antioxidante y valores altos en contenido de Cf y AePOX, además de los menores valores de incidencia del insecto.

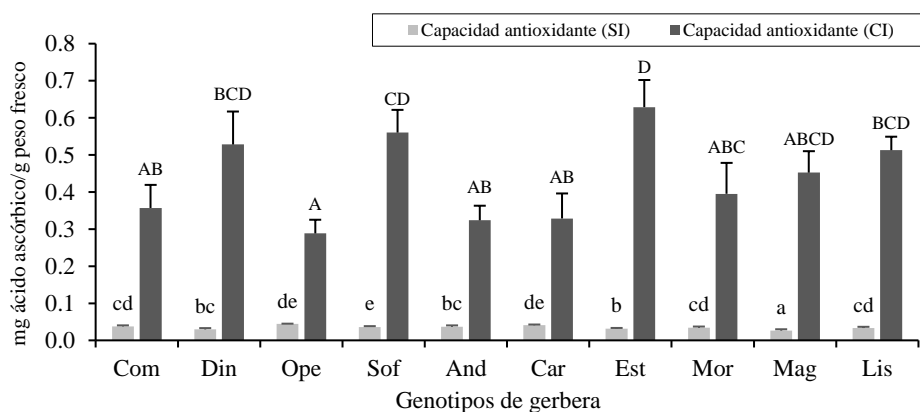


Figura 4. Capacidad antioxidante DPPH (Caox) de *Gerbera hybrida* sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Letras minúsculas= comparación de medias SI, letras mayúsculas= comparación de medias CI. Barras de error corresponde al error estándar. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

Los valores de mayor capacidad antioxidante sugieren una mayor producción de especies reactivas de oxígeno (EROS) como resultado de diferentes tipos de estrés en la planta como la incidencia de insectos o bien infección por patógenos, daño mecánico, heridas por herbívoros o factores abióticos (Mittler, 2002; Benezer-Benezer *et al.*, 2008). De hecho, tan solo la ovoposición de huevecillos promueve un incremento de EROS, como la respuesta hipersensible inducida por patógenos, que conducen a la desecación del huevo y su posterior desprendimiento de las plantas (Hilker y Fatouros, 2016).

En otras especies como tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), la infestación de mosca blanca aumentó los niveles de H₂O₂ un 77.3% más que en las plantas control (Zhao *et al.*, 2016). El H₂O₂, además de ser una molécula de señalización en condiciones de estrés y en los procesos fisiológicos de las plantas (Sharma *et al.*, 2012), es utilizada como sustrato por las peroxidasas tanto para la lignificación y suberización de la pared celular, como para la oxidación de compuestos fenólicos durante las lesiones por insectos, lo que indirectamente la convierte en una enzima antioxidante (He *et al.*, 2011).

Contenido relativo de clorofila (USPAD)

Se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) en las evaluaciones tanto SI como en CI (Figura 5), pero con una variación discreta promedio de 15% entre valores extremos entre genotipos de ambas mediciones. Asimismo, hubo incremento promedio de SI a CI de 8%; sin embargo, en dos genotipos sus valores decrecieron, y correspondieron a aquellos que mostraron mayor incidencia insectil. Estos resultados sugieren que la variación en el contenido relativo de clorofila entre genotipos obedece a diferentes factores como la variabilidad de la especie, etapa fenológica de la planta en que se evaluó y la misma incidencia de plagas como la mosca blanca.

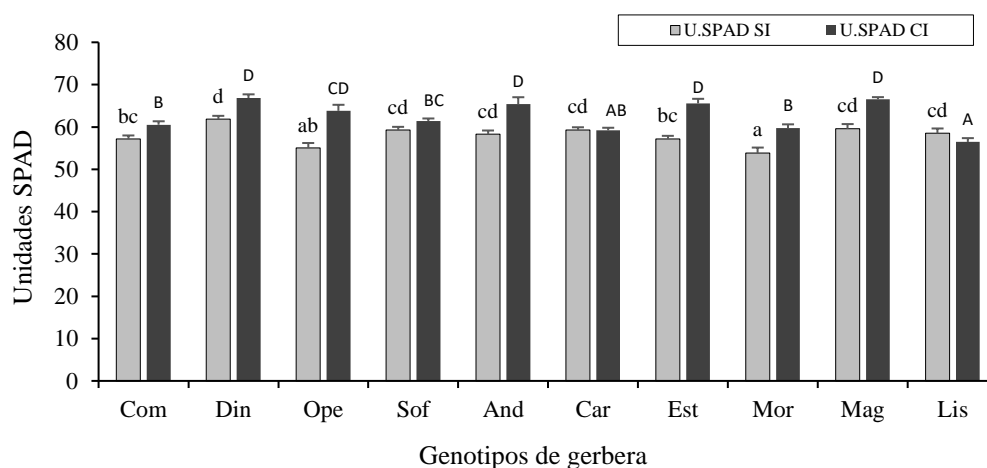


Figura 5. Contenido relativo de clorofila (USPAD) en *Gerbera hybrida* de hojas fotosintéticamente activas sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Letras minúsculas= comparación de medias SI, letras mayúsculas= comparación de medias CI. Barras de error corresponden al error estándar. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($p \leq 0.05$).

Goławska *et al.* (2010) cita que el contenido relativo de clorofila es uno de los parámetros más importantes en la relación entre las plantas e insectos. En diferentes especies vegetales se ha reportado una reducción significativa en el contenido relativo de clorofila debido a la infestación por insectos (Goławska *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2014). Kerchev *et al.* (2012) sugirieron que la herbivoría por insectos lejos de estimular la fotosíntesis, reduce la fijación de carbono y esta respuesta ocurre por una reprogramación de la expresión génica del metabolismo primario.

Análisis de correlación

Las correlaciones negativas y altamente significativas de la incidencia de insectos, particularmente ninfas, con fenoles ($r = -0.71$) y actividad de la enzima POX ($r = -0.65$) (Cuadro 1), sugieren una influencia de dichas variables bioquímicas en la protección de las plantas, como ya fue citado por diferentes autores (Sandhyarani y Usha 2013; Taggar *et al.*, 2014). También el contenido de fenoles se correlacionó positiva y altamente significativa con la AePOX ($r = 0.62$).

Cuadro 1. Matriz de correlación Pearson de seis variables medidas en *Gerbera hybrida*.

	Adultos (A)	Ninfas (n)	A + n	Cf	AePOX	USPAD	Caiox
Adultos (A)	1						
Ninfas (n)	0.84**	1					
A + n	0.99**	0.89**	1				
Cf	-0.55	-0.71**	-0.6	1			
AePOX	-0.66**	-0.52	-0.65**	0.62**	1		
USPAD	-0.51	-0.13	-0.45	-0.14	0.04	1	
Caiox	0.32	0.27	0.32	-0.73**	-0.76**	0.15	1

A + n= adultos más ninfas; Cf= compuestos fenólicos; POX= actividad enzimática de las peroxidasas; U SPAD= unidades SPAD; Caiox= capacidad antioxidante; **= valores altamente significativos.

En esta asociación entre variables es importante destacar que las peroxidasas, además de catalizar la lignificación de la pared celular y detoxificar peróxidos producidos a causa del estrés oxidativo, producen fenoxi y otros radicales oxidativos que en asociación con fenoles que actúan como elementos disuasorios de alimentación y producen toxinas que reducen la digestibilidad del tejido vegetal a los insectos (Dicko *et al.*, 2005; Shigeto y Tsutsumi, 2016).

La capacidad antioxidante se correlacionó negativa y altamente significativa con Cf ($r = -0.73$) y la AePOX ($r = -0.76$), lo que sugiere que los fenoles y la actividad de la enzima en su acción por minimizar los daños por el insecto, neutralizan radicales libres representados indirectamente por la capacidad antioxidante. El contenido relativo de clorofila no se correlacionó significativamente con ninguna variable; sin embargo, la tendencia de correlación negativa con número de insectos fue similar a lo reportado por Huang *et al.* (2014).

Conclusiones

Los genotipos de gerbera mostraron variación a la incidencia de *T. vaporariorum*, así como en el contenido de compuestos fenólicos y en la AePOX, lo cual indica variación genética de esta especie, y preferencias del insecto hacia ciertos hospederos. Aquellos genotipos con menor

incidencia del insecto pueden aprovecharse para desarrollar variedades resistentes o tolerantes como alternativas en la producción florícola. La capacidad de aquellos genotipos tanto sin incidencia como con incidencia, en la síntesis de compuestos antioxidantes enzimáticos (AePOX) y no enzimáticos (compuestos fenólicos), para contrarrestar el estrés oxidativo ocasionado por el insecto, probablemente les brinde cierta bioprotección como mecanismo de defensa contra la infestación de *T. vaporariorum*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por beca de escolaridad otorgada a Santa Mayra Alcantar-Acosta para estudios de maestría periodo 2016-2018.

Literatura citada

- Abe, N.; Murata, T. and Hirota, A. 1998. Novel DPPH radical scavengers, bisorbicillinol and demethyltrichodimerol, from a fungus. *Bio. Biotechnol. Biochem.* 62(4):661-666. Doi: 10.1271/bbb.62.661.
- Anderson, M. D.; Prasad, T. K. and Stewart, C. R. 1995. Changes in isoenzyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. *Plant Physiol.* 109(4): 1247-1257. Doi: 10.1104/pp.109.4.1247.
- Andrade, G. J. A. y Castro, D. P. 2018. Redes migratorias en el mercado de trabajo de la floricultura en el Estado de México (México). *Rev. Antropología Social.* 27(1):145-168. Doi: 10.5209/RASO.59436.
- Bass, C.; Denholm, I.; Williamson, S. and Nauen, R. 2015. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochem. Physiol.* 121:78-87. Doi: 10.1016/j.pestbp.2015.04.004.
- Belete, T. 2018. Defense mechanisms of plants to insects' pests: from morphological to biochemical approach. *J. Natural Sci. Res.* 8(9):1-8.
- Benezer-Benezer, M.; Castro-Mercado E. y García-Pineda E. 2008. La producción de especies reactivas de oxígeno durante la expresión de la resistencia a enfermedades en plantas. *Rev. Mex. Fitopatol.* 26(1):56-61.
- Berndt, O. and Meyhöfer, R. 2008. Whitefly control in cut gerbera: is it possible to control *Trialeurodes vaporariorum* with *Encarsia formosa*? *BioControl.* 53:751-762. Doi: 10.1007/s10526-007.
- Broekgaarden, C.; Snoeren, T. A.; Dicke, M. and Vosman, B. 2011. Exploiting natural variation to identify insect-resistance genes. *Plant Biotechnol. J.* 9(8):819-825. Doi: 10.1111/j.1467-7652.2011.00635.x.
- Cosio, C. and Dunand, C. 2009. Specific functions of individual class III peroxidase genes. *J. Exp. Bot.* 60(2): 391-408. Doi: 10.1093/jxb/ern318.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. 2016. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Dicko, M. H.; Gruppen, H., Barro, C.; Traoré, A. S.; Van Berkel, W. J. and Voragen, A. G. 2005. Impact of phenolic compounds and related enzymes in sorghum varieties for resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *J. Chem. Ecol.* 31(11):2671-2688. Doi: 10.1007/s10886-005-7619-5.

- Goławska, S.; Krzyżanowski, R. and Łukasik, I. 2010. Relationship between aphid infestation and chlorophyll content in Fabaceae species. *Acta Biológica Cracoviensia Series Botánica*. 52(2):76-80. Doi: 10.2478/v10182-010-0026-4.
- He, J.; Chen, F.; Chen, S.; Lv, G.; Deng, Y.; Fang, W. 2011. Chrysanthemum leaf epidermal surface morphology and antioxidant and defense enzyme activity in response to aphid infestation. *J. Plant Physiol.* 168: 687-693. doi: 10.1016/j.jplph.2010.10.009.
- Hilker, M. and 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. Doi: 10.1016/j.pbi.2016.05.003.
- Hoshino, A. T.; Buratto, J. S.; Dias, B. F.; Luski, P. G. G. and Androcioli, H. G. 2017. Resistance of different common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius, 1889) b biotype (Hemiptera: Aleyrodidae). Annual Report of the bean improvement cooperative. Published by USDA-ARS / UNL Faculty. 1736. 60:84-86.
- Huang, T. I.; Reed, D. A.; Perring, T. M. and Palumbo, J. C. 2014. Feeding damage by *Bagrada hilaris* (Hemiptera: Pentatomidae) and impact on growth and chlorophyll content of Brassicaceous plant species. *Arthropod-Plant Interactions*. 8(2):89-100. Doi: 10.1007/s11829-014-9289-0.
- Jiang, Y. N.; Wang, B. and Wu, T. L. 2009. Response of enzyme activity and secondary metabolites of different soybean genotypes to *Aphis glycines* Matsmura invasion. *Soybean Science*. 1:104-107. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-DDKX200901025.htm.
- Kerchev, P. I.; Fenton, B.; Foyer, C. H. and Hancock, R. D. 2012. Plant responses to insect herbivory: interactions between photosynthesis, reactive oxygen species and hormonal signalling pathways. *Plant, Cell Environ.* 35(2):441-453. Doi: 10.1111/j.1365-3040.2011.02399.x.
- Krisps, O. E.; Willems, P. E. L.; Gols, R.; Posthumus, M. A.; Gort, G. and Dicke, M. 2001. Comparison of cultivars of ornamental crop *Gerbera jamesonii* on production of spider mite-induced volatiles, and their attractiveness to the predator, *Phytoseiulus persimilis*. *J. Chem. Ecol.* 27(7):1355-1372. Doi: 10.1023/A:1010313209119.
- Lattanzio, V. 2013. Phenolic compounds: introduction. phytochemistry, botany and metabolism of alkaloids, phenolics and terpenes. *In: natural products*. Ramawat, K. and Merillon, J. M. (Eds.). Berlin Heidelberg. 1543-1580. Doi: 10.1007/978-3-642-22144-6.57.
- Lattanzio, V.; Lattanzio, V. M. and Cardinali, A. 2006. Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. *Phytochemistry. Adv. Res.* 661(2):23-67.
- López-Nicolás, J. M.; and García-Carmona, F. 2010. Enzymatic and Nonenzymatic degradation of polyphenols. *In: fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability*. De la Rosa, L. A.; Álvarez-Parrilla, E. and González-Aguilar, G. A. (Eds.). 1ª (Ed.). Wiley-Black well. USA. 101-130 pp.
- Lucatti, A. F.; Álvarez, A. E.; Machado, C. R. and Gilardón, E. 2010. Resistance of tomato genotypes to the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (West.) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Neotropical Entomol.* 39(5):792-798. Doi: 10.1590/S1519-566X2010000500019.
- Mangroliya, G. S.; Viridia, R. R.; Hirani, A. B. and Senjaliya, H. J. 2018. Varietal assessment and variability study of gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus.) in controlled condition. *Inter. J. Chem. Studies*. 6(1):1240-1244.

- Mitchell, C.; Brennan, R. M.; Graham, J. and Karley, A. J. 2016. Plant defense against herbivorous pests: exploiting resistance and tolerance traits for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Sci.* 7(1132):1-8. Doi: 10.3389/fpls.2016.01132.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Sci.* 7(9):405-410. Doi: 10.1016/S1360-1385(02)02312-9.
- Morales, P. y Cermeli, M. 2001. Evaluación de la preferencia de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) en cinco cultivos agrícolas. *Entomotropica.* 16(2):73-78.
- Parrella, D.; Melicharek, A. and Murdock, M. 2014. Evaluation of greenhouse whitefly control in gerbera Daisy, 2012. *Arthropod Management Tests.* 39(1). Doi: 10.4182/amt.2014.G1.
- Pérez-Sandoval, I.; Aguilar-Medel, S.; Rodríguez-Maciel, C. y Vásquez, G. L. M. 2011. Respuesta de la mosquita blanca *Trialetrodes vaporariorum* Westwood a insecticidas usados en cultivos ornamentales del Estado de México. *Entomología Mexicana.* 10(1):667-776.
- Pradhan, S.; Thapa, B. and Rai, P. 2017. Assessment studies on genetic variability traits in different genotypes of gerbera in hill zone of West Bengal. *Indian Hortic. J.* 7(1):76-78.
- Reddy, P. P. 2016. Sustainable crop protection under protected cultivation. Singapore. Springer. Doi: 10.1007/978-981-287-952-3.
- Rehman, F.; Khan, F. A. and Badruddin, S. M. A. 2012. Role of phenolics in plant defense against insect herbivory. *In: chemistry of phytopotentials: health, energy and environmental perspectives.* Khemani, L.; Srivastava, M. and Srivastava, S. (Eds.). Springer Heidelberg. Berlin. 309-313 pp.
- Rojas, Y. S.; Morales, J. y Sánchez, E. A. 2018. Registro de insectos y ácaros asociados a cultivos de gerbera *Gerbera jamesonii* Bolus ex Hook. f. (Compositae) en Venezuela. *SABER.* 30:238-243.
- Sandhyarani, U. and Usha, P. R. 2013. Insect herbivory induced foliar oxidative stress: changes in primary compounds, secondary metabolites and reactive oxygen species in sweet potato *Ipomoea batata* (L). *Allelopathy J.* 31(1):157-168.
- Senapati, A. K.; Prajapati, P. and Singh, A. 2013. Genetic variability and heritability studies in *Gerbera jamesonii* Bolus. *Afr. J. Agric. Res.* 8(41):5090-5092. Doi: 10.5897/AJAR2013.8038.
- Sharma, P.; Jha, A. B.; Dubey, R. S. and Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *J. Bot.* 1-26 pp. Doi: 10.1155/2012/217037.
- Shigeto, J. and Tsutsumi, Y. 2016. Diverse functions and reactions of class III peroxidases. *New Phytologist.* 209(4):1395-1402. Doi: 10.1111/nph.13738.
- SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola. Consultado 22-05-18, en: <http://nube.siap.gob.mx/cierre-agricola/>.
- Sierra, V. P.; Quiroga, L. F. y Varón, E. H. 2014. Preferencia de mosca blanca (*Paraleyrodes* sp.) por cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill.) en fresno, Tolima. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria.* 15(2):197-206.
- Strauss, S. Y.; Rudgers, J. A.; Lau, J. A. and Irwin, R. E. 2002. Direct and ecological costs of resistance to herbivory. *Trends in Ecol. Evol.* 17(6):278-285. Doi: 10.1016/S0169-5347(02)02483-7.
- Sulistyo, A. e Inayati, A. 2016. Mechanisms of antixenosis, antibiosis, and tolerance of fourteen soybean genotypes in response to whiteflies (*Bemisia tabaci*). *Biodiversitas.* 17(2):447-453. Doi: 10.13057/biodiv/d170207.

- Surin, U. 2011. Effects of different nutrient solution formulations on yield and cut flower quality of gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture system. *Afr. J. Agric. Res.* 6(21):4910-4919.
- Taggar, G. K. and Gill, R. S. 2012. Preference of whitefly, *Bemisia tabaci*, towards black gram genotypes: Role of morphological leaf characteristics. *Phytoparasitica.* 40(5):461-474. Doi: 10.1007/s12600-012-0247-z.
- Taggar, G. K.; Gill, R. S.; Gupta, A. K. and Singh, S. 2014. Induced changes in the antioxidative compounds of *Vigna mungo* genotypes due to infestation by *Bemisia tabaci* (Gennadius). *J. Environ. Biol.* 35(6):1037-1045.
- Vaca-Sánchez, M. S.; González-Rodríguez, A.; Maldonado-López, Y.; Fernández, W. G. y Cuevas-Reyes, P. 2016. Importancia de los taninos en especies del género *Quercus* como metabolitos secundarios asociados a defensa contra insectos herbívoros. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias.* 18(1):10-20.
- War, A. R.; Paulraj, M. G.; Ahmad, T.; Buhroo, A. A.; Hussain, B.; Ignacimuthu, S. and Sharma, H. C. 2012. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling & Behavior.* 7(10):1306-1320. doi: 10.4161/psb.21663.
- Waterman, P. G. and Mole, S. 1994. Analysis of phenolic plant metabolites. Blackwell Scientific Publication, Oxford. 238 p.
- Zhang, X.; Sun, X.; Zhao, H.; Xue, M. and 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(5):659-67. Doi:10.1007/s11829-017-9508-6.
- Zhao, H.; Sun, X.; Xue, M.; Zhang, X. and Li, Q. 2016. Antioxidant Enzyme responses induced by whiteflies in tobacco plants in defense against aphids: catalase may play a dominant role. *PLoS ONE.* 11(10):e0165454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165454>.