



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TENANCINGO

**“VARIACIÓN NATURAL DE *Gerbera x hybrida* EN LA
INCIDENCIA DE *Trialeurodes vaporariorum*”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

PRESENTA:

SANTA MAYRA ALCANTAR ACOSTA



Tenancingo, Estado de México, octubre 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TENANCINGO

**“VARIACIÓN NATURAL DE *Gerbera x hybrida* EN LA
INCIDENCIA DE *Trialeurodes vaporariorum*”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

PRESENTA:

SANTA MAYRA ALCANTAR ACOSTA

COMITÉ DE TURORES:

**Dr. JAIME MEJÍA CARRANZA.
Dra. MARTHA ELENA MORA HERRERA
Dr. SOTERO AGUILAR MEDEL**

RESUMEN

Trialeurodes vaporariorum es una plaga polífaga que afecta ornamentales como la gerbera. 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 cuantificaron ninfas al centro del envés de la hoja en un cm^2 ; y total de adultos por hoja. Se midieron el contenido relativo de clorofila (USPAD), contenido de compuestos fenólicos (Cf), la actividad enzimática de las peroxidasas (AePOX) y la capacidad antioxidante DPPH. Los genotipos mostraron diferencias significativas ($P > 0.01$) en la incidencia del insecto, así como en Cf, en AePOX, en Caox y en USPAD tanto SI como CI ($P > 0.01$). En CI, incrementaron el contenido de Cf (1.40 veces más), de la AePOX (4 veces más), y de la Caox (12 veces más). El contenido relativo de clorofila disminuyó en el genotipo con la mayor incidencia del insecto (-4 %). El análisis de correlación entre la incidencia del insecto con Cf (-0.60), AePox (-0.65), Caox (0.32), y USPAD (-0.45), mostró que la alimentación del insecto interfiere en el metabolismo de sus hospederos y desencadena respuestas integrales en el mecanismo de defensa de las plantas. La variación de gerbera a la incidencia de *T. vaporariorum* sugiere una respuesta diferencial entre los genotipos evaluados, aquellos con menor incidencia del insecto podrían utilizarse para desarrollar variedades resistentes o tolerantes como alternativas en la producción florícola, lo cual permitiría disminuir el uso de insecticidas utilizados para el control del insecto.

Palabras clave: actividad enzimática POX, DPPH, fenoles, mecanismos de defensa, variabilidad genética.

ABSTRACT

Trialeurodes vaporariorum is a polyphagous plague that affects ornamentals like gerbera. In this research, was evaluated the natural variation of gerbera to the incidence of *T. vaporariorum*. In a randomized complete block design, were analyzed ten gerbera genotypes in different phenological stages with no incidence (SI) and incidence (CI) of whitefly. Were quantified, nymphs at the center of the underside of the leaf in one cm²; and total of adults per leaf. The relative content of chlorophyll (USPAD), phenolic compounds content (Cf), the enzymatic peroxidase activity (AePOX) and the antioxidant capacity DPPH were measured. The hybrids showed significant differences ($P > 0.01$) in the incidence of the insect, as well as in Cf, in AePOX, in Caox and in USPAD both SI and CI ($P > 0.01$). In CI, they increased the Cf content (1.40 times more), the AePOX (4 times more), and the Caox (12 times more). The relative content of chlorophyll decreased in the genotype with the highest incidence of the insect (-4 %). The correlation analysis between the incidence of the insect with Cf (-0.60), AePox (-0.65), Caox (0.32), and USPAD (-0.45), showed that insect feeding interferes with the metabolism of its hosts and triggers responses integral in the defense mechanism of plants. The variation of gerbera to the incidence of *T. vaporariorum*, suggests a differential response among the evaluated genotypes; those with lower incidence of the insect could be used to develop resistant or tolerant varieties as alternative in flower production, which would allow reducing the use of insecticides used for the control of the insect.

Keywords: enzymatic POX activity, DPPH, phenols, defense mechanisms, genetic variability.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México, mi alma mater, quien a pesar de las dificultades como universidad me ha brindado un sin fin de oportunidades para mi crecimiento profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Al Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, quien me ha permitido iniciarme en los caminos de la investigación y abrir los ojos hacia la solución de problemáticas a través de la ciencia.

Al Comité tutorial por guiarme y compartirme sus conocimientos para mi formación en el posgrado, gracias por su esfuerzo y dedicación en la construcción de esta la investigación, y sobre todo por sus consejos tanto académicos como personales que los tendré presente durante mi vida.

A la empresa Servicios Integrales para la Horticultura, por proporcionarnos el material vegetativo para esta investigación.

A mis padres, por su ayuda invaluable en este proyecto y su apoyo desde mis inicios como estudiante.

A Jonathan, por su paciencia, por estar en los momentos difíciles y sobre todo por apoyarme en cada proyecto que emprendo.

A mis amigos de laboratorio Yoko, Alam, Pepe, Eddy, Juan Manuel por hacer más amenos los días que pintaban complicados; a Diana por sus enseñanzas en el laboratorio y sus experiencias que fortalecieron mi paso por la maestría.

A todos muchas gracias...

CONTENIDO

RESUMEN	III
ABSTRACT.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE CUADROS	XI
I.INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
2.1 Origen de la gerbera	4
2.2 Clasificación taxonómica (Hansen, 1985).	5
2.3 Descripción morfológica.....	5
2.4 Enfermedades en gerbera	7
2.4.1 <i>Pythium</i> sp. Pringsh.	7
2.4.2 <i>Rhizoctonia solani</i> Kuhn.	8
2.4.3 <i>Phytophthora cryptogea</i> Pethybr. & Laff.	8
2.4.4 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	8
2.4.5 <i>Verticillium albo-atrum</i> Reinke & Berthold; <i>V. dahliae</i> Kleb.....	8
2.4.6 <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Gerberae</i> Schltldl.....	8
2.4.7 <i>Botrytis cinérea</i> Pers.....	9
2.4.8 <i>Erysiphe</i> sp. R. Hedw. ex DC	9
2.4.9 <i>Alternaria</i> sp. Nees	9
2.5 Artrópodos en gerbera	9
2.5.1 <i>Liriomyza trifolii</i> Burgess	10
2.5.2 <i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande.....	10
2.5.3 <i>Myzus persicae</i> Sulzer., <i>Aphis gossypii</i> Glover	11
2.5.4 <i>Tetranychus urticae</i> C. L. Koch.....	11
2.5.5 <i>Trialeurodes vaporariorum</i> West. y <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius	11
2.6 Variación natural	13
2.7 Mecanismos de defensa de las plantas al ataque de insectos	17
2.7.1 Mecanismos antioxidantes en la defensa de las plantas.	21

2.7.2 Metabolitos secundarios en las plantas	23
2.7.3 Compuestos fenólicos.....	25
2.7.4 Barrera enzimática.....	30
2.7.5 Barreras físicas y cambios morfológicos.....	34
2.8 Mecanismos de resistencia en las plantas al ataque de insectos.	35
2.9 Vida en florero de gerbera	37
III. JUSTIFICACIÓN	38
IV. HIPÓTESIS.....	39
V. OBJETIVO GENERAL	39
VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
VII. MATERIALES Y MÉTODO.....	40
7.1 Localización del experimento	40
7.2 Material vegetativo	40
7.3 Establecimiento del experimento	41
7.4 Diseño experimental	42
7.5 Fertilización y riego del cultivo	42
7.6 Manejo fitosanitario	43
7.7 Variables evaluadas.....	44
7.7.1 Determinación de la hoja muestra.	44
7.7.2 Incidencia de la mosca blanca	45
7.7.3 Variables bioquímicas.....	46
7.7.3.1 Cuantificación de compuestos fenólicos.....	46
7.7.3.2 Actividad enzimática de la peroxidasa (EC 1. 11. 1.7)	47
7.7.3.3 Capacidad antioxidante DPPH.	48
7.7.4 Evaluación de la Vida florero.	49
7.7.5 Parámetros morfológicos evaluados en gerbera.....	49
7.8 Análisis estadístico.....	50
VIII. RESULTADOS	51
8.1 Incidencia de <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	51
8.2 Compuestos fenólicos en gerbera.....	52
8.3 Actividad enzimática de las Peroxidasas (AePOX)	54

8.4 Capacidad antioxidante DPPH en gerbera	56
8.5 Contenido relativo de clorofila (USPAD) en gerbera	58
8.6 Vida en florero y parámetros morfológicos.....	60
8.7 Análisis de correlación de las variables.	63
IX. DISCUSIÓN	66
9.1 Incidencia de <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	66
9.2 Análisis de compuestos fenólicos en gerbera	69
9.3 Actividad enzimática de las peroxidasas.....	71
9.4 Capacidad antioxidante en gerbera	76
9.5 Contenido relativo de clorofila USPAD.....	78
9.6 Vida florero y parámetros morfológicos.....	80
9.7 Correlación de las variables	82
X. CONCLUSIONES	88
XI. ARTICULO ENVIADO	89
Incidencia de <i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Hemiptera: Aleyrodidae) y mecanismos de defensa en <i>Gerbera x hybrida</i>	89
XII. RESULTADOS ADICIONALES	112
12.1 ARTICULO PUBLICADO I.	112
12.2 ARTICULO PUBLICADO II.	119
XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
XIV. ANEXOS	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Gerbera jamesonii</i> tomada de Bañon et al., (1993) con modificaciones....	6
Figura 2. Capítulo floral de gerbera (Bañon et al., 1993).....	7
Figura 3. a) <i>Bemisia tabaci</i> , alas paralelas plegadas en tejadillo y ninfas sin pelos; b) <i>Trialeurodes vaporariorum</i> , alas en forma de triángulo y ninfas con pelos (Parvatha, 2016).....	12
Figura 4. Ciclo biológico de <i>Trialeurodes vaporariorum</i> . Huevo, cuatro instares ninfales y adulto (Cardona et al., 2005).....	12
Figura 5. Clasificación de los mecanismos de defensa en las plantas al ataque de insectos (Mithöfer y Boland, 2012).	18
Figura 6. Mecanismos de defensa de las plantas (Barros-Ríos et al., 2011).	20
Figura 7. Estructura química del fenol.	26
Figura 8. Biosíntesis de compuestos fenólicos en las plantas atacadas por herbívoros tomado de Rehman et al., (2012).....	28
Figura 9. Genotipos de la empresa SIHO: Sofia, Estrella, Andrea, Morelia, Carmín, Magda y Lisieka. Genotipos comerciales: Dino, Completa y Opera.....	41
Figura 10. Disposición espacial de las macetas en diseño de bloques completos al azar con 10 repeticiones.	42
Figura 11. Incidencia de ninfas (cm ²) y adultos (hoja completa) de <i>Trialeurodes</i> <i>vaporariorum</i> en hojas maduras de <i>Gerbera x hybrida</i> , correspondientes a dos evaluaciones independientes en etapas fenológicas de inicio de emisión de capítulo floral y floración. Letras minúsculas= Comparación de medias datos ninfas; Letras mayúsculas= Comparación de medias adultos. Ejes sobre las columnas corresponde al error estándar. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$).	51
Figura 12. Contenido de compuestos fenólicos en hojas maduras de <i>Gerbera x</i> <i>hybrida</i> sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de <i>T.</i>	

vaporariorum en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Ejes sobre las columnas corresponde al error estándar. Letras minúsculas= comparación de medias en SI. Letras mayúsculas= comparación de medias en CI. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$).....53

Figura 13. Actividad enzimática de las peroxidasas (POX) en hojas maduras de *Gerbera x hybrida*; sin incidencia (SI), en etapa vegetativa; y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Ejes sobre las columnas, corresponde al error estándar. Letras minúsculas= comparación de medias en SI. Letras mayúsculas= comparación de medias en CI. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$)......55

Figura 14. Capacidad antioxidante de *Gerbera x hybrida* sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Ejes sobre las columnas 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 ($P \leq 0.05$).....57

Figura 15. Contenido relativo de clorofila como unidades SPAD de hojas maduras de *Gerbera x hybrida* sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en emisión de capítulo floral y floración. Ejes sobre las columnas corresponde al error estándar. Letras minúsculas= comparación de medias en SI. Letras mayúsculas= comparación de medias CI. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$)......59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de compuestos fenólicos.	27
Cuadro 2. Clasificación de las peroxidasas.....	32
Cuadro 3. Solución nutritiva para gerbera.	43
Cuadro 4. Contenido relativo de clorofila de genotipos de <i>Gerbera x hybrida</i> expresados como Unidades SPAD y utilizado como criterio de selección de hoja muestral.....	45
Cuadro 5. Porcentaje de incremento de compuestos fenólicos (Cf) en diez genotipos de gerbera evaluados sin incidencia (SI) y con incidencia (CI) de mosca blanca <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	53
Cuadro 6. Incremento de la actividad enzimática de la peroxidasa (POX) en diez genotipos de gerbera evaluados de sin incidencia (SI) a con incidencia (CI) de mosca blanca <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	55
Cuadro 7. Incremento de la capacidad antioxidante de diez genotipos de gerbera evaluados de sin incidencia (SI) a con incidencia (CI) de mosca blanca <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	58
Cuadro 8. Contenido relativo de clorofila en diez genotipos de <i>Gerbera x hybrida</i> , de sin incidencia (SI) a con incidencia (CI) de mosca blanca <i>T. vaporariorum</i>	59
Cuadro 9. Parametros morfológicos evaluados en gerbera en condiciones de sin incidencia (SI), datos proporcionados por SIHO, y con incidencia (CI) de mosca blanca, evaluado en este estudio.	62
Cuadro 10. Matriz de correlación Pearson de once variables medidas en diez genotipos de <i>Gerbera x hybrida</i>	65

I.INTRODUCCIÓN

La floricultura es uno de los sectores económicos más importantes del Estado de México no sólo por la derrama económica que genera, sino por la generación de empleos tanto directos como indirectos (Orozco, 2007; Andrade y Castro, 2018). Esta actividad tuvo su mayor crecimiento durante la década de los ochenta al pasar de 3,000 a 13,000 hectáreas de superficie cultivada con cultivos como rosa (*Rosa x hybrida* L.), crisantemo (*Dendranthema grandiflora* (Ramat) Kimatura), gerbera (*Gerbera x hybrida*), lilies (*Lilium* spp.), clavel (*Dianthus caryophyllus* L.), gladiolo (*Gladiolus grandiflorum* L.), orquídeas (diferentes especies), statice (*Limonium sinuatum* (L) Mill.), anturios (*Anthurium* spp.), entre otros (Orozco y Mendoza, 2003; Andrade y Castro, 2018).

El cultivo de gerbera *Gerbera x hybrida* desde su introducción en México, ha permanecido en la preferencia de las flores de corte al situarse en los primeros lugares en volumen de comercialización (Andrade y Castro, 2018). En el Estado de México, son los municipios de Villa Guerrero, Tenancingo, Coatepec Harinas y Zumpahuacán los principales productores con una superficie cultivada de 96 hectáreas para el 2016. Estos municipios generan una producción de 1, 108, 384 toneladas por ciclo de cultivo (SIAP, 2016). El gran rango de colores, su forma y vistosidad de la gerbera son algunas características que la han convertido en un elemento ideal para utilizar en los buquets o arreglos florales (Pérez, 2009).

Una de las plagas que afecta el cultivo de gerbera es la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) (Berndt y Meyhöfer, 2008). Este insecto ocasiona daños directos en sus hospederos, al succionar la savia de las plantas las debilita y les puede ocasionar la muerte; además es responsable de la

excreción de melaza, un sustrato para el desarrollo del hongo llamado fumagina (*Capnodium* sp.). El daño indirecto mas severo del insecto es su capacidad de transmitir virus tales como el Potato Yellow Vein Virus (PYVV), Tomato Leaf Curl Virus (TLCV) y Tomato Mottle Virus (ToMoV) entre otros (Cardona et al., 2005; Ortega-Arenas et al., 2008; Carapia y Castillo-Gutiérrez, 2013). *T. vaporariorum*, en el municipio de Tenancingo, es la especie de mosca blanca que tiene un mayor número de hospederos ornamentales en comparación con *Bemisia* spp. Estudios reportan que el cultivo de gerbera es uno de los más preferidos por *T. vaporariorum* entre las ornamentales (Alcantar-Acosta, 2012).

Durante el cultivo de gerbera y dentro de las técnicas agronómicas encaminadas al control de la mosca blanca se aplican pesticidas excesivamente, los cuales disminuyen la presencia de insectos benéficos y su uso inadecuado ha llevado al desarrollo de resistencia de diferentes insectos plaga e incluso de la mosca blanca (Torres et al., 2000; Parvatha, 2016). Estudios realizados, particularmente en la región florícola del sur del Estado de México, así como observaciones de técnicos agrícolas y productores en el área, indican el desarrollo de resistencia de la mosca blanca a los insecticidas comúnmente aplicados en esa zona (Pérez-Sandoval, 2011). Es por ello que es importante implementar alternativas diferentes del control químico que sean sustentables en la floricultura y dentro del manejo integrado de plagas como el mejoramiento genético. En este sentido, el uso de variedades resistentes a la mosca blanca es un método de control de fácil adaptación, ambientalmente seguro y compatible con otras medidas de control (García et al., 2003).

En la actualidad, de acuerdo a la percepción de productores y comercializadores en la región mencionada, se cultivan aproximadamente 200 variedades de gerbera provenientes de empresas transnacionales cuyos cobros por derechos de obtentor superan más del 70 % de la inversión hecha por los agricultores y que presentan diferencias morfológicas entre variedades, así como diferencias de susceptibilidad a las plagas. Evidenciar la existencia de variación natural en esta especie, particularmente en la incidencia de la mosca blanca, permitiría su aprovechamiento en la búsqueda de materiales resistentes a esta plaga útiles en el mejoramiento genético.

El desarrollo de genotipos mexicanos de gerbera con nuevas formas, colores y características, así como el conocimiento tanto de la resistencia como de la susceptibilidad de variedades de gerbera a la mosca blanca son solo el inicio de una floricultura más sustentable dentro del manejo integrado de la plaga. Por lo que en el presente trabajo fueron evaluados 7 genotipos de gerbera desarrollados por Rivera (2015) y 3 genotipos comerciales en la incidencia de mosca blanca.

II. ANTECEDENTES

2.1 Origen de la gerbera

Al género de gerbera pertenecen más de 50 especies y se encuentra distribuido en América del Sur, Asia Tropical y África, pero la mayoría de ellas son de origen africano (Bañon et al., 1993; Elomaa y Teeri, 2001; Pérez, 2009). Éste fue descubierto y estudiado en el siglo XVIII por el naturalista holandés Grenovius, pero se le asigna el nombre de gerbera, en honor al médico alemán Trangott Gerber (Bañon et al., 1993; Pérez, 2009). El nombre científico *Gerbera jamesonii* Bolus se debe al coleccionador Jameson quien descubrió a esta especie en Transvaal, al sur de África, motivo por el cual se le conoce también como margarita Transvaal (Pérez, 2009).

El mejoramiento genético de gerbera comenzó a finales del siglo XIX en Cambridge, Inglaterra, cuando dos especies de gerbera *Gerbera jamesonii* Bolus x *Gerbera viridifolia* Schultz-Bip, ambas procedentes del sur de África, fueron cruzadas por R. I. Lynch; y nombró al híbrido obtenido como *Gerbera x cantebriensis*, conocido hoy en día como *Gerbera x hybrida*. A partir del siglo XX, la gerbera empezó a cultivarse en países como Inglaterra, Bélgica, Estados Unidos, Alemania e Italia (Elomaa y Teeri, 2001). En la actualidad, la mayoría de las variedades cultivadas tienen su origen de las progenies de hibridación que hizo Lynch entre *G. jamesonii* x *G. viridifolia* (Bañon et al., 1993; Hansen, 1999).

2.2 Clasificación taxonómica (Hansen, 1985).

- **REINO:** Plantae
- **SUBREINO:** Tracheobionta
- **FILUM:** Tracheophyta
- **CLASE:** Magnoliopsida
- **SUBCLASE:** Asteridae
- **ORDEN:** Asterales
- **FAMILIA:** Asteraceae
- **SUBFAMILIA:** Mutisioodeae
- **TRIBU:** Mutiseae
- **GÉNERO:** Gerbera

2.3 Descripción morfológica

La gerbera es una planta herbácea, sus características botánicas de acuerdo con Bañon et al., (1993) son las siguientes:

Sistema radicular: fasciculado, compuesto por gruesas raíces de las que parten numerosas raicillas (Figura 1).

Hojas: colocadas sobre largos peciolo, crecen más o menos verticalmente hacia arriba, son elípticas, alargadas o lanceoladas, ligeramente hendidas en los bordes o lisas, su disposición forma una roseta. De algunas de ellas evolucionarán los brotes florales, que van a desarrollar unos vástagos o pedúnculos con una inflorescencia terminal en capítulo.

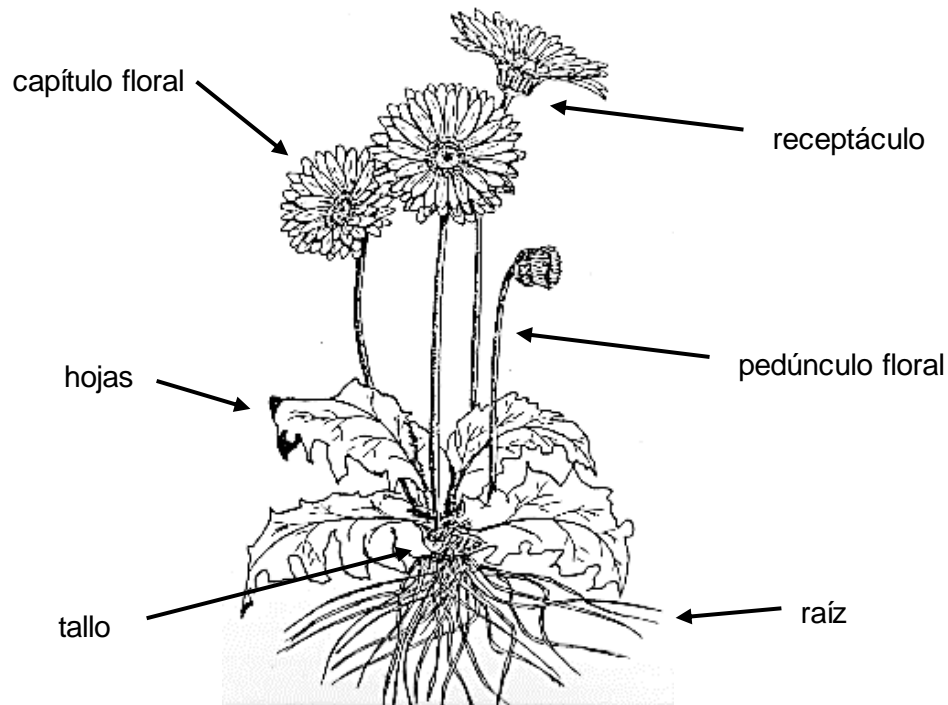


Figura 1. *Gerbera jamesonii* tomada de Bañón et al., (1993) con modificaciones.

Capítulo: nombre que recibe la inflorescencia, se encuentra colocado individualmente sobre largos pedúnculos. El capítulo está formado desde el exterior hacia el interior, por varias filas concéntricas de flores femeninas liguladas, normalmente una fila de flores hermafroditas no funcionales y en el centro las flores masculinas (Figura 2). Las flores liguladas son de forma y espesor variables y de amplia gama de colores según variedades. Para la clasificación varietal de la gerbera, además del color de la inflorescencia, se utilizan los términos de inflorescencias simples, semidobles y dobles, según el número, disposición y tamaño de las coronas de flores liguladas. También se emplea el término corazón negro o verde según sea el color de la parte central de la inflorescencia.

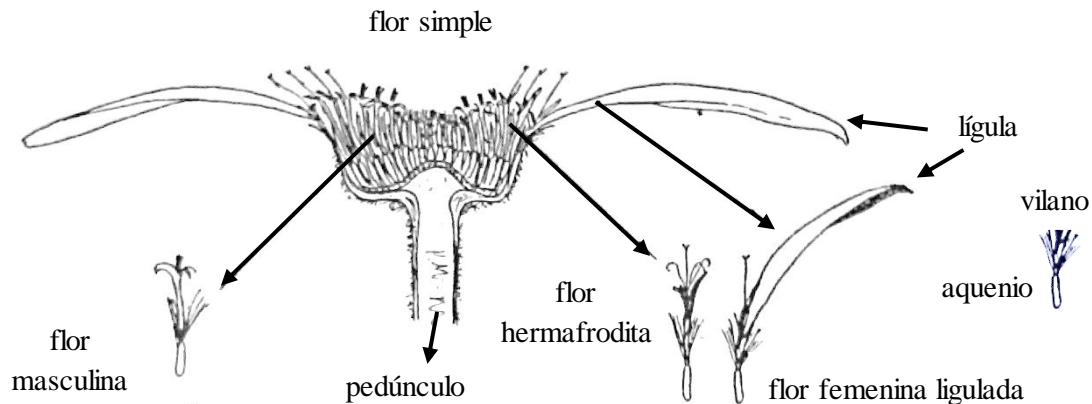


Figura 2. Capítulo floral de gerbera (Bañon et al., 1993).

Pedúnculo: puede ser de distintos grosores y su longitud depende del cultivar y de las condiciones medioambientales existentes. En su base es parcialmente leñoso, a veces aterciopelado y en la parte superior es vacío por dentro.

Fruto: es un achenio, acostillado, con coloración marrón claro y marrón oscuro, presenta un vilano en el extremo posterior lo que facilita su diseminación. Cada fruto contiene una **semilla**.

2.4 Enfermedades en gerbera

Bañon et al. (1993), reportan la presencia de las siguientes enfermedades para el cultivo de gerbera, las cuales se ven favorecidas por abundantes riegos y encharcamientos en el terreno.

2.4.1 *Pythium* sp. Pringsh.

Esta enfermedad afecta las plantas de gerbera tanto en etapa de semillero (plantas procedentes de semilla) o de adaptación (procedentes de cultivo in-vitro) como en los momentos posteriores a la plantación. Su presencia se caracteriza en forma de podredumbres a nivel del cuello de la planta que acaba por marchitarse.

2.4.2 *Rhizoctonia solani* Kuhn.

El ataque de esta enfermedad se evidencia por una clorosis en las hojas, seguidas de un envejecimiento, desecación de las mismas para finalizar con la muerte de las plantas.

2.4.3 *Phytophthora cryptogea* Pethybr. & Laff.

Las plantas afectadas por esta enfermedad se debilitan y marchitan repentinamente. Los síntomas se inician en la base del peciolo de las hojas que se ennegrecen y acaban por podrirse al igual que las raíces y el cuello de la planta.

2.4.4 *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary

Se presenta fundamentalmente en el cuello de las plantas y en la base de las hojas externas; se manifiesta en forma de podredumbres blandas acompañadas por un micelio blando algodonoso sobre el que se desarrollarán unos corpúsculos negros (esclerocios) que son las formas latentes de conservación del hongo.

2.4.5 *Verticillium albo-atrum* Reinke & Berthold; *V. dahliae* Kleb

Esta enfermedad actúa sobre los haces vasculares, se manifiesta por un marchitamiento de la planta, acompañado de un amarillamiento progresivo de las hojas, con decoloración de los nervios, que terminan secándose. Al final la planta acaba por morir. No existe tratamiento curativo para esta enfermedad solo el preventivo.

2.4.6 *Fusarium oxysporum* f. sp. *Gerberae* Schltdl

Esta enfermedad a diferencia de la verticiliosis necesita de temperaturas algo más cálidas para su desarrollo. También se caracteriza por un marchitamiento de la

planta y un amarillamiento progresivo de las hojas, aunque viene asociada con una pudrición del cuello y de las raíces. No existe tratamiento curativo para esta enfermedad, la desinfección preventiva del terreno es la mejor medida para prevenirla.

2.4.7 *Botrytis cinérea* Pers.

La enfermedad se manifiesta por la presencia de un micelio gris característico acompañado de pudriciones blandas. Cuando el ataque afecta a las lígulas, se observa la formación de pequeñas manchas grisáceas sobre su superficie afectando a la posterior comercialización de estas flores ya que el hongo continúa su evolución.

2.4.8 *Erysiphe* sp. R. Hedw. ex DC

La presencia de este hongo se manifiesta en forma de un micelio blanquecino sobre la superficie de las hojas. En caso de un ataque intenso este micelio se extiende, llegando a secar la hoja y atacar al pedúnculo y capítulo floral.

2.4.9 *Alternaria* sp. Nees

En las hojas aparecen manchas necróticas con círculos concéntricos. En caso de fuertes infestaciones las manchas se extienden por toda la hoja que terminan secándose.

2.5 Artrópodos en gerbera

En el cultivo de gerbera (*Gerbera x hybrida*) las plagas más frecuentemente reportadas son: minadores, trips, mosca blanca, ácaros y nematodos (Lé, 2000).

2.5.1 *Liriomyza trifolii* Burgess

El minador es una de las plagas más importantes en gerbera por su voracidad (Bañon et al., 1993). Presenta metamorfosis completa, es decir, cuatro estadíos biológicos: huevo, larva, pupa y adulto. Principalmente es la larva la que ocasiona los daños, ya que se alimenta del parénquima del limbo foliar formando galerías sinuosas, en caso de fuertes infestaciones, ocasionan una considerable reducción fotosintética de la planta. La larva cae de la hoja para pupar, enseguida el adulto eclosiona en la misma planta o con mayor probabilidad en el suelo (Bañon et al., 1993).

2.5.2 *Frankliniella occidentalis* Pergande

Existen varias especies de trips que pueden atacar a la gerbera, pero la especie más virulenta es *Frankliniella occidentalis*. Las larvas de esta plaga se encuentran protegidas en las flores, las prepupas en el suelo y el adulto tiene gran movilidad, lo cual interfiere en forma negativa con la eficiencia de los químicos utilizados hacia su control (Castresana et al., 2008). Los adultos y las larvas de *F. occidentalis* son los que producen severos daños cuando raspan y succionan el fluido de las células que se encuentran en la superficie de las lígulas. Producen vetas, decoloraciones visibles, necrosis, así como detención del crecimiento y deformaciones en las lígulas del exterior del capítulo, las cuales se enrollan longitudinalmente sobre la cara superior. Asimismo, las picaduras en las flores facilitan el ataque de *Botrytis* cuando el ambiente y las condiciones son propicios para el hongo (Bañon et al., 1993; Parvatha 2016).

2.5.3 *Myzus persicae* Sulzer., *Aphis gossypii* Glover

Se ha detectado, en ocasiones, la presencia de pulgones en gerbera, los daños ocasionados son de poca importancia y su control relativamente fácil. Los ataques se producen principalmente sobre las hojas jóvenes ocasionando debilitamiento y crecimientos irregulares de las partes afectadas. En caso de ataques intensos, demerita la calidad y comercialización de los capítulos florales (Bañon et al., 1993; Parvatha, 2016).

2.5.4 *Tetranychus urticae* C. L. Koch

Este ácaro polífago, comúnmente conocido como araña roja puede ocasionar importantes daños al cultivo de gerbera. Su presencia se ve favorecida por el tiempo cálido y seco, a 30°C completa su ciclo biológico en poco más de siete días. Los daños están ocasionados por las picaduras de larvas, ninfas y adultos al alimentarse de las plantas. Se manifiestan en las hojas por la existencia de zonas amarillentas acompañadas de punteaduras necróticas y por la presencia de finas telas parecidas a las de araña (Bañon et al., 1993).

2.5.5 *Trialeurodes vaporariorum* West. y *Bemisia tabaci* Gennadius

Las mosquitas blancas son pequeños insectos fitófagos de importancia económica (Carapia y Catillo-Gutiérrez, 2013; Parvatha, 2016). *Trialeurodes vaporariorum* es una especie de mosca blanca asociada a ornamentales como la rosa y la gerbera (Alvarado-Navarro et al., 2012; Parrella et al., 2014). A la habitual presencia de *T. vaporariorum* en gerbera hay que añadir la incorporación de *Bemisia tabaci* que también alcanza niveles de plaga (Figura 3) (Bañon et al., 1993). Presentan metamorfosis incompleta (hemimetábolo): huevo, cuatro instares ninfales (el cuarto instar ninfal es comúnmente llamado pupa) y adulto (Figura 4).



Figura 3. a) *Bemisia tabaci*, alas paralelas plegadas en tejadillo y ninfas sin pelos; **b)** *Trialeurodes vaporariorum*, alas en forma de triángulo y ninfas con pelos (Parvatha, 2016).



Figura 4. Ciclo biológico de *Trialeurodes vaporariorum*. Huevo, cuatro instares ninfales y adulto (Cardona et al., 2005).

La especie de mosca blanca *T. vaporariorum* en gerbera ocasiona daños tanto estéticos como fisiológicos (Bañón et al., 1993). Tanto ninfa como adulto debilitan la planta y a su vez excretan una sustancia azucarada, sobre la que se desarrolla un moho negro conocido como negrilla o fumagina (*Capnodium* sp.) esta cubre la

epidermis de las hojas y reduce la actividad fotosintética de la planta y aumenta su debilitamiento (Bañon et al., 1993; Cardona et al., 2005). En caso de fuertes infestaciones, es necesario un deshojado de la planta y si la melaza alcanza el pedúnculo floral afecta la comercialización de las flores (Bañon et al., 1993).

2.6 Variación natural

La variación natural encontrada en la naturaleza es el fenómeno responsable de la gran diversidad de plantas que existen, algunas de ellas se parecen más entre sí que otras, incluso, algunas se diferencian dentro de poblaciones de la misma especie (Willan et al., 1993). Tal variación fue observada por Darwin, quien señaló que entre los miembros de una población cada individuo tiene una combinación única de rasgos como tamaño, color, capacidad de tolerar condiciones ambientales adversas y resistencia a ciertos parásitos o enfermedades (Solomon et al., 2008). Esta variación natural permanente dentro de una especie hace posible que poblaciones naturales sometidas a presiones de estrés, como el ataque de patógenos e insectos, persistan en entornos complejos (Kerwin et al., 2015).

De acuerdo con Willan et al., (1993) se puede encontrar las siguientes clases de variación en las plantas:

- Variación ambiental, aquella que ocurre por diferencias en las condiciones ambientales y por factores bióticos, que no afectan por igual a todas las plantas.

- Variación genética, la cual se refiere a las diferencias naturales en las secuencias de ADN que se encuentran entre individuos de una especie y que posteriormente se refleja en la expresión de un fenotipo.

Una población siempre exhibe cierto grado de variación genotípica; la conservación de tal variación es beneficiosa debido a que las poblaciones con variaciones limitadas podrían no adaptarse a nuevas condiciones y se extinguirían (Mader, 2008). La variación genética de una población proviene de las siguientes fuerzas evolutivas (Curtis et al, 2013; Avissar et al., 2013):

- a) mutación,
- b) selección natural,
- c) reproducción sexual
- d) migración y
- e) deriva genética

Estos procesos microevolutivos (pequeños cambios en el acervo genético durante un período relativamente corto) son opuestos a las condiciones que deben concurrir en una población en equilibrio genético, cuando uno o más de estos procesos operan en una población, las frecuencias alélicas o genotípicas cambian de una generación a otra (Mader, 2008; Solomon et al., 2008).

Los cambios genéticos causados por mutación pueden mejorar la aptitud de un individuo, es decir la capacidad del individuo para sobrevivir y reproducirse, y es probable que se vuelva más común en la población, otras mutaciones pueden reducir la aptitud física de un individuo y tener menos descendencia o menor probabilidad de supervivencia; sin embargo, se cree que la mayoría de las mutaciones no tendrán ningún efecto sobre la aptitud de los individuos, es decir

una mutación neutral (Kerwin et al., 2015). Las mutaciones pueden ser de dos tipos: mutación cromosómica, si implican la delección, transposición, inversión o duplicación de una molécula de ADN y afectan el número de cromosomas; y mutación génica, si la mutación ocurre en un gen a partir de la sustitución de uno o más nucleótidos (Curtis et al., 2013).

El mecanismo de selección natural, formulado por Darwin y también conocido como “supervivencia del más apto”, es el proceso de adaptación de una población a ambientes bióticos y abióticos, que conduce a un cambio evolutivo (Mader, 2008). Este mecanismo no causa el desarrollo de un organismo perfecto, más bien, suprime aquellos individuos con fenotipos menos adaptados a los desafíos del ambiente, al mismo tiempo que permite a los mejor adaptados sobrevivir y transferir sus alelos a su progenie (Solomon et al., 2008). Sin embargo, la selección natural solo puede tener lugar si hay variación o diferencias entre los organismos de una población (Avissar et al., 2013).

La reproducción sexual también conduce a la diversidad genética, la cruce de dos individuos produce combinaciones únicas de alelos que originan genotipos y fenotipos únicos en cada uno de los descendientes (Willan et al., 1993; Avissar et al., 2013). Genes complejos además de factores ambientales contribuyen a la expresión del fenotipo, pero solamente los cambios genéticos son heredables y dan como resultado adaptaciones evolutivas (Benfey y Mitchel-Olds, 2009; Avissar et al., 2013). También, el flujo génico o migración genética, puede aumentar la variación dentro de una población al introducir alelos novedosos que se produjeron por mutaciones en otra población (Mader, 2008).

La deriva genética tiene lugar cuando la aparición de formas variantes de un gen, llamadas alelos, aumenta y disminuye por casualidad a lo largo del tiempo. Una vez que comienza, la deriva genética continuará hasta que el alelo afectado sea perdido por una población o hasta que sea el único alelo presente en una población en un locus particular. Ambas posibilidades disminuyen la diversidad genética de una población. Este proceso es aleatorio y por lo tanto probable que no produzca los mismos resultados en diferentes poblaciones (Mader, 2008).

Se han observado altos niveles de variación entre poblaciones naturales de plantas, como en el caso de la especie modelo *Arabidopsis thaliana*, que exhibe variación genética en muchos de sus rasgos tanto dentro como entre poblaciones naturales (Kerwin et al., 2015). Uno de estos rasgos es la respuesta diferencial en la interacción *A. thaliana*- *Botrytis cinérea*, así como en la producción de metabolitos secundarios como glucosinolatos, que ayudan a las plantas a defenderse contra los herbívoros y la infección por patógenos (Kroymann et al., 2003; Rowe y Kliebenstein, 2008; Kerwin et al., 2015).

Algunos autores coinciden en la explotación de la variación natural presente en las plantas con nuevas tecnologías y mejoramiento genético para el desarrollo de variedades resistentes, por ejemplo, a insectos, sin embargo, solo muy poca de esta variación ha sido explotada en la agricultura (Broekgaarden et al., 2011). El mejoramiento genético basado en la selección depende de la variabilidad genética existente en los genotipos disponibles y esta selección solo es efectiva cuando la variabilidad observada en la población es heredable (Senapati et al., 2013).

En el caso de gerbera, la variación encontrada ha sido resultado de hibridaciones entre las especies *Gerbera jamesonii* Bolus x *Gerbera viridifolia* Schultz-Bip, y

posiblemente otras especies, que han conducido al desarrollo de la mayoría de las variedades cultivadas en la actualidad, las cuales son altamente heterocigotas (Bañon et al., 1993; Hansen, 1999). Estudios recientes han detectado además de la suficiente variabilidad genética de gerbera en caracteres como número de hojas por planta, número de tallos por planta y área foliar; también han detectado la alta heredabilidad de caracteres como los días requeridos para la primera floración, vida de florero y número de tallos por planta por año (Senapati et al., 2013). El mejoramiento genético convencional ha recibido grandes beneficios de la variación genética de esta especie y ha resultado en la producción de genotipos con características estéticas (color de la flor y morfología); combinados con características económicas como la productividad de las flores, sincronía de la floración y vida de florero (Elomaa y Teeri, 2001). En este mismo sentido, también se han reportado ciertas variaciones entre genotipos de gerbera en la síntesis de compuestos metabólicos en respuesta al ataque de plagas (Krisps et al., 2001; Alcantar-Acosta et al., 2017). Tal variación pudiera ser aprovechada en la búsqueda de materiales resistentes útiles en el mejoramiento genético.

2.7 Mecanismos de defensa de las plantas al ataque de insectos

Las plantas y los insectos han coexistido por al menos 100 millones de años y han desarrollado gran variedad de interacciones, frecuentemente las plantas son dañadas por los insectos (Stotz et al., 1999). Estas invierten gran parte de su energía para protegerse contra las plagas y a su vez han desarrollado mecanismos de defensa que incluyen barreras físicas y/o químicas para minimizar el daño (Camarena, 2009; Sandhyarani y Usha, 2013).

En principio, estas respuestas de defensa pueden ser clasificadas en dos categorías: constitutivas e inducidas (Mithöfer y Boland 2012).

La defensa constitutiva siempre está presente, independientemente de la presencia o ausencia de un daño, muchas respuestas son constitutivas, tales como compuestos tóxicos que son sintetizados y almacenados en ciertos tejidos vegetales, sin considerar el costo energético que representa su biosíntesis (Figura 5) (Mithöfer y Maffei, 2016). En contraste, las defensas inducidas solo son activadas cuando es necesario, por ejemplo, después del ataque de un herbívoro (Mithöfer y Maffei, 2016). Casi todas las reacciones inducidas implican reacciones químicas de defensa. En esta situación, las plantas tienen que reconocer la presencia de la plaga e inducir una cascada de señales como respuesta (Mitchell et al., 2016; Mithöfer y Maffei, 2016).

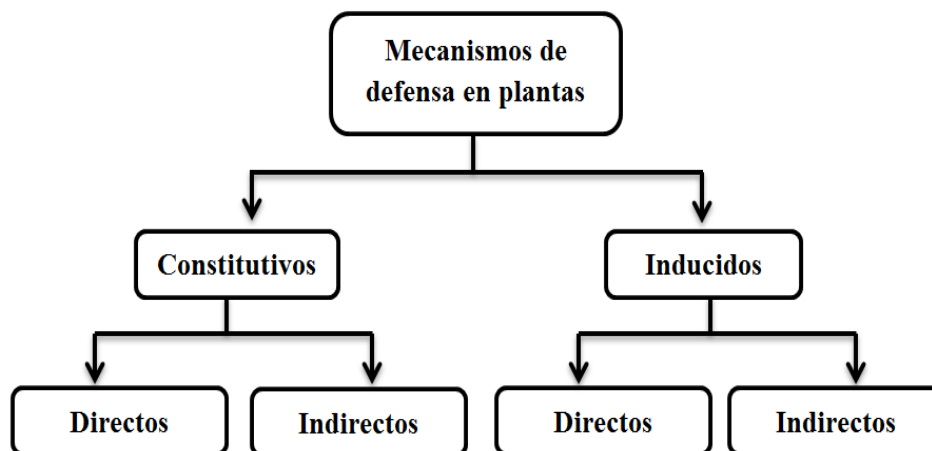


Figura 5. Clasificación de los mecanismos de defensa en las plantas al ataque de insectos (Mithöfer y Boland, 2012).

Asimismo, las respuestas de defensa constitutiva e inducida se pueden distinguir cada una de ellas en directas e indirectas. El mecanismo de defensa directo les

confiere a las plantas una ventaja hacia los insectos, pues forman la primera barrera física contra sus depredadores y disuaden directamente la alimentación por insectos (Sepúlveda, 2003; War et al., 2012). Este tipo de defensa incluye rasgos estructurales morfológicos de las plantas tales como, la cera de la superficie de la hoja, espinas, tricomas, pelos glandulares, grosor de la hoja, entre otros, y también por aquellos compuestos aleloquímicos contenidos en los tejidos de las plantas que exhiben efectos antialimentarios o de repelencia sobre los artrópodos que las atacan tales como, glucósidos cianógenicos, inhibidores de enzimas digestivas, alcaloides, fenoles entre otros (Mithöfer y Boland, 2012; War et al., 2012; Álvarez, 2015).

El mecanismo de defensa indirecto incluye la producción de volátiles que actúan como señales para otros organismos, es decir, atraen enemigos naturales de los insectos plaga tales como parasitoides y predadores naturales (Marín-Loaiza y Céspedes, 2007; War et al., 2012). Sin embargo, el desarrollo de los mecanismos de defensa tiene un costo para la planta, que se podría reflejar en una disminución de su desarrollo vegetativo y/o reproductivo, por lo tanto, la planta tiene que balancear las respuestas de defensa inducidas y constitutivas sin sacrificar su longevidad, viabilidad y reproducción (Walling, 2000).

Un ejemplo claro de los mecanismos de defensa inducidos que se han estudiado en maíz son la acumulación de metabolitos tóxicos, repelentes o inhibidores nutricionales como respuesta directa al ataque de una plaga, así como la atracción de enemigos naturales o la comunicación planta-planta como respuestas indirectas (Figura 6).

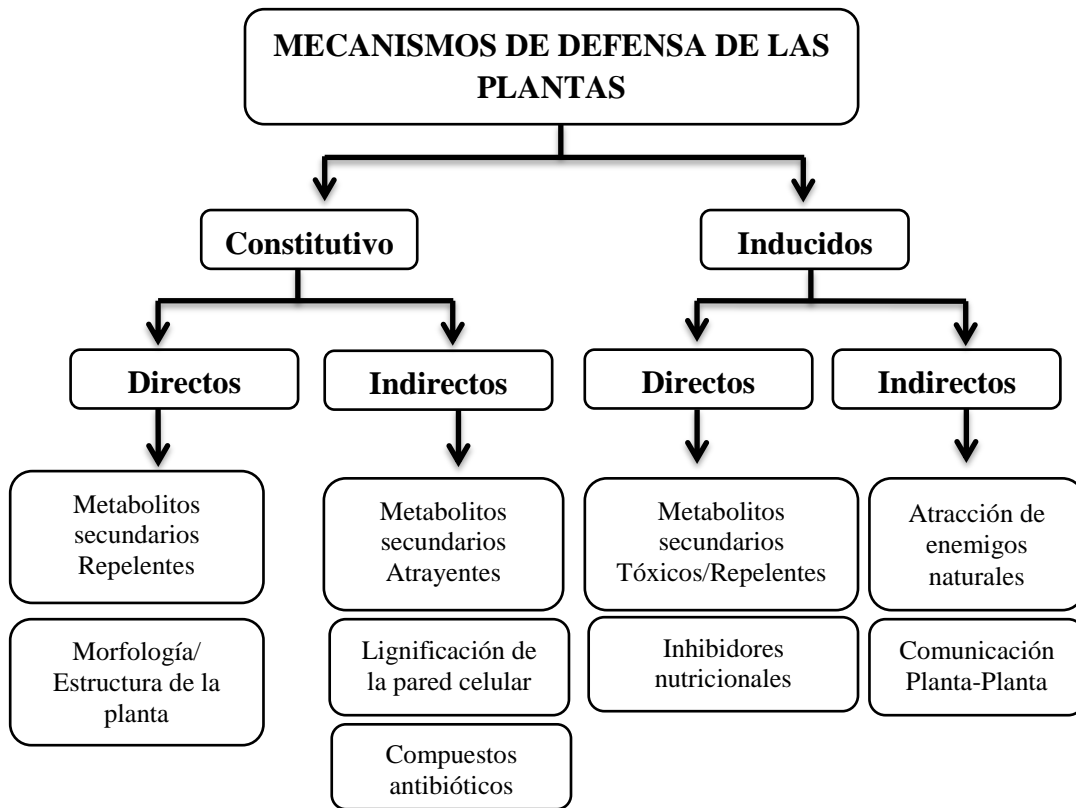


Figura 6. Mecanismos de defensa de las plantas (Barros-Ríos et al., 2011).

En relación a los mecanismos de defensa constitutivos se encuentran metabolitos repelentes o atrayentes, proteínas, así como diferentes caracteres morfológicos estructurales de la planta (altura, dureza del tallo, presencia de tricomas en las hojas) además de la estructura y composición de la pared celular (Barros-Ríos et al., 2011). Las plantas, para percibir la presencia de insectos herbívoros se valen de las secreciones orales del artrópodo. Por ejemplo, cuando la mosca blanca inserta sus estiletes especializados entre las células para establecer un sitio de alimentación en el floema, las plantas reconocen los compuestos de la secreción oral del insecto e inducen las respuestas de defensa (Camarena, 2009).

Por otro lado, los quimiorreceptores en las partes bucales, antenas y tarsos del insecto, miden la disponibilidad de la planta como fuente de alimento. En cada una de estas interacciones tanto el insecto como la planta reciben y envían señales químicas que determinan el éxito de la interacción (Camarena, 2009).

2.7.1 Mecanismos antioxidantes en la defensa de las plantas.

Especies Reactivas de Oxígeno (ERO) es el término que se aplica colectivamente a las moléculas radicales y no radicales que son agentes oxidantes y/o son fácilmente convertidos a radicales (Avello y Suwalsky, 2006). Estas especies químicas, atómicas o moleculares, con un electrón desapareado en su orbital más externo, tienden a captar un electrón de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica e iniciar una reacción en cadena que ocasiona daños a la célula (Avello y Suwalsky, 2006).

Las ERO tales como superóxido (O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), y radical hidroxilo (OH^-) se originan como productos normales del metabolismo celular en las plantas (Sharma et al., 2012). Diversas condiciones de estrés biótico (infección por patógenos o la alimentación por insectos) y abiótico (alta intensidad de luz, calor y sequía), conducen a una producción excesiva de EROS (Mittler, 2002; Benezzer-Benezzer et al., 2008). Por ejemplo, se origina una producción localizada de EROS en la respuesta hipersensible de las plantas al ataque de patógenos (Benezzer-Benezzer et al., 2008). Un rápido incremento de EROS es conocido como “estallido oxidativo” a través del cual se induce daño a moléculas biológicas como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Arora et al., 2002; Avello y Suwalsky, 2006; Maffei et al., 2007; Sharma et al., 2012). A pesar de su actividad destructiva, estas

moléculas oxidantes pueden ser perjudiciales o beneficiosas en función de su concentración en la célula. En baja o moderada concentración, pueden actuar como moléculas de señalización intracelular para la activación de respuestas de defensa, en altas concentraciones pueden aumentar el daño producido por el estrés debido a su inestabilidad (Dat et al., 2000; Sharma et al., 2012).

Para contrarrestar este estrés oxidativo generado por las ERO, las plantas tienen mecanismos de defensa antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, (Mittler, 2002). Un antioxidante son todos aquellos compuestos que pueden retardar la oxidación de otras moléculas inhibiendo la iniciación y/o propagación de las reacciones en cadena de los radicales libres, debido a que les cede un electrón y debilita su acción (Cavaiuolo et al., 2013).

El mecanismo de defensa antioxidante enzimático, incluye a enzimas como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), peroxidasas (POX); mientras que el mecanismo no enzimático está representado por productos del metabolismo primario como los tocoferoles, glutatión, ácido ascórbico (Mittler, 2002) y también por productos del metabolismo secundario como los compuestos fenólicos que además de funcionar como agentes antioxidantes su acumulación puede ser tóxica para algunas plagas (Bennett y Wallsgrave, 1994; Rehman et al., 2012).

La concentración de compuestos antioxidantes en las plantas es constitutiva y variable de especie a especie, también es variable durante el desarrollo y tejido de la planta (Cavaiuolo et al., 2013). El ensayo del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es un método que permite medir la capacidad antioxidante de las plantas, se basa en la actividad de eliminación de radicales libres por los antioxidantes presentes en una muestra. Este radical tiene un color violeta intenso en la

solución, y se vuelve incoloro o amarillo pálido cuando se neutraliza. Esta propiedad permite visualizar la reacción; y la cantidad de radicales iniciales se puede estimar a partir del cambio en la absorción óptica a 520 nm (Grigelmo-Miguel et al., 2010).

2.7.2 Metabolitos secundarios en las plantas

El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en un organismo vivo. La mayor parte del carbono, nitrógeno y de la energía termina en moléculas comunes a todas las células, necesarias para su funcionamiento y el de los organismos. Las plantas sintetizan una enorme cantidad de compuestos de diversas estructuras y clases, como aminoácidos, nucleótidos, azúcares y lípidos, y desempeñan funciones vitales para su crecimiento y desarrollo, este conjunto de moléculas se denominan metabolitos primarios (Ávalos y Pérez-Urria, 2009; Lattanzio, 2013).

Por otro lado, las plantas destinan una cantidad significativa del carbono asimilado y de la energía a la síntesis de una amplia variedad de moléculas orgánicas que no parecen tener una función directa en procesos fotosintéticos, respiratorios, asimilación de nutrientes, transporte de solutos o síntesis de proteínas, carbohidratos o lípidos, pero que son necesarios para su supervivencia en el medio ambiente y que se denominan metabolitos secundarios (MS) (Ávalos y Pérez-Urria, 2009; Lattanzio, 2013). Se diferencian de los metabolitos primarios en que tienen una distribución restringida en el reino vegetal, es decir, no todos los metabolitos están presentes en todos los grupos de plantas (Ávalos y Pérez-Urria,

2009). No obstante, los metabolitos secundarios son estructuralmente y químicamente más diversos que los metabolitos primarios (Lattanzio, 2013).

Los MS son compuestos químicos presentes en concentraciones variables en todos los diferentes tejidos vegetales adultos (Sepúlveda, 2003). Se ha estimado que las plantas son capaces de sintetizar hasta 200,000 compuestos de bajo peso molecular referidos como metabolitos secundarios (Mithöfer y Maffei, 2016). El término metabolito secundario es cada vez más inadecuado, ya que su función de secundario se atribuye a compuestos que no tienen un papel importante en las plantas. En el pasado eran considerados como productos de desecho del metabolismo primario y tenían poca importancia para el metabolismo y crecimiento de las plantas (Bennett y Wallsgrave, 1994). Actualmente se sabe que existe un extenso repertorio de MS en las plantas presentes en concentraciones variables y tienen importancia tanto ecológica, como fisiológica ya que participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente (Ávalos y Pérez-Urria, 2009; Pichersky y Lewinsohn, 2011). También se induce una síntesis activa de estos cuando las plantas son expuestas a condiciones adversas como (Sepúlveda, 2003; Lattanzio, 2013):

- a)** El consumo por herbívoros (artrópodos y vertebrados)
- b)** El ataque por microorganismos: virus, bacterias y hongos.
- c)** La competencia por el espacio de suelo, la luz y los nutrientes entre las diferentes especies de plantas y
- d)** La exposición a la luz solar u otros tipos de estrés abiótico

De acuerdo con Ávalos y Pérez-Urria (2009) los metabolitos secundarios se agrupan en 4 clases principales:

- **Terpenos.** Entre los que se encuentran hormonas, pigmentos o aceites esenciales.
- **Compuestos fenólicos.** Cumarinas, flavonoides, lignina, taninos, etc.
- **Glicósidos.** Saponinas, glicósidos cardiacos, glicósidos cianogénicos y glucosinolatos.
- **Alcaloides.** codeína, morfina, protropina, nicotina.

Cuando los MS se inducen en la planta por el ataque de insectos, estos, actúan como señales de disuasión, producen efectos repulsivos, antialimentarios, tóxicos, alteraciones de la fisiología y/o comportamiento sexual o poblacional de los insectos (Bennett y Wallsgrave, 1994; Rehman et al., 2012).

Metabolitos secundarios como terpenos, han sido estudiados por su efecto anti-alimentario y de repelencia hacia los insectos (Viegas, 2003). Por otro lado, compuestos fenólicos, han sido relacionados en la defensa de las plantas (Lattanzio, 2013; Rehman et al., 2012;) contra factores bióticos, como hongos (Shalaby y Horwitz, 2015), insectos (Hartley y Firn, 1989; Rehman et al., 2012; Zhang et al., 2017); y abióticos como cambios en su medio ambiente por sequía y altas temperaturas (Bautista et al., 2016).

2.7.3 Compuestos fenólicos

Las plantas sintetizan una gran variedad de metabolitos secundarios que contienen un grupo fenol. Estas sustancias reciben el nombre de compuestos

fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides y derivan todas ellas del fenol, un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilos (Figura 7).

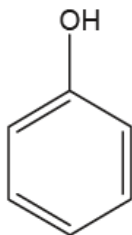


Figura 7. Estructura química del fenol.

Los compuestos fenólicos son los metabolitos secundarios más ampliamente distribuidos en las plantas y conforman un grupo muy diverso (Cuadro 1), desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos hasta polímeros complejos como los taninos o la lignina, en el grupo también se encuentran pigmentos flavonoides (Ávalos y Pérez-Urria, 2009; Lattanzio, 2013). Existen más de 8,000 compuestos fenólicos conocidos y categorizados en base al número de carbonos y sus arreglos (Rehman et al., 2012; Lattanzio, 2013; Velmerris y Nicholson, 2009). Muchos de estos productos están implicados en la interacción planta-herbívoro (Ávalos y Pérez-Urria, 2009).

Cuadro 1. Clasificación de compuestos fenólicos.

C ₆	fenoles simples, resorcinol
C ₆ -C ₁	ácidos fenólicos y compuestos relacionados
C ₆ -C ₂	acetofenonas y ácidos fenilacéticos
C ₆ -C ₃	ácidos cinámicos, cinamil aldehidos, cinamil alcoholes
C ₆ -C ₃	Cumarinas, isocumarinas y cromonas
C ₁₅	Chalconas, auronas, dihidrochalconas
C ₁₅	Flavonas
C ₁₅	Flavononas
C ₁₅	flavonoles
C ₁₅	antocianidinas
C ₁₅	antocianinas
C ₃₀	biflavonilos
C ₆ -C ₁ -C ₆ , C ₆ -C ₂ -C ₆	benzofenonas, xantonas, estilbenos
C ₆ , C ₁₀ , C ₁₄	quinonas
C ₁₈	betacianinas
Lignananas, neolignananas	dimeros u oligomeros
Lignina	polimeros
Taninos	oligomeros o polimeros
Flobafenos	polímeros

Los carbohidratos que se generan durante la fotosíntesis forman las unidades de construcción para todos los demás compuestos basados de carbono en la célula, incluidos los compuestos fenólicos (Velmerris y Nicholson, 2009). La ruta del ácido shikimico es responsable de la biosíntesis de compuestos fenólicos en las plantas (Figura 8) (Ávalos y Pérez-Urria, 2009).

Esta ruta a partir de eritrosa-4-P y de ácido fosfoenolpirúvico conduce a la síntesis de ácido shikimico y derivados de éste, como aminoácidos aromáticos (fenilalanina, triptófano y tirosina).

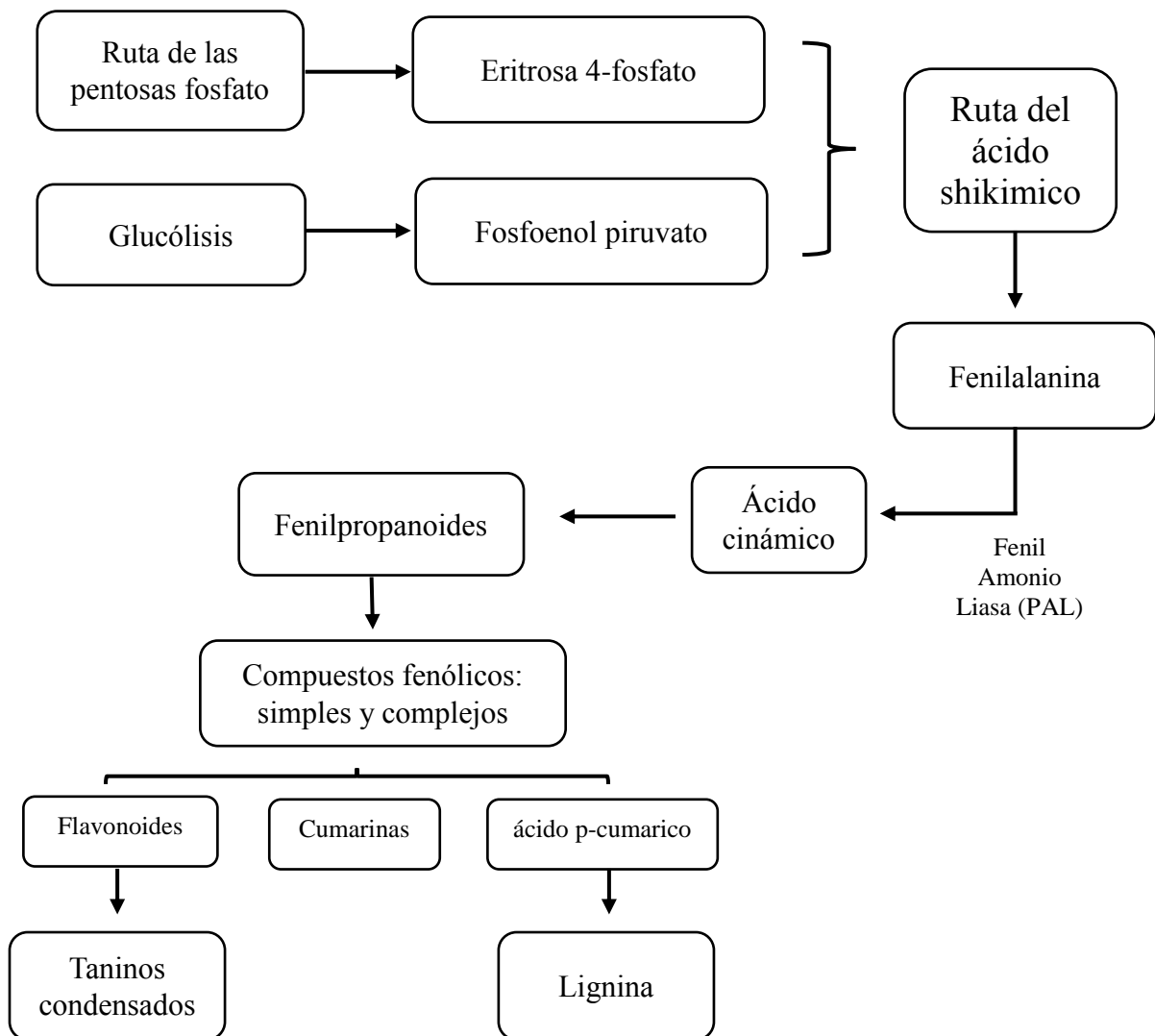


Figura 8. Biosíntesis de compuestos fenólicos en las plantas atacadas por herbívoros tomado de Rehman et al., (2012).

La mayoría de los compuestos fenólicos derivan de la fenilalanina, aminoácido determinante para la enzima fenil amonio liasa (PAL). La enzima PAL, por eliminación de una molécula de amonio de la fenilalanina cataliza la formación de

ácido cinámico, el cual es precursor de una gran variedad de fenoles, fenilpropanoides, flavonoides, cumarinas, taninos etc. (Rehman et al., 2012).

Las reacciones posteriores a la catalizada por la PAL son básicamente adiciones de más grupos hidroxilo y otros sustituyentes, los ácidos trans-cinámico y p-cumárico se metabolizan para formar ácido ferúlico y ácido cafeíco, cuya principal función es ser precursores de otros derivados más complejos como las cumarinas, lignina, taninos, flavonoides e isoflavonoides (Ávalos y Perez-Urria, 2009).

Algunos de ellos han sido implicados en las relaciones planta-insecto, tales como ácido benzoico, ácido hidroxicinámico (y sus conjugados), cumarinas, flavonoides, taninos hidrolizables, taninos condensados y lignina (Lattanzio, 2013; Rehman et al., 2012). Otros autores incluyen a fenoles como al ácido cloro-génico, además del ácido cafeíco y ácido cinámico como los implicados en la interacción planta-insecto (Sandhyarani y Usha, 2013).

La importancia de los compuestos fenólicos en la interacción planta-insecto es debido a su toxicidad; en concentraciones elevadas en las plantas restringen la alimentación de los insectos (Bennett y Wallsgrove, 1994). Uno de los efectos fisiológicos más relevantes de los fenoles en los insectos es la astringencia basada en su capacidad de formar complejos con proteínas (Maestro-Durán y Ruíz-Gutiérrez, 1993; Rehman et al., 2012). Además, inactivan enzimas e incrementan las especies reactivas de oxígeno en el tracto digestivo de los insectos, lo cual ocasiona el daño oxidativo de lípidos y proteínas que finalmente resulta en la muerte de los mismos (Zhang et al., 2008). Por lo tanto, una planta que acumula fenoles en sus hojas produce un efecto desagradable en el herbívoro predador. Así, una población de herbívoros puede ejercer una presión selectiva

hacia los vegetales de su entorno, según sugiere la teoría actual de la coevolución animal-vegetal (Maestro-Durán y Ruíz-Gutiérrez 1993).

Concretamente, en especies vegetales de importancia comercial como las especies florícolas, la presencia de compuestos como los fenólicos representan una oportunidad para el agricultor al tener la posibilidad de identificar variantes que limiten la incidencia de insectos y en consecuencia disminuyan el uso de pesticidas y costos de producción.

La determinación de los compuestos fenólicos en las plantas, se realiza con varios métodos, uno de ellos el más ampliamente utilizado por ser el más sencillo y reproducible es el método de Folin Ciocalteu. Este método, se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes en un medio alcalino (Martínez et al., 2015). El reactivo de Folin Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico, de color amarillo y al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul intenso (Ainsworth y Gillispie, 2007). La oxidación de los fenoles presentes en la muestra, causa la aparición de esta coloración azulada que presenta un máximo de absorción a 765 nm, y que se cuantifica por espectrofotometría en base a una recta patrón de ácido gálico (Martínez et al., 2015).

2.7.4 Barrera enzimática

Los procesos vivos se componen casi en su totalidad de reacciones bioquímicas, sin catalizadores, como las enzimas, estas reacciones no serían lo suficientemente rápidas para mantener la vida (Mckee y Mckee, 2003). Las

enzimas, son proteínas que disminuyen la cantidad de energía que se requiere para llevar a cabo una reacción; esta actividad catalítica es específica, es decir, no alteran el equilibrio de la reacción, sino que aumentan la velocidad hacia el equilibrio (Hicks, 2003; Avissar et al., 2013).

Cada enzima se clasifica de acuerdo con la reacción que cataliza; la Unión Internacional de Bioquímica (UIB) instituyó un esquema de denominación sistemática para las enzimas, en este esquema se les asigna una clasificación de cuatro números, un nombre con dos partes denominado nombre sistemático y las letras E.C. (Mckee y Mckee, 2003). Las letras E.C. son una abreviatura de *Enzyme Commission*, debido a que muchas enzimas se descubrieron y nombraron antes de instituirse la nomenclatura sistemática, muchos de los nombres antiguos se siguen conservando. Las seis categorías principales de enzimas son las siguientes: oxidorreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas (Mckee y Mckee, 2003; Solomon et al., 2008).

Dentro de las oxidorreductasas, se encuentran las enzimas peroxidasas, las cuales están ampliamente distribuidas en animales, plantas y microorganismos (Passardi et al., 2004; Almagro et al., 2009).

Las peroxidasas están agrupadas en tres superfamilias de acuerdo con su estructura y propiedades catalíticas (Cuadro 2). La primer superfamilia consiste en enzimas presentes en animales como glutatión peroxidasa, aunque esta enzima esta categorizada dentro de las peroxidasas animales también se ha detectado en plantas. La segunda superfamilia consiste en catalasas (EC 1.11.1.6), presentes en animales, plantas, bacterias, hongos y levaduras. La tercer superfamilia consiste en peroxidasas presentes en plantas, hongos, bacterias y levaduras.

Las superfamilias de las peroxidadas se pueden clasificar en tres clases, de acuerdo a su estructura primaria en (Almagro et al., 2009; Hiraga et al., 2001):

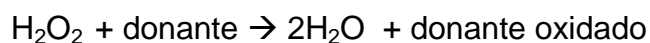
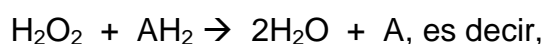
- *Clase I*: enzimas peroxidadas intracelulares en plantas, bacterias y levaduras, como citocromo *c* peroxidasa en microorganismos, catalasa-peroxidasa y ascorbato peroxidasa en bacterias;
- *Clase II*: peroxidadas extracelulares de hongos;
- *Clase III*: aquellas presentes únicamente en las plantas, y son secretadas en el exterior de la célula o transportadas al interior de la vacuola.

Cuadro 2. Clasificación de las peroxidadas.

Superfamilia	Clase	Numero EC	Origen	Peso molecular (Kda)
Peroxidasas animales		Peroxidasa eosinophil (EC 1.11.1.7)	Animal	50-75
		Lactoperoxidasas (EC 1.11.1.7)	Animal	78-85
		Mieloxiperoxidasas (EC 1.11.1.7)	Animal	79-150
		Peroxidasa tiroide (EC 1.11.1.7)	Animal	90-110
		Glutation peroxidasa (EC 1.11.1.9)	Plantas y animales	6-22 y 75-112
		Prostaglandina endoperoxidasa-sintasa (EC 1.14.99.1)	Animal	115-140
Catalasa		Catalasa (EC 1.11.1.6)	Animales, Plantas, hongos y levaduras	140-530
Peroxidasas en plantas y otros organismos	I	Citocromo <i>c</i> peroxidasa (EC 1.11.1.5)	Levaduras y bacterias	32-63
		Catalasa-peroxidasa (EC 1.11.1.6)	Bacterias y hongos	150-240
		Ascorbato- peroxidasa (EC 1.11.1.11)	Plantas	30-58
	II	Peroxidasa dependiente de manganeso (EC 1.11.1.13)	Hongos	43-49
		Ligninasa (EC 1.11.1.14)	Hongos	40-43
	III	Peroxidasas (EC 1.11.1.7 POX)	Plantas	28-60

Tomado de Hiraga et al., 2001.

Las peroxidasas de clase III (POX) (1.11.1.7) se encuentran en múltiples formas isoenzimáticas que difieren tanto en la secuencia de sus aminoácidos como en sus propiedades químicas (Hiraga et al., 2001; Passardi et al., 2005). El término peroxidasa significa que cataliza la oxidoreducción entre el peróxido de hidrogeno como oxidante (H_2O_2) y un segundo sustrato como reductor (AH_2), en esta reacción el H_2O_2 es reducido a agua de acuerdo con la siguiente formula (Almagro et al., 2009):



Existe evidencia de que las POX están involucradas en procesos fisiológicos importantes para las plantas como el catabolismo de auxinas y la síntesis de fitoalexinas, así como también en el metabolismo de especies reactivas de oxígeno, y además, participan en diversos mecanismos de respuesta en la resistencia relacionada contra el estrés biótico y abiótico como la síntesis de polímeros de pared celular (lignina y suberina), que constituyen barreras físicas, en la cicatrización de heridas y en la defensa contra patógenos e insectos (Hiraga et al., 2001; Dicko et al., 2005; Passardi et al., 2005; Almagro et al., 2009).

La actividad de varias enzimas antioxidantes incluyendo las peroxidasas se incrementa después del daño por insectos (Sandhyarani y Usha, 2013). Esta enzima, como parte del mecanismo de defensa enzimático en las plantas, modifica la composición y estructura de la pared vegetal formando una barrera enzimática más rígida y menos digerible para los insectos (Dicko et al., 2005). En ciertas especies vegetales con estrés por incidencia de insectos como la mosca blanca, la

actividad enzimática de la POX, modifica su actividad como mecanismo de defensa al insecto (Taggar et al., 2012; Zhao et al., 2016).

La función de las peroxidasas aún no se conoce en su totalidad, debido a múltiples formas de la enzima que existen en diversas plantas (Hiraga et al., 2001). Además, son miembros de una gran familia multigénica y probablemente debido a sus isoformas y a su expresión heterogénea, las peroxidasas vegetales están involucradas en una amplia gama de procesos fisiológicos, aun no conocidos, a lo largo del ciclo de vida de las plantas (Passardi et al., 2005). Por ejemplo, en el caso del arroz (*Oryza sativa japonica* c.v. Nipponbare), el conocimiento de su genoma permitió conocer todos los genes que codifican las peroxidasas clase III en esta planta; se descubrieron 138 genes de peroxidasas distribuidos en 12 cromosomas, el doble de genes involucrados que en la planta modelo *Arabidopsis thaliana* (73) (Passardi et al., 2004; Cosio y Dunand, 2009).

Las enzimas, debido a que se encuentran en pequeñas cantidades, no pueden cuantificarse, por lo que con frecuencia se mide su actividad, que se expresa como la cantidad de enzima que transforma 1Mmol (1mmol=10⁻⁶ mol) de sustrato por minuto en condiciones estándares de pH, temperatura y concentración de sustrato (Hicks, 2003; Avissar et al., 2015).

2.7.5 Barreras físicas y cambios morfológicos

Muy raramente el ataque de un herbívoro no inducirá una respuesta bioquímica, estas se combinan con el desarrollo de estructuras de la planta, que constituyen cambios morfológicos, y toma un largo tiempo para establecerse, un ejemplo de esto es la inducción de tricomas en respuesta al daño por insectos. En este caso,

la densidad de tricomas se incrementa en respuesta al daño (Mithöfer y Maffei, 2016). Hojas endurecidas, por ejemplo, reducen la palatabilidad y digestibilidad de los tejidos lo que a su vez reduce el daño por herbívoros (War et al., 2012). En diversos estudios han encontrado que la presencia de tricomas, pelos glandulares, y grosor de la epidermis en las plantas, pueden reducir o evitar la alimentación, ovoposición y la nutrición de insectos (Levin, 1973; Vásquez et al., 2015).

2.8 Mecanismos de resistencia en las plantas al ataque de insectos.

La resistencia de una planta se define como el conjunto de características heredables por las cuales una especie vegetal puede reducir el éxito de una especie de insecto, raza, biotipo o individuo como huésped (Stanley y Beck, 1965). Painter (1951) en Cardona y Sotelo (2005), fue el primero en distinguir tres categorías, que llamó mecanismos, por los cuales una planta puede ser clasificada como resistente a un insecto: antibiosis, tolerancia y no-preferencia. Posteriormente, Kogan y Ortman, (1978) reconocieron el termino de no-preferencia, asociado al comportamiento de los insectos como antixenosis. El termino antixenosis es el que se ha adoptado actualmente (Saldúa y Castro, 2011; Álvarez, 2015).

La definición de cada categoría es propuesta por Stanley y Beck (1965).

Antibiosis: categoría o mecanismo de resistencia que describe los efectos negativos de un genotipo resistente en la biología de un insecto. Se manifiesta de varias maneras:

- a) muerte de insectos inmaduros, generalmente en instares tempranos
- b) prolongación del ciclo de vida del insecto en la variedad resistente

- c) conversión anormal del alimento
- d) fallas en la formación de pupas o de emergencia de adultos
- e) emergencia de adultos muy pequeños o malformados
- f) fertilidad o fecundidad reducidas

Cuando la antibiosis es muy alta generalmente ocurre una disminución en el crecimiento de la población de insectos, por lo cual puede desaparecer. La antibiosis es, sin duda, el mecanismo más importante de resistencia a insectos.

Antixenosis. También conocida como no-preferencia. Es el conjunto de características de un genotipo que interfieren con la conducta del insecto afectando la cópula, la ovoposición, la alimentación y la ingestión de alimentos. En otros términos, es la incapacidad de la planta para servir como hospedante de un insecto. El resultado final de la antixenosis es siempre una reducción sustancial de la población del insecto en el genotipo resistente y por consiguiente un menor daño, ya que al existir antixenosis el insecto se ve forzado a seleccionar otro hospedante más atractivo.

Tolerancia: es la capacidad de un genotipo hospedante para soportar o tolerar el ataque de un insecto sin sufrir igual pérdida económica (rendimiento) que otros a un mismo nivel de infestación de la plaga. Es la habilidad genética de una planta para superar una infestación o para recuperarse y producir nuevos tejidos después de la destrucción por un insecto. En sentido estricto, en la tolerancia se debe demostrar que el genotipo tolerante es capaz de rendir más que uno susceptible, cuando ambos están sometidos al mismo nivel de infestación.

2.9 Vida en florero de gerbera

El término de la vida en florero de gerbera se caracteriza por el doblado del escapo floral, conocido como flexión escapular, una senescencia prematura (Prashanth et al., 2010). Otros autores también reportan que el término de la vida en florero de la gerbera se caracteriza por la presencia de pistilos con polen abundante del exterior al interior del disco, las lígulas tienden a decolorarse y marchitarse, y también se presenta doblado del escapo floral $\geq 90^\circ$ (Borghini y Baldi 1970; Trujillo-Villagarcía et al., 2006; González-Aguilar y Zavaleta-Mancera, 2012). El uso de soluciones preservativas incrementa los días de vida en florero de gerbera, por ejemplo, la adición de sacarosa a la solución aumenta el potencial osmótico de las inflorescencias, mejorando así su capacidad de absorber agua y mantener la turgencia (Prashanth et al., 2010). González-Aguilar y Zavaleta-Mancera, (2012) mencionan que la vida en florero de gerbera con solución de cloruro de calcio (0.5 %) puede ser desde 9 hasta 25 días.

Entre variedades de gerbera se han reportado diferencias en el término de vida florero, aun con los mismos tratamientos en la solución preservativa, estas diferencias están relacionadas con la anatomía y lignificación del pedúnculo floral (González-Aguilar y Zavaleta-Mancera, 2012).

III. JUSTIFICACIÓN

La gerbera ha permanecido durante las últimas décadas en la preferencia de las flores de corte al ocupar actualmente uno de los primeros lugares en producción y comercialización en el Estado de México (Andrade y Castro, 2018). Sin embargo, una de las problemáticas del cultivo es la mosca blanca, plaga que ha desarrollado resistencia a los insecticidas que actualmente se usan para su control tales como imidacloprid y acefate. Una de las alternativas es el potencial uso de variedades resistentes a esta plaga, que permitirían disminuir el uso de insecticidas y en consecuencia otras problemáticas ambientales. De acuerdo a percepción de productores y comercializadores en la zona, de aproximadamente 200 variedades de gerbera que se cultivan, además de las diferencias morfológicas que hay entre ellas, también se observan diferencias en la susceptibilidad a las plagas como la mosca blanca. Evidenciar la existencia de variación natural en gerbera, particularmente en la incidencia de mosca blanca, permitiría su aprovechamiento en la búsqueda de materiales resistentes a esta plaga útiles en el mejoramiento genético.

Por lo tanto, el desarrollo de nuevos genotipos de gerbera con nuevas características, así como el estudio de los aquellos que muestran mayor resistencia a diferentes plagas incluidas la mosca blanca, es una de las estrategias agronómicas encaminadas a una floricultura más sustentable.

IV. HIPÓTESIS

Los genotipos de gerbera *Gerbera x hybrida* muestran variación natural en respuesta a la incidencia de *Trialeurodes vaporariorum*, debido a la variación de factores bioquímicos de la planta.

V. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la variación natural de diez híbridos de *Gerbera x hybrida* en la incidencia de *Trialeurodes vaporariorum*.

VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la incidencia de *Trialeurodes vaporariorum* en genotipos de gerbera *Gerbera x hybrida*.
- Cuantificar el contenido de compuestos fenólicos, la actividad enzimática de las peroxidasas y la actividad antioxidante en genotipos de gerbera *Gerbera x hybrida* sin y con incidencia de mosca blanca.
- Determinar el efecto de la incidencia de la mosca blanca en la vida florero de los genotipos de gerbera.
- Evaluar el efecto de la incidencia de *T. vaporariorum* en parámetros morfológicos de la planta: Longitud de Pedúnculo (LP), Diámetro de Pedúnculo (DP) y Diámetro de Capítulo (DC).

VII. MATERIALES Y MÉTODO

7.1 Localización del experimento

La investigación se realizó de septiembre del 2016 a diciembre de 2017, en las instalaciones del Centro Universitario UAEM Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México, que se localizan en el Km 1.5 de la carretera Tenancingo-Villa Guerrero, a 18° 97' 03" N y 99° 61' 17" O y a una altitud de 2200 msnm, al sur del Estado de México.

7.2 Material vegetativo

Se emplearon 10 genotipos de gerbera, obtenidos por micropropagación, de seis a ocho semanas de aclimatación con promedios de 10 cm de altura y 6 hojas (Figura 9). Siete de ellos, identificados como Sofía (Sof), Estrella (Est), Andrea (And), Magda (Mag), Lisieka (Lis), Carmín (Car) y Morelia (Mor) que fueron desarrollados por Rivera (2015), en la empresa de Servicios Integrales para la Horticultura (SIHO), en Villa Guerrero, Estado de México; los tres restantes son variedades comerciales de la empresa Terra nigra de nombre Dino (Din), Opera (Ope) y Completa (Com).



Figura 9. Genotipos de la empresa SIHO: Sofia, Estrella, Andrea, Morelia, Carmín, Magda y Lisieka. Genotipos comerciales: Dino, Completa y Opera.

7.3 Establecimiento del experimento

El experimento se realizó en invernadero tipo túnel con ventila cenital, con plástico lechoso y malla antiáfidos. El sustrato utilizado fue una mezcla de turba y perlita expandida para la horticultura a pH 6.0, en proporción 2:1, previamente desinfectado con metam sodio (45 %) de acuerdo con la recomendación del proveedor (300 mL de metam sodio/ 200 L de sustrato y tiempo de reposo 15 días). Se utilizaron macetas negras de 20 L de capacidad, previamente lavadas y desinfectadas en una solución de hipoclorito de sodio al 2 %. Se colocó malla mosquitero (25 x 25 cm) al fondo de las macetas con 15 % de perlita expandida y se agregó 85 % de la mezcla turba-perlita, éstas se colocaron en bancales metálicos a una altura de 80 cm. Las plantas se ubicaron individualmente al centro de cada maceta.

7.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 10 repeticiones; la unidad experimental fue una planta (Figura 10). La ecuación del diseño fue la siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \phi_{ij}$$

Dónde: μ =media general, τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento, β_j = efecto del j-ésimo bloque y ϕ_{ij} = error experimental en la unidad j del tratamiento i.

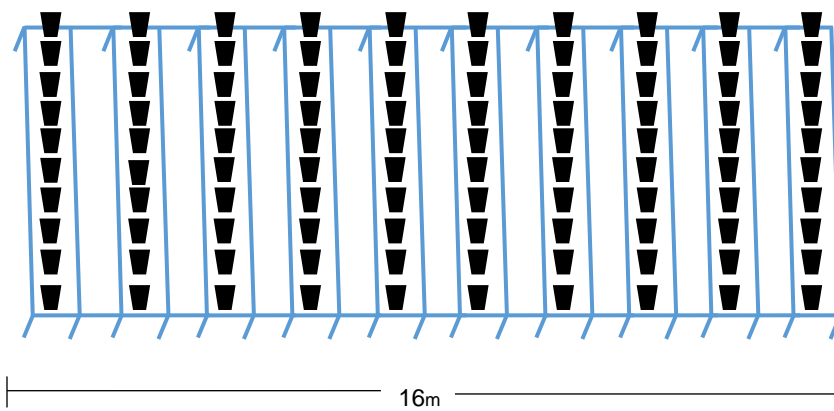


Figura 10. Disposición espacial de las macetas en diseño de bloques completos al azar con 10 repeticiones.

7.5 Fertilización y riego del cultivo

Se regó una vez al día a través de sistema de riego por espagueti en el que se incluyó la fertilización. El agua utilizada provenía del pozo del Centro Universitario UAEM Tenancingo, la cual se almacenó en tinacos de 650 L de capacidad, con un pH de ~7.4 y conductividad eléctrica de 0.35 mS/m.

El pH y la conductividad eléctrica se ajustaron en un rango de 5.5 a 6.0 y 2.0 a 2.7 mmhos, respectivamente. Se llevó a cabo la fertilización propuesta por Steiner

(1984) retomada de Surin (2011) con modificaciones en los micronutrientes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Solución nutritiva para gerbera.

Nutrimento		Fuente química	Ppm*
N	Nitrógeno	Ca(NO ₃) ₂ (15.5 %) + KNO ₃ (12 %)	167
P	Fosforo	KH ₂ PO ₄ (52 %)	31
K	Potasio	KNO ₃ (46 %) + KH ₂ PO ₄ (34 %) + K ₂ SO ₄ (52 %)	277
Ca	Calcio	Ca(NO ₃) ₂ (19 %)	49
Mg	Magnesio	Mg SO ₄ (16 %)	183
S	Azufre	K ₂ SO ₄ (18 %) + MgSO ₄ (13 %)	111
Fe	Fierro	Fe (0.1 %)	1.33
Mn	Manganeso	Mn (1.7 %)	1.27
Bo	Boro	Bo (0.3 %)	0.2
Cu	Cobre	Cu (100ppm)	0.7
Zn	Zinc	Zn (5.4 %)	0.4
Mo	Molibdeno	Mo (100ppm)	0.7

*Los valores están dados para 1000 L. Modificada de Steiner, (1984) en Surin (2011).

7.6 Manejo fitosanitario

- Prevención de damping off (*Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp.). Se aplicó a los quince días de establecidas las plantas, propamocarb 47.2 % + Fosetil-Al 27.60 % (1 mL/L), y posteriormente cada mes la rotación de propamocarb, procloraz 42.10 % (1 mL/L), tiofanato metílico 70 % (1 g/L) y metalaxyl 45.28 % (0.2 mL /L).
- Control de trips *Frankliniella occidentalis*. Se aplicó a partir de la emisión del pedúnculo floral cada quince días; spinoteram 5.87 % (0.4 mL/L), extracto de neem 5 % y extracto de ajo 50 % (0.6 mL/L).

- Control de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*. Se aplicó la rotación de los siguientes productos: extracto de ajo 87 % (2 mL/L), imidacloprid 32.65 % (0.5 mL/L) y lambda cialothrina 6.5 % (0.4 mL/ L) a partir de los veinte días de establecido el cultivo y hasta el tiempo de infestación del cultivo. Después de evaluadas las variables del estudio se continuó con el control del insecto.

7.7 Variables evaluadas

Antes de evaluar la incidencia y las variables bioquímicas, se determinó la hoja muestra a analizar de las plantas de gerbera. Se realizaron tres mediciones en tres hojas diferentes, en condiciones de sin incidencia (SI), en etapa vegetativa del cultivo durante el mes de septiembre y con incidencia de mosca blanca (CI), promedio de las mediciones al inicio de la emisión del capítulo floral y en floración correspondiente a los meses de noviembre y diciembre.

7.7.1 Determinación de la hoja muestra.

Se midió el contenido relativo de clorofila en hojas completamente expandidas de todos los genotipos de gerbera (tres mediciones en tres hojas por planta) con un medidor de clorofila manual (SPAD-502 Minolta Camera Co., Osaka Japón) para determinar la hoja madura muestra de cada genotipo. Posteriormente, se utilizó el promedio de estas tres mediciones como el valor estimado de clorofila. Se consideraron los valores más altos de Unidades SPAD ± 2 como criterio de selección, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Contenido relativo de clorofila de genotipos de *Gerbera x hybrida* expresados como Unidades SPAD y utilizado como criterio de selección de hoja muestral.

VARIEDAD	Unidades SPAD		
	Hoja joven	Hoja madura	Hoja senescente
Sofía	52.25	59.26±2	48.85
Estrella	52.33	57.18±2	46.72
Dino	55.73	60.73±2	46.09
Andrea	50.97	58.26±2	53.54
Magda	49.90	59.56±2	50.79
Lisieka	46.43	58.51±2	45.28
Opera	52.33	55.02±2	40.49
Carmín	48.08	59.28±2	50.23
Completa	50.43	57.13±2	40.11
Morelia	50.40	53.85±2	41.47

7.7.2 Incidencia de la mosca blanca

La infestación con la mosca blanca *T. vaporariorum* en gerbera ocurrió al inicio de la emisión del capítulo floral, esta fue por invasión natural del insecto, período de 30 días durante el cual no se realizaron aplicaciones de insecticidas. Posteriormente, se cuantificó la incidencia de la mosca blanca de cada unidad experimental de acuerdo a Morales y Cermeli (2001) como se cita a continuación:

- **Número de ninfas (n):** se contabilizaron todos los estados ninfales en un cm², al centro del envés de hojas maduras de cada unidad experimental de gerbera.
- **Numero de adultos (A):** se contabilizaron el total de adultos de hojas maduras en cada unidad experimental de gerbera.

La hoja madura analizada para la incidencia del insecto se utilizó para la determinación de las variables bioquímicas en cada unidad experimental.

7.7.3 Variables bioquímicas

Una vez determinada la hoja madura, muestra de cada genotipo en SI y CI, se evaluaron las variables bioquímicas de contenido de compuestos fenólicos, actividad enzimática de la peroxidasa y capacidad antioxidante DPPH mediante espectrofotometría (espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis Thermo Scientific).

7.7.3.1 Cuantificación de compuestos fenólicos.

El contenido de compuestos fenólicos se determinó mediante el Método de Folin Ciocalteu descrito por Waterman y Mole (1994).

1.- Extracción de la muestra.

Muestras de 0.2 g de hoja se maceraron en 10 mL de metanol al 50 %, se incubaron a 100° C por 5 minutos y se centrifugaron a 5400 rpm durante 5 minutos. Posteriormente se almacenaron a 4°C hasta su análisis. Las muestras obtenidas se usaron para la cuantificación de fenoles y la capacidad antioxidante DPPH.

2.- Cuantificación de los compuestos fenólicos.

Para evaluar el contenido de compuestos fenólicos, se tomaron alícuotas (sobrenadante) de 0.15 mL (150 µL) de cada muestra y se les agregó la misma cantidad del reactivo de Folin Ciocalteu. En seguida, se les adicionaron 3.7 mL de agua destilada y, antes de 8 minutos, 0.5 mL de solución de carbonato de sodio al 20 % (para un volumen final de 4.5 mL). Se dejaron reposar por 30 minutos en oscuridad y se leyó la absorbancia a 760 nm; el blanco fue metanol al 50 %. Cada muestra se analizó por triplicado, incluidas las de la curva.

3. Curva patrón para fenoles.

Se utilizó ácido gálico (10 mg en 10 mL de metanol al 50 %) con intervalos de concentración de 0.005 mL y se leyó a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de la muestra analizada (Ver Anexo 1).

7.7.3.2 Actividad enzimática de la peroxidasa (EC 1. 11. 1.7)

La determinación de la actividad enzimática de la POX en los genotipos de gerbera, se realizó mediante el método descrito por Anderson et al. (1995), el cual consiste en lo siguiente:

1. Extracción de la proteína.

Muestras de hoja madura de gerbera (0.5 g) se maceraron por separado en una proporción de 0.5 g por 2 mL (1 g por 4 mL) con buffer de extracción el cual contenía 50 mM de fosfato de potasio pH 7.2, 1 mM de ácido etilen diamino tetracético (EDTA) y 1 % de polyvinylpirrolidona (PVP). Posteriormente se centrifugaron a 6000 rpm durante cinco minutos, el sobrenadante se usó para cuantificar la actividad enzimática de la POX. La misma hoja muestra para el análisis del contenido de compuestos fenólicos se utilizó para la evaluación de la actividad enzimática de la POX.

2. Determinación de la actividad enzimática.

La determinación de la actividad enzimática se realizó en un buffer de mezcla de reacción a 25° C, el cual contenía 50 mM de fosfato de sodio pH 7.0, 3.33 mM de guaiacol, 4 mM de H₂O₂ y 0.020 mL del sobrenadante de la muestra en un volumen final de 3 mL. La actividad enzimática se determinó por la oxidación del

sustrato (guaiacol) en presencia de H₂O₂ a 470 nm durante tres minutos en intervalos de 30 segundos. Como blanco se utilizó buffer de reacción sin sobrenadante. La ecuación utilizada fue:

- Actividad enzimática POX (guaiacol nmol·min⁻¹mg⁻¹) = (Abs) (ε) (volumen final ensayo / volumen de la muestra) (mg de proteína).

Donde el coeficiente de extinción del guaiacol $\epsilon = 26.6 \text{ Mm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

7.7.3.3 Capacidad antioxidante DPPH.

La capacidad antioxidante en gerbera se realizó mediante el método de DPPH- (1,1-difenil-2-picril-hidracilo) de acuerdo con Abe et al., (1998) el cual consiste en:

1.- Extracción de la muestra.

La muestra extraída en la metodología de fenoles se utilizó para DPPH (apartado 7.7.3.1).

2.- Solución DPPH.

Se utilizó una solución de DPPH a 250 μM en metanol al 80 % (98.58 mg en 1000 mL de metanol). El reactivo DPPH se diluyó en metanol puro, posteriormente se adicionó a la mezcla de metanol al 80 %. A 2.750 mL de la solución DPPH se le agregaron 0.250 mL de alícuotas de muestras de gerbera y se dejaron reposar por una hora y se leyó la absorbancia a 517 nm; el blanco utilizado fue metanol al 80 %. Cada muestra se analizó por triplicado incluidas las de la curva. % DPPH = $A_1/A_0 \times 100$; $A_0 = \text{Abs DPPH}$, $A_1 = \text{Absorbancia muestra}$.

3. Curva patrón para DPPH.

Las mediciones se hicieron tomando como patrón ácido ascórbico (10 mg en 10 mL de metanol al 80%) con intervalos de concentración de 0.005 mL y se leyó a 517 nm. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido ascórbico por gramo de la muestra analizada (Ver anexo 2).

7.7.4 Evaluación de la Vida florero.

Por falta de flores, solo se hizo una prueba preliminar de vida florero. Se evaluaron 3 flores individuales por variedad, cada una se colocó en recipiente de 600 mL con 300 mL de solución de vida florero (sacarosa al 1 %, agua destilada más plata deionizada, marca comercial microdyn 0.35 %), la cual se cambió cada tercer día hasta el final de vida florero (número de días). Se consideró como término de la vida florero de gerbera la marchitez de las lígulas y el doblado del escapo floral tal como propone González-Aguilar y Zavaleta-Mancera, (2012).

7.7.5 Parámetros morfológicos evaluados en gerbera.

Las flores utilizadas para la evaluación de vida florero se usaron para determinar los aspectos morfológicos, como criterio del efecto de la incidencia de mosca blanca en el desarrollo de la estructura floral y fueron los siguientes:

- Longitud del pedúnculo (**LP**) medido desde su base hasta el receptáculo del capítulo,
- Diámetro de pedúnculo (**DP**) a su altura media y
- Diámetro de capítulo (**DC**) de extremo a extremo.
- Vida de florero del capítulo floral de los genotipos de gerbera (número de días).

7.8 Análisis estadístico

El análisis de los resultados se hizo por análisis de la varianza ($\alpha=0.05$), comparación de medias Duncan y correlación múltiple, con el empleo del paquete estadístico Info Stat (Di Rienzo et al., 2016).

VIII. RESULTADOS

8.1 Incidencia de *Trialeurodes vaporariorum*.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.0001$) en la ocurrencia de adultos y ninfas de mosca blanca en gerbera (Figura 11).

En la incidencia del insecto en estado adulto, la variación de genotipos entre valores extremos fue de 0 a 36 entre Com y Lis, respectivamente. La comparación de medias (Duncan $\alpha \leq 0.05$) señaló tres grupos, categorizados por su incidencia en:

- Baja: Completa, Andrea, Sofia, Dino, Opera, y Carmín (A)
- Moderada: Estrella, Morelia y Magda (B)
- Alta: Lisieka (C)

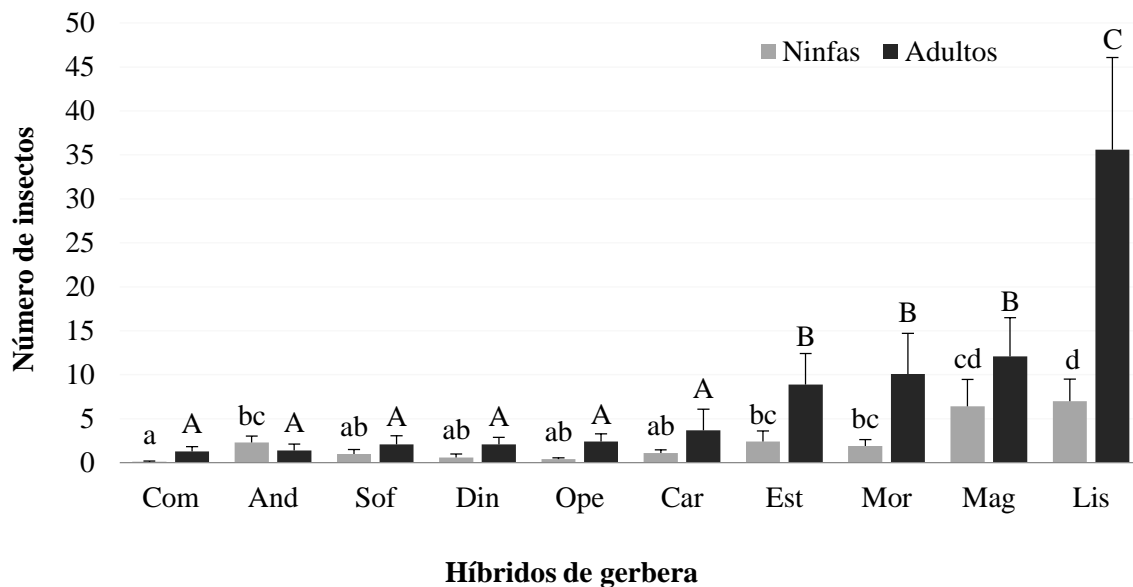


Figura 11. Incidencia de ninfas (cm²) y adultos (hoja completa) de *Trialeurodes vaporariorum* en hojas maduras de *Gerbera x hybrida*, correspondientes a dos evaluaciones independientes en etapas fenológicas de inicio de emisión de capítulo floral y floración. Letras minúsculas=Comparación de medias datos ninfas; Letras mayúsculas= Comparación de medias adultos. Ejes sobre las columnas corresponde al error estándar. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$).

En la incidencia ninfal, de igual manera se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.001$). La variación de genotipos entre valores extremos fue en relación de 0 a 7 entre Com y Lis, respectivamente. La comparación de medias (Duncan, $\alpha=0.05$) categorizó cinco grupos por incidencia ninfal como:

- Baja: Completa (a)
- Moderada baja: Sofia, Dino, Opera y Carmín (ab)
- Moderada: Andrea, Estrella, y Morelia (bc)
- Moderada alta: Magda (cd)
- Alta: Lisieka (d)

8.2 Compuestos fenólicos en gerbera.

Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.0001$) en el contenido de Cf en gerbera tanto en SI como en CI (Figura 12). En SI, la variación de genotipos entre valores extremos fue del 98 % entre Mor y Ope, respectivamente. La comparación de medias (Duncan, $\alpha=0.05$) señaló cinco grupos en base al contenido de Cf como:

- Bajo contenido: Morelia, Estrella y Magda (a)
- Contenido medio-bajo; Dino, Lisieka, Sofía y Completa (ab)
- Contenido medio: Andrea (bc)
- Contenido medio-alto: Carmín (c)
- Alto contenido: Opera (d)

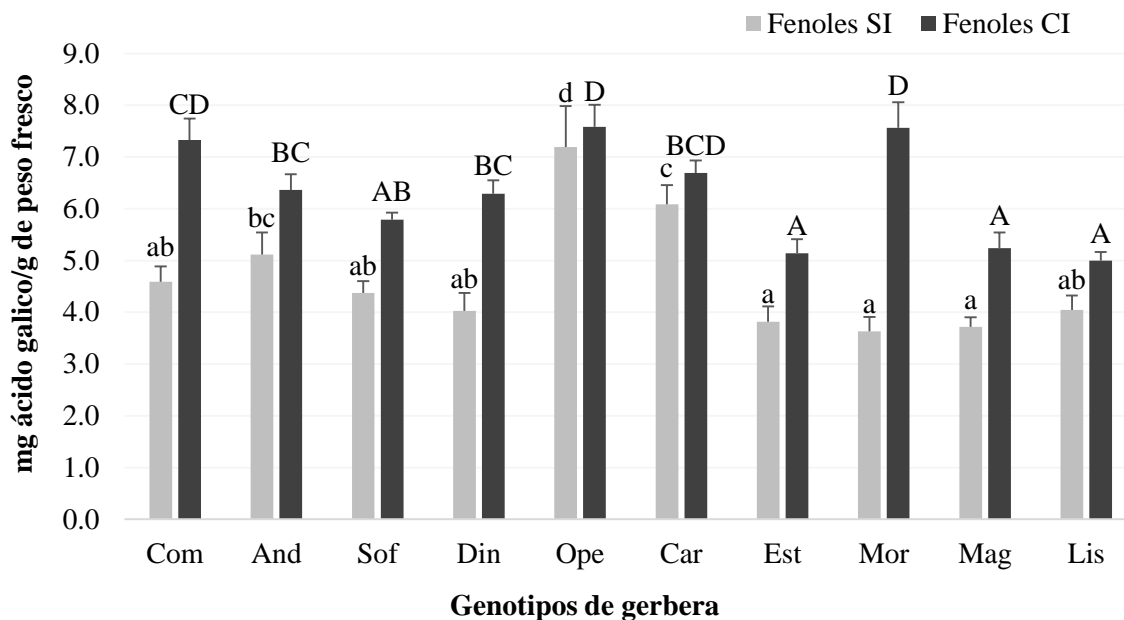


Figura 12. Contenido de compuestos fenólicos en hojas maduras de *Gerbera x hybrida* sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capitulo floral y floración. Ejes sobre las columnas corresponde al error estándar. Letras minúsculas=comparación de medias en SI. Letras mayúsculas= comparación de medias en CI. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$)

En CI, se observó variación en el contenido de Cf entre los genotipos de gerbera evaluados, los contrastes fueron del 51 % entre valores extremos que correspondieron a Lis y Ope. Se observaron diferencias en la capacidad de respuesta de los genotipos de SI a CI con incrementos en el contenido de compuestos fenólicos de 5.42 % en Ope hasta 108 % en el caso de Mor (Cuadro 5).

Cuadro 5. Porcentaje de incremento de compuestos fenólicos (Cf) en diez genotipos de gerbera evaluados sin incidencia (SI) y con incidencia (CI) de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*.

Genotipo de gerbera	Com	And	Sof	Din	Ope	Car	Est	Mor	Mag	Lis
Cf de SI a CI (%)	59.7	24.4	32.2	56.2	5.4	9.9	34.5	108.2	40.9	23.5

Genotipos como Ope y Car aún cuando su incremento en Cf de SI a CI solo fue del 5.4 % y 10 %, respectivamente, en SI presentaron alto contenido de Ft y en la condición CI estos valores se mantuvieron elevados con respecto a la mayoría de los otros genotipos (Figura 12), lo cual coincide con la baja incidencia de mosca blanca que presentaron. Los genotipos Mor, Com y Din que, en SI, presentaron bajas concentraciones de Cf, en la condición CI incrementaron significativamente este metabolito. Por otro lado, genotipos como Lis, Mag y Est, se mantuvieron entre las concentraciones más bajas de Cf con respecto a los otros genotipos.

8.3 Actividad enzimática de las Peroxidasas (AePOX)

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P=0.0001$) en la AePOX en gerbera tanto en SI como en CI (Figura 13). En SI, los contrastes en la actividad enzimática de la POX fueron en proporciones de 1 a 19 entre valores extremos correspondientes a Mor y Din. La comparación de medias categorizó cinco grupos por su actividad enzimática en:

- Baja: Morelia y Lisieka (a)
- Moderada baja: Estrella (ab)
- Moderada: Magda (bc)
- Moderada alta: Andrea, Sofía, Opera y Carmín (c)
- Alta: Completa y Dino (d).

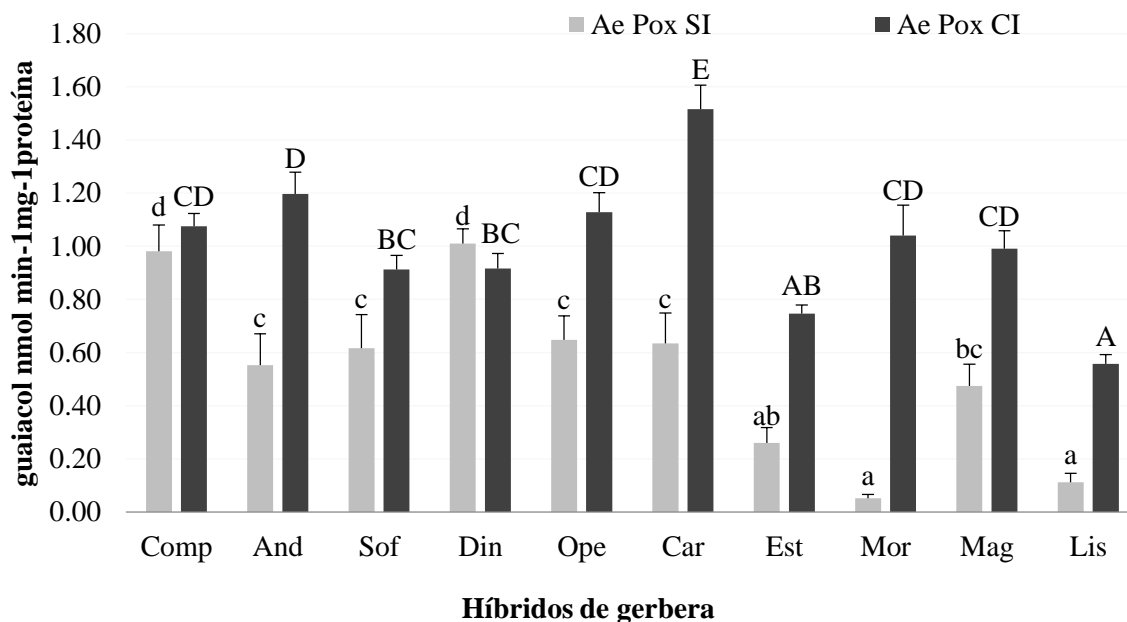


Figura 13. Actividad enzimática de las peroxidadas (POX) en hojas maduras de *Gerbera x hybrida*; sin incidencia (SI), en etapa vegetativa; y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Ejes sobre las columnas, corresponde al error estándar. Letras minúsculas= comparación de medias en SI. Letras mayúsculas= comparación de medias en CI. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$).

En CI, se observó variación en la AePOX entre los genotipos evaluados con incrementos desde 0.1 veces, Com, hasta 3.98 y 19.20 veces, Lis y Mor respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Incremento de la actividad enzimática de la peroxidasa (AePOX) en diez genotipos de gerbera evaluados de sin incidencia (SI) a con incidencia (CI) de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*.

Genotipo de gerbera	Comp	And	Sof	Din	Ope	Car	Est	Mor	Mag	Lis
AePOX de SI a CI	0.1	1.16	0.48	-0.09	0.74	1.39	1.88	19.20	1.09	3.98

*Valores expresados en No. de veces.

El genotipo Com que en SI presentó alta AePOX, sólo tuvo un incremento del 10 % en CI; este valor se mantuvo alto con respecto a la mayoría de los otros materiales vegetales, lo cual coincide con la baja incidencia del insecto en este genotipo. Contrariamente, genotipos como Mor y Lis, que incrementaron significativamente la AePOX de SI a CI, sus valores se mantuvieron bajos en comparación de los otros genotipos. Por otro lado, el genotipo Car, que inicialmente presentó moderada-alta AePOX, en CI incrementó 1.4 veces más y presentó la mayor AePOX entre los genotipos. Din contrario a los demás genotipos, disminuyó 9 % la actividad enzimática de la POX.

8.4 Capacidad antioxidante DPPH en gerbera

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.0001$) en la capacidad antioxidante DPPH de gerbera tanto en SI como en CI (Figura 14). En SI, la variación de genotipos entre valores extremos fue de 67 % correspondientes a Mag y Ope. La comparación de medias (Duncan $\alpha=0.05$) categorizó seis grupos en base a la capacidad antioxidante de los genotipos:

- Baja: Magda (a)
- Moderada-baja: Estrella (b)
- Moderada: Andrea y Dino (bc)
- Moderada-alta: Completa, Morelia, Lisieka (cd)
- Alta: Sofía, Opera y Carmín (de), (e).

En SI, aun cuando hubo variación entre los genotipos, sus valores fueron inferiores a los 0.1 mg de ácido ascórbico por gramo de peso fresco en todos los genotipos evaluados.

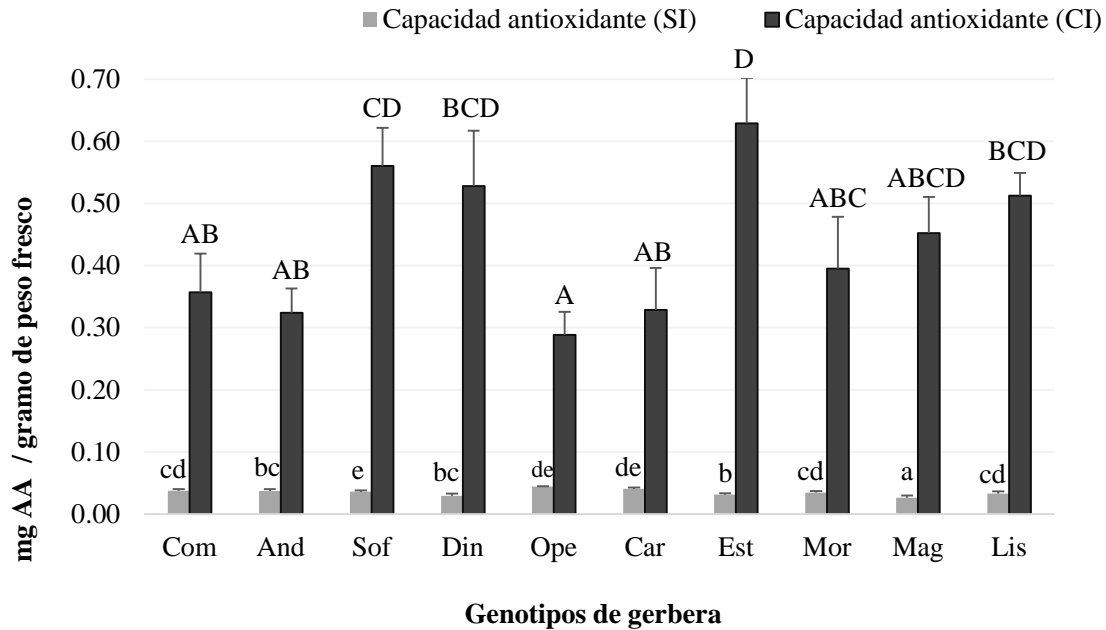


Figura 14. Capacidad antioxidante de *Gerbera x hybrida* sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Ejes sobre las columnas corresponde al error estándar. Letras minúsculas= comparación de medias en SI. Letras mayúsculas= comparación de medias en CI. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$).

En CI, se observó variación de respuesta en la capacidad antioxidante DPPH en todos los genotipos de gerbera ($P \leq 0.001$), los contrastes fueron de 2 a 1 correspondiente a Ope y Est. Adicionalmente, de SI a CI se presentaron diferencias en el incremento de la capacidad antioxidante desde 5 veces con Ope, hasta 19 veces Est (Cuadro 7). Los genotipos Ope y Car, que en SI fueron los que presentaron la mayor capacidad antioxidante, respecto de los otros genotipos; en la condición CI otros genotipos tuvieron mayor capacidad de respuesta de SI a CI como Est, Din y Mag.

Cuadro 7. Incremento de la capacidad antioxidante de diez genotipos de gerbera evaluados de sin incidencia (SI) a con incidencia (CI) de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*.

Genotipo de gerbera	Com	And	Sof	Din	Ope	Car	Est	Mor	Mag	Lis
Caiox DPPH de SI a CI	8.4	7.7	14.5	17	5.5	7	19.2	10.5	16.1	14.5

Valores expresados en número de veces.

El genotipo Lis, que presentó bajo contenido de Cf y baja AePOX, en la variable capacidad antioxidante se encontró entre los valores más altos en CI, caso contrario Com, que presentó contenido medio-bajo de Cf y alta AePOX, en la capacidad antioxidante presentó valores bajos de SI a CI.

8.5 Contenido relativo de clorofila (USPAD) en gerbera

El contenido relativo de clorofila en gerbera, como unidades SPAD, fue estadísticamente significativo ($P \leq 0.0001$) en las evaluaciones tanto SI como CI (Figura 15). En SI, se encontró variación entre los genotipos de gerbera, los contrastes entre valores extremos fueron del 14 %, correspondiente a Mor y Din. Las diferencias estadísticas señalan la formación de grupos con base al contenido relativo de clorofila de la siguiente manera:

- Bajo contenido, Morelia
- Contenido medio-bajo, Opera
- Contenido medio, Estrella y Completa
- Contenido medio-alto, Andrea, Sofía, Carmín, Morelia y Lisieka
- Contenido alto, Dino

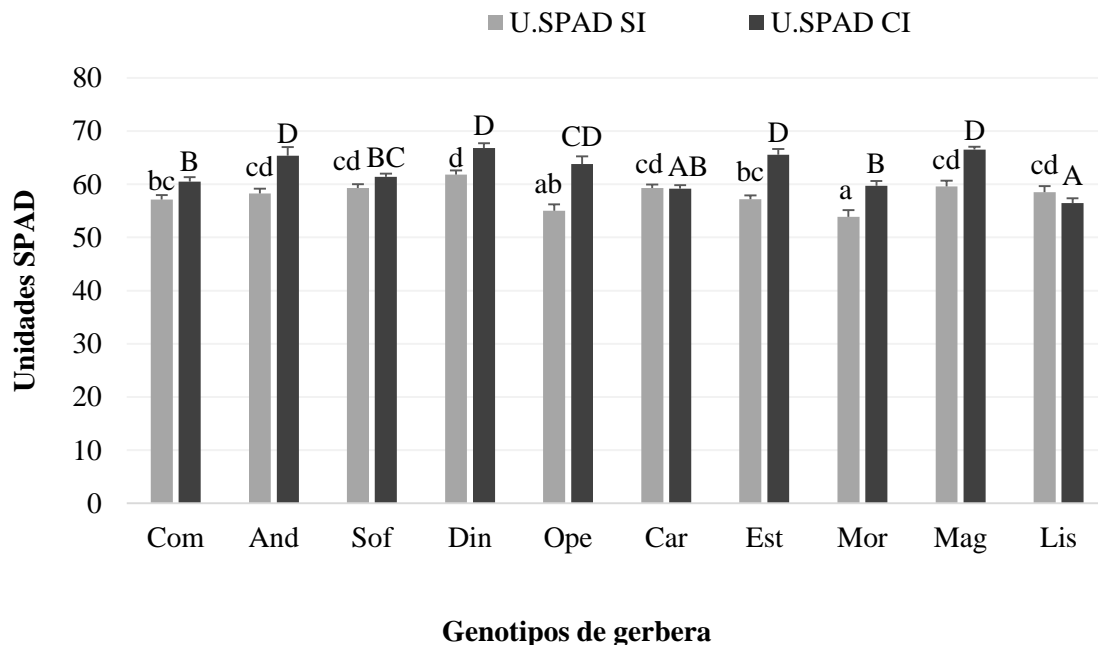


Figura 15. Contenido relativo de clorofila como unidades SPAD de hojas maduras de *Gerbera x hybrida* sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en emisión de capitulo floral y floración. Ejes sobre las columnas corresponde al error estándar. Letras minúsculas= comparación de medias en 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 evaluación CI la variación en el contenido relativo de clorofila en los genotipos de gerbera fue desde incrementos de 14.66 % en Est, hasta 3.60 % con Sof de SI a CI. Lis y Car disminuyeron el contenido relativo de clorofila en CI (Cuadro 8).

Cuadro 8. Contenido relativo de clorofila en diez genotipos de *Gerbera x hybrida*, de sin incidencia (SI) a con incidencia (CI) de mosca blanca *T. vaporariorum*.

Genotipo de gerbera	Com	And	Sof	Din	Ope	Car	Est	Mor	Mag	Lis
USPAD de SI a CI (%)	5.94	12.24	3.60	8.08	15.96	-0.14	14.66	10.91	11.70	-3.50

8.6 Vida en florero y parámetros morfológicos

Se utilizaron los datos de sin incidencia proporcionados por la empresa SIHO, debido al estricto control que tienen para el control de plagas, incluidas la mosca blanca y se compararon con los datos obtenidos en este estudio en CI. La vida en florero en SI, medida en días, tuvo diferencias mínimas entre los genotipos de gerbera entre 13 y 14 días (Cuadro 5).

En la evaluación de vida en florero en CI hubo diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.001$). La comparación de medias (Duncan $\alpha = 0.05$), señaló dos grupos, en base a su vida florero, en baja (Lis, Mag, And, Ope, Sof y Din), y alta (Mor, Car, Est y Com). En este estudio, en la mayoría de los genotipos de gerbera el término de vida en florero se caracterizó por la marchitez de las lígulas más que por el doblado de escapo floral. Se encontró variación de esta variable entre los genotipos desde 10 días con Lis y Mag, hasta 17 días con Est y Com. Tal variación sugiere además de la variabilidad presente en los genotipos, la capacidad de respuesta entre estos a la incidencia de mosca blanca y posiblemente a otros factores no evaluados en este estudio.

En la variable diámetro del capítulo floral en SI, las diferencias fueron desde 10.5 cm (Com, And, Sof y Car), 11.5 cm (Din, Est y Mor), y 12.5 cm (Ope, Mag y Lis). En la evaluación CI, se encontraron diferencias estadísticas significativas en el diámetro del capítulo entre los genotipos de gerbera ($P < 0.0001$), desde 8.13 y 8.17 con Car y Mor, hasta 10.27 y 10.57 cm con Din y Lis (Cuadro 5). En general se observó una disminución del diámetro del capítulo de 2 cm en la condición de SI a CI. Din y Lis estuvieron entre los que presentaron el mayor diámetro del

capítulo floral, tanto en la condición SI como CI, sin embargo, se observó una disminución en el tamaño en CI.

En la variable LP en SI, se observaron diferencias en tamaño desde 55 cm con Sof, hasta 64 cm con los genotipos Din, Mor y Mag. En promedio presentaron un tamaño de 61 cm sin la presencia del insecto. En la condición CI, se observaron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos de gerbera ($P < 0.001$), los contrastes fueron desde 34 cm con Est hasta 62 cm con Ope, aunque en promedio presentaron 50 cm. En el caso de Ope posiblemente la incidencia de la mosca blanca no afectó esta variable. En general, se observó una disminución en el LP de 11.61 cm en la condición de SI a CI, posiblemente esta reducción fue causada por el insecto, aunque no se descartan otros factores no evaluados en este estudio.

En la variable diámetro del pedúnculo floral en la condición SI, se observaron diferencias de 0.7 cm con Ope hasta 0.9 cm con Din y Est, en promedio presentaron 0.84 cm. En la condición CI, se observaron diferencias significativas entre los genotipos de gerbera ($P < 0.0001$), con contrastes desde 0.7 cm con Lis hasta 0.9 cm con el genotipo Din. Con respecto a Lis, que presentó la mayor incidencia de mosca blanca (en CI), también presentó el menor diámetro del pedúnculo, así como la menor vida florero entre los genotipos evaluados, pero mostró el mayor diámetro del capítulo floral, lo cual pudiera indicar los efectos de la alimentación del insecto en este genotipo. En general en las variables morfológicas se observó una disminución en la condición SI a CI, en DC (- 20 %), LP (-20 %) y DP (-4 %), lo cual sugiere que la incidencia de la mosca blanca en gerbera afecta directamente la calidad comercial del cultivo.

Cuadro 9. Parametros morfológicos evaluados en gerbera en condiciones de sin incidencia (SI), datos proporcionados por SIHO, y con incidencia (CI) de mosca blanca, evaluado en este estudio.

VARIEDAD	VF SI	VF CI	DC SI	DC CI	LP SI	LP CI	DP SI	DP CI
	días		cm		cm		cm	
Com	14	17.0 _b	10.5	8.53 _{abc}	60.00	53.0 _{bcd}	0.80	0.8 _b
And	13	10.7 _a	10.5	8.97 _{bcd}	60.00	46.6 _{bc}	0.80	0.8 _b
Sof	13	12.0 _a	10.5	8.57 _{abcd}	55.00	49.0 _{bc}	0.90	0.8 _b
Din	14	12.0 _a	11.5	10.27 _e	64.00	46.2 _{bc}	0.90	0.93 _d
Ope	13	11.0 _a	12.5	8.97 _{bcd}	60.00	62.3 _d	0.70	0.8 _b
Car	13	15.7 _b	10.5	8.13 _a	58.00	42.3 _{ab}	0.90	0.8 _b
Est	14	17.0 _b	11.5	9.27 _{cd}	62.00	34.2 _a	0.80	0.9 _c
Mor	14	15.7 _b	11.5	8.17 _{ab}	64.00	47.7 _{bc}	0.90	0.8 _b
Mag	14	10.0 _a	12.5	9.37 _d	64.00	57.0 _{cd}	0.90	0.8 _b
Lis	14	10.0 _a	12.5	10.57 _e	62.00	54.6 _{cd}	0.80	0.7 _a

VF SI= Vida en florero sin incidencia de mosca blanca, **VF CI**= Vida florero con incidencia; **DC SI**= Diámetro del capítulo floral sin incidencia; **DC CI**= Diámetro del capítulo floral con incidencia; **LP SI**= Largo del pedúnculo floral sin incidencia; **LP CI**= Largo del pedúnculo floral con incidencia; **DP SI**= Diámetro del pedúnculo floral sin incidencia; **DP CI**= Diámetro del pedúnculo con incidencia. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq 0.05$).

8.7 Análisis de correlación de las variables.

Se observaron correlaciones negativas entre el contenido de compuestos fenólicos y la incidencia de *T. vaporariorum*, en adultos ($r=-0.55$); ninfas ($r=-0.71$) y adultos más ninfas ($r=-0.60$). La correlación negativa entre estas variables sugiere que este metabolito contribuye en la defensa de las plantas contra la infestación de mosca blanca (Cuadro 6). De igual manera, la AePOX se correlacionó negativamente con la incidencia de la mosca blanca en adultos ($r=-0.66$), ninfas ($r=-0.52$) y adultos más ninfas ($r=-0.65$), lo cual sugiere que esta enzima participa en los mecanismos de defensa de gerbera al insecto. Por otro lado, la correlación positiva entre la actividad de la enzima y el contenido de compuestos fenólicos señala una estrecha relación de estas dos variables durante la presencia de la mosca blanca en gerbera.

Las unidades SPAD, indicador del contenido relativo de clorofila, también se correlacionaron negativamente con la incidencia de la mosca blanca en adultos ($r=-0.51$), ninfas ($r=-0.13$) y adultos más ninfas ($r=-0.45$); estadísticamente no fue significativo, sin embargo, se observó una tendencia opuesta entre estas dos variables. Lo anterior indica que una mayor incidencia del insecto efectivamente ocasiona daño en sus hospederos al succionar savia de las plantas y debilitar a su hospedante, y esto se ve reflejado en una reducción de pigmentos de clorofila. En este caso, la correlación más alta la tuvieron los adultos, lo que sugiere que son los que ocasionan el daño más severo a sus hospedantes. La actividad antioxidante se correlacionó positivamente con la incidencia de la mosca blanca en adultos ($r= 0.32$), ninfas ($r= 0.27$) y adultos más ninfas ($r= 0.32$), aunque estadísticamente no fue significativo, se observó una tendencia paralela entre

estas dos variables, lo cual sugiere que la alimentación de la mosca blanca en gerbera ocasiona estrés oxidativo, así como la inducción de compuestos antioxidantes para contrarrestar este estrés. En contraste, el contenido de compuestos fenólicos y la actividad enzimática de la POX se correlacionaron negativamente $r=-0.73$ y $r=-0.76$, respectivamente con la actividad antioxidante.

La variable vida florero se correlacionó negativamente con la incidencia de la mosca blanca en adultos ($r=-0.31$), ninfas ($r=-0.51$) y adultos más ninfas ($r=-0.36$), estadísticamente no fue significativo, sin embargo, se observó una tendencia opuesta entre estas dos variables, lo cual sugiere que la alimentación de la mosca blanca en gerbera puede influir en la disminución de los días de vida en florero posiblemente por la succión de nutrientes. Por el contrario, la vida en florero se correlacionó positivamente con Cf y con la AePOX, estadísticamente no fue significativo, sin embargo, señala que estas variables están estrechamente relacionadas, posiblemente, durante la senescencia de los capítulos de gerbera disminuye el contenido de Cf como antocianinas y se reduce la actividad de dicha enzima.

El DC, así como el LP, contrario a lo que se esperaba, se correlacionaron positivamente con la incidencia de la mosca blanca, en ambas variables no hubo diferencias significativas. La correlación negativa significativa de la variable DC con la actividad de la enzima, sugiere que durante la presencia de la mosca blanca en gerbera, la planta prioriza hacia la bioprotección de la misma más que al crecimiento de la flor. Por otro lado, el DC se correlacionó negativamente con la incidencia del insecto. Esto indicaría que la succión de savia de la mosca blanca en gerbera, además de reducir la vida en florero, también reduce el DC floral.

Cuadro 10. Matriz de correlación Pearson de once variables medidas en diez genotipos de *Gerbera x hybrida*.

	A	n	A + n	Cf	Ae POX	U SPAD	C aox	VF	DC	LP	DP
A	1										
n	0.84**	1									
A + n	0.99**	0.89**	1								
Cf	-0.55	-0.71**	-0.6	1							
Ae POX	-0.66**	-0.52	-0.65**	0.62**	1						
U SPAD	-0.51	-0.13	-0.45	-0.14	0.04	1					
A aox	0.32	0.27	0.32	-0.73**	-0.76**	0.15	1				
VF	-0.31	-0.51	-0.36	0.34	0.24	-0.20	0.06	1			
DC	0.59	0.54	0.59	-0.61	-0.71**	0.18	0.47	-0.56	1		
LP	0.18	0.21	0.19	0.26	-0.03	-0.12	-0.46	-0.60	0.15	1	
DP	-0.68**	-0.73**	-0.71**	0.25	0.17	0.56	0.22	0.43	-0.09	-0.56	1

A= adultos; n= ninfas; A + n= Adultos más ninfas; Cf= Compuestos fenólicos; Ae POX= Actividad enzimática de las Peroxidasas; U SPAD= Unidades SPAD; C aox= Capacidad antioxidante; VF= vida en florero; DC= diámetro del capítulo floral; LP=Largo del pedúnculo; DP= diámetro del pedúnculo. **= valores altamente significativos.

IX. DISCUSIÓN

9.1 Incidencia de *Trialeurodes vaporariorum*.

La presencia de la mosca blanca en el cultivo de gerbera está documentada por varios autores (Tong-Xian et al., 1993; Berndt y Meyhöfer, 2008; Parrella et al., 2014). En este estudio, además de la presencia del insecto en gerbera, se encontraron diferencias en la incidencia de la mosca blanca entre los genotipos evaluados y, mayor preferencia del insecto hacia el genotipo Lis. En varios estudios sugieren que la fertilización nitrogenada puede influir sobre la susceptibilidad de los cultivos a los insectos como la mosca blanca *T. vaporariorum* (Ortega-Arenas et al., 2006; Prado et al., 2015). No obstante, en esta investigación todos los genotipos se mantuvieron con una misma fertilización, por lo que la concentración de nitrógeno no puede ser considerada como el detonante en la preferencia de *T. vaporariorum* hacia el genotipo Lis.

Algunos autores han evaluado la preferencia de *T. vaporariorum* hacia ciertas especies vegetales, donde la fertilización no es un factor determinante y argumentan que existen otros factores, como las características de la planta, lo que puede influir en la preferencia o no preferencia (antixenosis) de la mosca blanca hacia sus hospederos (López et al., 1999; Jiao et al., 2012). Taggar y Gill (2012), al respecto mencionan que las características morfológicas de las hojas como la pubescencia puede afectar la preferencia de los insectos hacia ciertos genotipos. Otros autores reportan variación intraespecífica de ciertos genotipos en la incidencia de la mosca blanca debido a características intrínsecas de las plantas

como la participación de metabolitos secundarios y la actividad de ciertas enzimas (Sierra et al., 2014; Taggar et al., 2014).

En otras ornamentales como la rosa, Alvarado-Navarro et al. (2012), reportan mayor preferencia de *T. vaporariorum* hacia ciertas variedades y sugieren que es debido a factores relacionados con el metabolismo de las plantas y a mecanismos antioxidantes más que a otros factores como el color de la flor. En este estudio, la variación encontrada en la incidencia de la mosca blanca entre los genotipos de gerbera evaluados, señala que es debido a características de las plantas relacionadas con la variabilidad de los genotipos de gerbera. Tal variación se ve reflejada en los genotipos de gerbera que hay en el mercado y que difieren tanto en características morfológicas, tales como pubescencia de sus hojas (Tong-Xian et al., 1993), color y forma de la flor; características económicas, relacionadas con la productividad de las plantas, sincronía de la floración y vida de florero (Elomaa y Teeri, 2001; González-Aguilar y Zavaleta-Mancera, 2012), incluso, en características bioquímicas exhibe variación natural en rasgos como la producción de metabolitos secundarios (Krisps et al., 2001; Alcantar-Acosta et al., 2017). Broekgaarden et al. (2011) coinciden en la explotación de la variación natural presente en las plantas para el desarrollo de variedades resistentes, por ejemplo, a insectos, sin embargo, esta variación ha sido poco explotada en la agricultura. En estudios de tomate, donde también encontraron variación en la incidencia de la mosca blanca en diferentes líneas, sugieren el uso de aquellos genotipos con cierta resistencia al insecto en el mejoramiento genético para la obtención de variedades resistentes (Lucatti et al., 2010). En gerbera, aquellos genotipos que mostraron menor incidencia de la mosca blanca *T. vaporariorum* podrían ser

utilizados como base para el mejoramiento genético para desarrollar variedades resistentes a esta plaga.

En relación con el control de la mosca blanca, regularmente se utilizan insecticidas como imidacloprid, thiamethoxam, diclorvos, metamidofos y buprofezin, entre otros (Alcantar-Acosta, 2012; Smith et al., 2016). Estudios realizados en la región florícola del sur del Estado de México indican el desarrollo de resistencia de la mosca blanca a los insecticidas comúnmente aplicados, especialmente a imidacloprid (Pérez-Sandoval, 2011). De acuerdo con observaciones de técnicos agrícolas y productores en el área en una hectárea de gerbera se realizan aproximadamente 20 aplicaciones para el control de la mosca blanca tan solo por ciclo de cultivo. Romeis et al. (2006) reportan que con el uso de cultivos resistentes a insectos las aplicaciones de insecticidas pueden reducirse sustancialmente.

Los valores contrastantes de incidencia entre Com y Lis (adultos 1:36 y ninfas 0:7) señalan cierta resistencia de Com hacia el insecto, posiblemente antixenosis. Tal resistencia sugeriría una disminución en los costos de producción, particularmente en el uso de insecticidas utilizados para su control, así como una disminución en otras problemáticas ambientales. García et al. (2003), mencionan que la importancia de emplear variedades resistentes se debe a que éstas presentan mecanismos de defensa desarrollados a lo largo de la co-evolución entre plantas e insectos. Las resistencias tanto inducida o constitutiva pueden ser utilizadas como una herramienta importante para el manejo de plagas y podría minimizar las cantidades de insecticidas utilizados para el control de plagas, esta resistencia puede ser manipulada con el uso de elicitores químicos de metabolitos

secundarios que confieren resistencia a los insectos, como los compuestos fenólicos (War et al., 2011).

9.2 Análisis de compuestos fenólicos en gerbera

Las plantas inducen respuestas de defensa para contrarrestar el estrés por insectos, la rápida producción de especies reactivas de oxígeno, enzimas antioxidantes, compuestos fenólicos, entre otras, están involucradas en estas respuestas de defensa (Zhang et al., 2008; Sandhyarani y Usha, 2013). Concretamente, los compuestos fenólicos (Cf) exhiben cierta toxicidad hacia las plagas (Lattanzio et al., 2006). Alves et al. (2014), reportan que extractos de plantas con compuestos fenólicos tales como ácido gálico, catequina y ácido elágico en la dieta de *Spodoptera frugiperda* incrementan la mortalidad de las larvas con las concentraciones más altas del extracto. Otros compuestos fenólicos implicados en la interacción planta-insecto son los taninos y la lignina (Lattanzio, 2013; Rehman et al., 2012; Sandhyarani y Usha, 2013).

Los taninos pueden reducir significativamente el crecimiento, desarrollo y supervivencia de los insectos; y una lesión o la infección del tejido vegetal puede estimular la síntesis y acumulación de estos compuestos fenólicos a niveles que pueden hacer que la planta sea tóxica para los herbívoros (Mello y Silva-Filho, 2002; Saltveit, 2010). La lignina, en cambio, proporciona una barrera física al daño por insectos y, la lignificación de la pared celular es una respuesta común a infecciones y heridas de las plantas (De la Rosa et al., 2010). En este estudio, la síntesis diferencial de Cf entre los genotipos de gerbera tanto SI como CI, podría significar una ventaja en la repelencia al insecto como estrategia de defensa

permanente, hacia aquellos genotipos que presentaron una mayor síntesis de este metabolito respecto de aquellos con menor contenido de Cf.

En este sentido, genotipos como Ope y Car que, sin el estímulo de la mosca blanca, presentaron un mayor contenido de Cf, probablemente presenten cierta resistencia a *T. vaporariorum*. Cabe señalar que estos dos genotipos presentaron baja incidencia del insecto, posiblemente por la relación con los Cf.

Por otra parte, el incremento en el contenido de compuestos fenólicos en las plantas, es considerado una respuesta común a la herbivoría (Tscharntke et al., 2001; 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 los Cf participan en los mecanismos de defensa de las plantas posiblemente para contrarrestar el daño de la mosca blanca. Además, se encontró variación de respuesta en la síntesis de este metabolito entre los genotipos de SI a CI. Genotipos como Ope y Car que, en SI presentaron alto contenido de Cf, fueron los que tuvieron el menor incremento de este compuesto (5 y 10 %, respectivamente), y probablemente no necesiten el estímulo de la mosca blanca para permanecer con esta condición. En contraste, los genotipos como Mor, Com y Din que fueron capaces de incrementar la síntesis de Cf en más del 50 % en CI, probablemente indique que inducen la síntesis de este metabolito como mecanismo de defensa hacia el insecto. Resultados similares los reportan Zhang et al. (2017) en genotipos de *Nicotiana tabacum*, quienes obtuvieron un incremento en Cf después del daño de *T. vaporariorum* y *Bemisia tabaci*. Por otro lado, genotipos como Lis, Mag y Est, que presentaron los contenidos más bajos de Cf, pudieran tener otro mecanismo de defensa, diferente a los Cf, motivo por el

cual el estímulo de *T. vaporariorum* no indujo un incremento significativo de este metabolito, o incluso pudiesen ser susceptibles a este insecto. En soya, los genotipos más resistentes a áfidos mostraron un mayor incremento en Cf que aquellos susceptibles (Jiang et al., 2009).

En este sentido, Lis el genotipo con la incidencia más alta de mosca blanca y que presentó la concentración más baja de Cf tanto en SI como en CI, probablemente presente otros mecanismos de defensa, diferentes a los Cf, para contrarrestar la incidencia del insecto e incluso no deba considerarse en programas de mejoramiento genético por la alta preferencia de *T. vaporariorum* a este genotipo.

La variación encontrada tanto en SI como en CI entre los genotipos de gerbera sugiere el aprovechamiento de tal variación en esquemas de mejoramiento genético. Algunos autores coinciden en la explotación de la variación natural presente en las plantas para el desarrollo de variedades resistentes, por ejemplo, a insectos (Broekgaarden et al., 2011). En *Arabidopsis thaliana*, se han observado altos niveles de variación entre poblaciones naturales de plantas, en atributos como en la producción de metabolitos secundarios (glucosinolatos), que participan en la defensa de las plantas (Kroymann et al., 2003; Rowe y Kliebenstein, 2008; Kerwin et al., 2015). En esta misma especie se ha documentado la participación de los compuestos fenólicos para contrarrestar el estrés biótico (Alves et al., 2014).

9.3 Actividad enzimática de las peroxidasas

En diversos estudios han encontrado la participación de los Cf, así como de enzimas antioxidantes en la interacción planta-insecto (Jiang et al., 2009;

Sandhyarani y Usha, 2013). Enzimas antioxidantes como las peroxidasas (POX) y polifenol oxidasas (PPO) estabilizan especies reactivas de oxígeno (EROS), inhiben el daño celular y participan en las respuestas de defensa de las plantas contra insectos (Dicko et al., 2005; Rani y Jyothsna, 2010), debido a que catalizan la oxidación de una gran variedad de fenoles que ayudan a la formación de quinonas, las cuales exhiben toxicidad directa hacia los insectos (Lattanzio et al., 2006; López-Nicolás y García Carmona, 2010). Adicionalmente, Fagerstedt et al. (2010), señalan que las enzimas POX participan en la síntesis de polímeros de la pared celular (lignina y suberina) y, además, detoxifican peróxidos producidos a causa del estrés oxidativo en las plantas.

En este estudio, las diferencias en la AePOX entre los genotipos de gerbera evaluados, tanto en SI como en CI, sugiere variación natural en la síntesis de esta enzima y, por consiguiente, diferencias, por ejemplo, en la biosíntesis de lignina y otros compuestos relacionados con la AePOX. Aquellos genotipos, como Com y Din, con una mayor actividad de enzima, pudieran tolerar o ser más resistentes a la infestación de mosca blanca, debido a una pared celular más lignificada y con mayor resistencia, que aquellos con baja AePOX como Mor y Lis, los cuales pudieran presentar otros mecanismos de defensa diferente a esta enzima para contrarrestar situaciones de estrés como la incidencia de *T. vaporariorum*. En genotipos de otras ornamentales de la misma familia como *Crysanthemum grandiflorum*, también han reportado cierta variación en la expresión de enzimas antioxidantes como super oxido dismutasa (SOD) y fenil amonio liasa (PAL), 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).

En esta investigación, en CI la variación encontrada entre los genotipos de gerbera indica diferencias en la capacidad de respuesta en la expresión de esta enzima con el estímulo del insecto. Algunos autores mencionan que las peroxidasas polimerizan macromoléculas, como la suberina, que luego se depositan en la superficie extracelular alrededor de tejidos heridos para la cicatrización y para fortalecer la pared celular, debido a daños mecánicos, así como, por la presencia de insectos (Kulattukkudy 1980 en Hiraga et al., 2001; Shigeto y Tsutsumi., 2016). Además, las peroxidasas en asociación con fenoles producen fenoxi y otros radicales oxidativos que actúan como elementos disuasorios de alimentación y/o producen toxinas que reducen la digestibilidad del tejido vegetal a los insectos (Dicko et al., 2005; War et al., 2011; Shigeto y Tsutsumi, 2016). Aquellos genotipos con una mayor capacidad de inducir esta enzima, como el caso de Car, señala que podrían utilizar como mecanismo de defensa la actividad de esta enzima, posiblemente en el fortalecimiento de la pared celular a través de lignina y suberina, barreras físicas hacia la mosca blanca, o incluso en la producción de radicales fenoxi tóxicos para las plagas.

La intervención, así como el incremento de la actividad de enzimas antioxidantes como las peroxidasas causados por la infestación de insectos está bien documentado (Zhang et al., 2008; Rani y Jyothsna, 2010; Zhao et al., 2016). En este estudio, la infestación de la mosca blanca incrementó la AePOX en todos los genotipos de gerbera, lo cual sugiere la participación de esta enzima en las respuestas de defensa al ataque de *T. vaporariorum*. Resultados similares los reportan Taggar et al. (2012) en genotipos de *Vigna mungo* L., quienes obtuvieron un incremento en la actividad enzimática de la POX, y un mayor incremento en los

genotipos resistentes al estrés de la mosca blanca *Bemisia tabaci*, que en aquellos susceptibles. Similarmente, en plantas de tabaco la AePOX, incrementó después de la incidencia de *B. tabaci*, en comparación de las plantas control (Zhao et al., 2016). En este estudio, el genotipo Com que, en SI, presentó alta AePOX, sólo tuvo un incremento del 10 % en CI y se mantuvo alto con respecto a la mayoría de los otros materiales vegetales y coincide con la baja incidencia del insecto en este genotipo, podría indicar cierta resistencia a *T. vaporariorum* posiblemente porque la actividad POX cataliza la lignificación de la pared celular, barrera física para el insecto.

La presencia de otros insectos como lepidópteros y áfidos también inducen un aumento en la actividad de dicha enzima en su hospedante (War et al., 2011; Xu et al., 2014). Rani y Jyothsna (2010), reportan que el modo de alimentación de los insectos influye en las respuestas de defensa de las plantas como la actividad enzimática de la POX; insectos con aparato bucal picador-chupador, como la mosca blanca *T. vaporariorum*, inducen un mayor incremento en la actividad de esta enzima que aquellos con aparato bucal de tipo masticador, lo cual está relacionado con el nivel de daño al tejido vegetal ocasionado por insectos masticadores.

Zhao et al. (2016) reportan un aumento en la AePOX a partir de cinco días después de la infestación de *B. tabaci* en plantas de tabaco y una mayor respuesta hasta después de veinte días de la presencia del insecto. En este estudio, se evaluó la AePOX en los genotipos de gerbera después de treinta y cinco días, de la incidencia de la mosca blanca, y también se indujo un incremento

en la actividad de esta enzima. Otras investigaciones, reportan, que la infestación por mosca blanca induce solo en seis horas la AePOX (Zhang et al., 2008).

Estudios en otras especies vegetales han demostrado que los niveles de fenoles y la actividad de otras enzimas, incluidas las POX, como la PAL y la PPO, son diferentes entre plantas resistentes y susceptibles (Jiang et al., 2009). También se ha reportado la participación de otras enzimas antioxidantes como SOD y catalasa (CAT) en las respuestas de defensa de las plantas a insectos (Rani y Jyothsna, 2010) y probablemente también pudieron haber participado en los mecanismos de defensa de los genotipos de gerbera. Maffei et al. (2006) demostraron que el incremento de la actividad de enzimas antioxidantes como la CAT, SOD y POX, después de la alimentación por insectos en plantas de frijol, coincide con la acumulación de peróxido de hidrógeno en el apoplasto. Zhao et al. (2016), demostraron que la infestación de mosca blanca en plantas de tabaco aumenta los niveles de H_2O_2 un 77.3 % más, que en las plantas control. Esta molécula se requiere como sustrato para las peroxidasas en la lignificación y suberización de la pared celular, pero también es una molécula de señalización en condiciones de estrés y en los procesos fisiológicos de las plantas (Sharma et al., 2012). El incremento de la AePOX en los genotipos de gerbera CI, probablemente esté relacionado con un aumento en el fortalecimiento de la pared celular mediante lignificación a expensas del H_2O_2 .

En diversos estudios han encontrado que genes de POX, así como de enzimas envueltas en la síntesis de fenilpropanoides como la PAL se inducen por heridas en las plantas (Hiraga et al., 2001; Cosio y Dunand et al., 2009). El desarrollo de plantas transgénicas con genes modificados en la expresión de peroxidasas, y en

consecuencia patrones de lignificación alterados que les proporcione a las plantas mayor resistencia a plagas, se ha visto afectado por el gran número de genes que codifican esta clase de enzimas (Fagerstedt et al., 2010). Particularmente, en gerbera se ha reportado la participación y el incremento en la actividad enzimática de la POX bajo condiciones de estrés abiótico (Lai et al., 2007). En esta investigación, la incidencia de mosca blanca *T. vaporariorum* induce un incremento en la AePOX en los genotipos de gerbera. Las diferencias en la AePOX entre los genotipos de gerbera evaluados, tanto en SI (Com y Din), como en CI (Car), sugiere variación natural en la síntesis de esta enzima posiblemente regulada a nivel de transcripción o traducción (Cosio y Dunand, 2009).

9.4 Capacidad antioxidante en gerbera

Las plantas tienen mecanismos antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos para contrarrestar la oxidación ocasionada por especies reactivas de oxígeno y radicales libres que se incrementan en situaciones de estrés biótico y abiótico (Mittler, 2002). La importancia de estas moléculas antioxidantes es debido a la capacidad que tienen de prevenir daños a la célula y regularmente, su contenido cambia para contrarrestar moléculas oxidantes (Cavaiuolo et al., 2013). En este estudio la variación encontrada en la capacidad antioxidante, medida por DPPH, entre los genotipos de gerbera tanto SI como CI de mosca blanca señala diferencias de los genotipos para contrarrestar condiciones de estrés como la incidencia del insecto.

Aun cuando, en SI hubo variación en la Caox entre los genotipos, se observaron bajos valores, en comparación CI, donde el incremento proporcional en cada genotipo varió de seis a 19 veces con respecto a SI.

Al respecto, se ha reportado que las plantas responden a la infección por patógenos, al daño mecánico o a las heridas por herbívoros con una producción localizada de EROS (Benezer-Benezer et al., 2008). Por ejemplo, las respuestas de las plantas inducidas por la oviposición de huevecillos se asemejan a la respuesta hipersensible (HR) inducida por patógenos, donde interviene un estallido oxidativo por EROS, que conducen a la desecación del huevo y su posterior desprendimiento de las plantas (Hilker y Fatouros, 2016). En el caso de soya, Bi y Felton (1995) señalan que la herbivoría por insectos aumenta moléculas ERO como el radical hidroxilo OH⁻ y peróxido de hidrógeno H₂O₂; pero también reportan la participación de enzimas antioxidantes como ascorbato peroxidasa, POX, PAL, CAT y PPO; así como de compuestos primarios antioxidantes como el ácido ascórbico y metabolitos secundarios como los Cf. En plantas de frijol también se ha señalado un incremento de H₂O₂ con la presencia de insectos como *Spodoptera littoralis* (Maffei et al., 2006). Esta molécula se ha asociado en la activación de genes de defensa y en la inducción de enzimas oxidasas durante la interacción planta insecto (Ruuholta y Yang, 2005).

Las POX, por ejemplo, catalizan la oxidación de compuestos fenólicos a expensas del peróxido de hidrógeno durante las lesiones por insectos como la mosca blanca, lo que indirectamente la convierte en una enzima antioxidante (He et al., 2011). Algunos compuestos antioxidantes son pigmentos de flores como carotenoides y polifenoles (Cavaiuolo et al., 2013).

En este estudio, Lis que presentó la incidencia más alta de la mosca blanca, tuvo la AePOX y el contenido de Cf más bajo entre los genotipos, mostró un incremento significativo de la capacidad antioxidante, lo cual sugiere la participación de otras moléculas antioxidantes diferentes a las POX y a los Cf para contrarrestar la producción de EROS que posiblemente desencadene la presencia de la mosca blanca en gerbera. El genotipo Com que presentó contenido medio-bajo de Ft, alta AePOX, y valores bajos en Caox, sugiere que induce como mecanismos de defensa el metabolito secundario y la enzima, además de otras moléculas antioxidantes.

La variación encontrada en la capacidad antioxidante en los genotipos de gerbera señala las diferencias en la capacidad de respuesta para contrarrestar la oxidación que posiblemente ocasione la mosca blanca. Aquellos genotipos con una mayor capacidad antioxidante podrían indicar una mayor producción de EROS en pro del estrés ocasionado por la mosca blanca, así como la capacidad de las plantas de contrarrestar esta oxidación.

9.5 Contenido relativo de clorofila USPAD

Goławska et al. (2010) reportan que el contenido relativo de clorofila es uno de los parámetros más importantes en la relación planta-insecto. En este estudio, los genotipos de gerbera difieren en el posible efecto de la incidencia de la mosca blanca sobre el contenido relativo de clorofila. De SI a CI, se observó un incremento promedio del 8 % de esta variable, sin embargo, en dos genotipos sus valores disminuyeron y correspondieron a aquellos que mostraron mayor

incidencia de mosca blanca, particularmente el genotipo Lis, aparentemente, con el estrés de la mosca blanca sintetizó menos pigmentos de clorofila.

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. Al respecto, se ha reportado, en diferentes especies vegetales, una reducción significativa en el contenido relativo de clorofila debido a la infestación por insectos (Goławska et al., 2010; Sytykiewicz et al., 2013; Huang et al., 2014). En los estudios de Golawska et al. (2010) encontraron que el contenido relativo de clorofila (como unidades SPAD), difieren entre las plantas infestadas y no infestadas con áfidos; y demostraron un menor contenido en aquellas infestadas. Huang et al. (2014) señalan que la alimentación por insectos causa impactos negativos en el desarrollo de las plantas como reducción del área foliar y reducción del contenido relativo de clorofila. Kerchev et al. (2012) han sugerido, que la herbivoría por insectos lejos de estimular la fotosíntesis, reduce la fijación de carbono y ésta respuesta ocurre por una reprogramación de la expresión génica del metabolismo primario.

El mecanismo de como la alimentación por insectos disminuye el contenido relativo de clorofila aún no está muy bien entendido (Golawska et al., 2010). Sin embargo, algunos autores soportan la hipótesis de que la reducción de la fotosíntesis en respuesta a la infestación por insectos está impulsada por la percepción de estrés, más que a una respuesta fisiológica secundaria por el daño tisular, esto debido a evidencias de la inhibición de la fotosíntesis después de la oviposición de insectos (Kerchev et al., 2012).

9.6 Vida florero y parámetros morfológicos

El término de la vida en florero de gerbera se caracteriza por el doblado del escapo floral (Prashanth et al., 2010; González-Aguilar y Zavaleta-Mancera 2012). Algunas investigaciones sugieren el uso de soluciones nutritivas para incrementar la calidad y vida florero de estas flores (Danaee et al., 2011; Oraee et al., 2011). Por ejemplo, el doblado del escapo floral causado por bacterias se puede contrarrestar con el uso de soluciones preservativas con bactericidas (Oraee et al., 2011). En este estudio, el término de vida florero se caracterizó por el marchitamiento de las lígulas más que por el doblado del escapo floral lo que sugiere que pudo haber influido el uso del microbicida utilizado.

Por otro lado, se encontró variación en la vida florero entre los genotipos de gerbera, desde 10 hasta 17 días. Otros estudios también reportan variación de esta variable entre genotipos de gerbera asociado al tipo de variedad o al uso de soluciones preservativas (González-Aguilar y Zavaleta-Mancera 2012; Rudnicki y Nowak, 2015). Prashanth et al. (2010) reportan una vida en florero de gerbera de 5 y 13 días como baja y alta, respectivamente. Sin embargo, en otros estudios reportan variedades de gerbera con más de 20 días de vida florero con el uso de soluciones preservativas con calcio (González-Aguilar y Zavaleta-Mancera, 2012). Si bien es cierto que el uso de soluciones preservativas extiende la vida en florero de gerbera, también existen otros factores que pueden intervenir en la disminución de esta variable.

Por ejemplo, Rudnicki y Nowak (2015), reportan que la vida en florero entre variedades de gerbera; es mayor en las flores de color amarillo que aquellas de color rojo o rosa. Los genotipos utilizados en este estudio que presentaron baja

vida florero son de color rojo (Lis y And), rosa (Mag y Sof), y amarillo (Ope y Din), contrario a aquellos que tuvieron una vida florero más alta que fueron de color blanco (Est y Com), rojo (Car) y rosa (Mor).

Por lo tanto, en este estudio el color del genotipo pudo no haber intervenido en la vida florero de gerbera. Acharya et al. (2010) reportaron que otros factores como las diferencias entre variedades, así como la estación del año pueden influir en la vida florero de gerbera, desde 5.7 días en otoño a 23 días en invierno.

También se ha reportado que la incidencia de la mosca blanca en variedades de gerbera puede influir en su vida en florero. Guleria et al. (2013), encontraron que en aquellas plantas de gerbera que no fueron tratadas para controlar la infestación de mosca blanca tuvieron una menor vida florero que en aquellas que utilizaron insecticidas, incluso en otros parámetros como en el rendimiento floral, el diámetro del capítulo floral y la longitud del tallo se vieron afectados con la incidencia de la mosca blanca en las plantas control. En este estudio, Lis y Mag que presentaron alta incidencia de la mosca blanca tuvieron baja vida en florero; contrario al genotipo Com que tuvo menor incidencia del insecto, presentó alta vida en florero entre los genotipos evaluados. Sin embargo, otros genotipos con baja incidencia del insecto (And, Sof, Din y Ope) también presentaron baja vida en florero; y otros con moderada-alta incidencia del insecto tuvieron baja vida en florero.

La incidencia de la mosca blanca pudiera ser uno de los factores que afecte y/o disminuya no solo la vida en florero en gerbera sino otros parámetros morfológicos relacionados con la calidad del cultivo. En este estudio la disminución de DC, LP y DP, de SI a CI, pudiera indicar el efecto de la alimentación de la mosca blanca en gerbera. En otras especies vegetales, Álvarez y Abud (1995), señalan que la

mosca blanca puede reducir los rendimientos de cultivos como tomate y melón, debido a daños directos (alimentación del insecto) e indirectos (la presencia de virus y el desarrollo de fumagina), hasta en un 95 % en infestaciones graves. Polack (2005), señala que la alimentación de la mosca blanca no ocasiona importantes pérdidas económicas comparadas con los daños indirectos, como la fumagina y los virus. La alimentación de la mosca blanca en tomate, por ejemplo, causa la pérdida de la calidad comercial del fruto y como daño indirecto (causado por la fumagina) ocasiona la pérdida de rendimiento del cultivo entre un 60 y 80 %, (Scotta et al., 2014). En el caso de gerbera, en otros estudios también han encontrado que la infestación por mosca blanca *T. vaporariorum* reduce el diámetro del capítulo, así como el largo del pedúnculo floral en aquellas plantas que no recibieron control del insecto (Guleria et al., 2013). En este estudio, la disminución del DC, LP y DP pudieran indicar el efecto de la alimentación de la mosca blanca sobre gerbera, sin embargo, se sugiere estudios posteriores especializados en la evaluación de parámetros morfológicos relacionados con rendimiento del cultivo y calidad comercial de las flores causados específicamente por la mosca blanca en ornamentales como la gerbera.

9.7 Correlación de las variables

La rápida producción de EROS, la participación de enzimas antioxidantes, así como la síntesis de compuestos fenólicos son algunas de las respuestas de defensa que las plantas inducen para contrarrestar el estrés por insectos (Zhang et al., 2008; Sandhyarani y Usha, 2013). Estas respuestas de defensa son integrales, por lo que las plantas no dependen de un compuesto en específico

para defenderse de la infestación por insectos sino de varios compuestos y de su interacción para tener un efecto eficiente y efectivo contra los herbívoros (Zavala, 2010).

En este estudio el análisis de correlación señala la participación de los compuestos fenólicos, de la AePOX y de moléculas antioxidantes en gerbera durante la incidencia de la mosca blanca. Aquellos genotipos con la capacidad de inducir un alto contenido de Cf y alta AePOX, como Com, Ope y Car, pudieran utilizar estos compuestos como mecanismo de defensa al insecto confiriéndoles cierta resistencia. Posiblemente, la edad de la planta pudo haber influido en el aumento de la concentración de este metabolito. Pérez et al. (2014), sugieren que la producción de Cf se ve afectada por el estado fenológico de la planta, y demuestran que las hojas jóvenes son las ideales para la cuantificación de este metabolito. En este estudio, se utilizaron hojas maduras en todas las mediciones observándose un incremento en las diferentes etapas fenológicas del cultivo en SI y CI. Martínez et al. (2015) señalan que la cantidad de Cf presentes en una muestra varía en función de la especie vegetal, variedad, parte vegetal analizada, así como el grado de madurez y condiciones de cultivo. No obstante, la correlación negativa significativa de los compuestos fenólicos en más del 50 % con la incidencia de la mosca blanca señala su participación en la defensa de los genotipos de gerbera. Otros autores reportan resultados similares a los obtenidos en este estudio con estas dos variables y proponen que los Cf contribuyen a la bioprotección de las plantas contra la incidencia de la mosca blanca (Taggar et al., 2014; Sandhyarani y Usha 2013).

Por otra parte, Cipollini y Redman, (1999) reportan que la AePOX, incrementa con la edad de la planta, empero, la correlación negativa significativa en más del 60 % entre la incidencia de la mosca blanca y la actividad de dicha enzima señala su participación por el estímulo del insecto. Resultados similares con estas dos variables los reportan Taggar et al. (2012).

Por otro lado, la correlación positiva significativa entre la AePOX y el contenido de Cf, señala una estrecha relación de estas dos variables posiblemente durante la lignificación de la pared celular en presencia de estrés. Respecto a lo anterior, Hiraga et al. (2001) indican que la oxidación de Cf por POX resulta en la formación de radicales fenoxi y el posterior acoplamiento de estos radicales conduce a la polimerización de monómeros de lignina y suberina.

Aunque estadísticamente la correlación negativa entre el contenido relativo de clorofila y la incidencia de la mosca blanca no fue significativa, se observó una tendencia opuesta entre estas dos variables, lo que indica que una mayor incidencia del insecto podría ocasionar un daño más severo en sus hospederos al succionar savia y debilitar a su hospedante, en este caso, se reflejaría en una reducción de los pigmentos de clorofila. Resultados similares los obtuvieron Huang et al. (2014) quienes reportan una relación negativa significativa entre el contenido relativo de clorofila y la incidencia de insectos.

La alimentación del insecto en los genotipos de gerbera señaló la inducción de compuestos antioxidantes para contrarrestar posiblemente la formación de moléculas oxidantes en este proceso. Estadísticamente no fue significativo, lo cual indica la participación de otros factores que contribuyeron al estrés de las plantas y a la formación de moléculas antioxidantes. Diversas condiciones de estrés

biótico y abiótico conducen a una producción excesiva de EROS (Mittler, 2002; Benezzer-Benezer et al., 2008). Posiblemente las bajas temperaturas de noviembre y diciembre contribuyeron al estrés de las plantas y se ve reflejado en un aumento de la capacidad antioxidante de los genotipos de gerbera. Las EROS no sólo son tóxicas; también actúan como moléculas de señalización al modular la expresión de varios genes, incluidos los que codifican a enzimas antioxidantes (Dat et al., 2000; Sharma et al., 2012). Probablemente un aumento de la capacidad antioxidante, relacionado a un aumento de EROS durante la incidencia de la mosca blanca indujo la activación de genes de defensa como de la enzima POX.

Por otro lado, Martínez et al., (2015), reportan que los Cf tienen cierta capacidad antioxidante. Sin embargo, la correlación negativa significativa de la Caox con el contenido de Cf y con la AePOX sugiere que, durante la presencia del insecto, estas moléculas se centran en el mecanismo de defensa que le confiere protección a la planta en la producción de compuestos tóxicos y en la lignificación de la pared celular, más que como neutralizadores de moléculas antioxidantes.

La tendencia opuesta entre la vida en florero de gerbera con la incidencia del insecto sugiere que la mosca blanca podría reducir los días de vida en florero de gerbera. Resultados similares los reportan Guleria et al. (2013), en plantas de gerbera que no fueron tratadas para controlar la infestación de mosca blanca y tuvieron una menor vida florero que las plantas control. La correlación negativa no significativa entre estas variables sugiere la influencia de otros factores no evaluados en la presente investigación. Reid (2009), por ejemplo, señala que la temperatura en gerbera es un factor determinante para su mantenimiento en

poscosecha y señala que las flores mantenidas a 20°C se deterioran 9 veces más rápido que las mantenidas a 0°C, debido a que se reduce su tasa de respiración.

Por el contrario, la correlación positiva no significativa entre la vida en florero de gerbera con el contenido de Cf y con la AePOX, sugiere una estrecha relación de estas variables durante la senescencia de gerbera. Satoh (2011), señala que, durante la senescencia en ornamentales, la producción de etileno acelera la marchitez de las flores, en este proceso pudieran estar involucradas algunas enzimas como la PPO que oxida Cf, así como enzimas proteasas que rompen enlaces peptídicos de las proteínas. Por lo tanto, la disminución de la vida en florero de gerbera implicaría una disminución en Cf como antocianinas, así como una disminución de la AePOX. En estudios donde evalúan la vida en florero de gerbera, encontraron que la actividad de esta enzima disminuye en el proceso de senescencia y posteriormente se incrementa con el uso de soluciones preservativas con calcio. También reportan la participación de otras enzimas como ascorbato peroxidasa y CAT en su papel de antioxidantes relacionado a un aumento de EROS durante la senescencia de gerbera (Trujillo-Villagarcía y Zavaleta-Mancera, 2006).

Por otro lado, la correlación negativa significativa entre el DP con la incidencia del insecto, indica que la succión de savia de la mosca blanca en gerbera reduce el DP. En otros estudios, encontraron que la infestación por mosca blanca ocasionó la disminución de la vida florero, del largo del pedúnculo, del diámetro del capítulo, así como el número de flores por metro cuadrado (Guleria et al., 2013). Contrario a lo que se esperaba, en este estudio la correlación de DC y LP con la incidencia de

la mosca blanca no fueron significativas, lo que sugiere la influencia de otros factores no evaluados en este estudio.

X. CONCLUSIONES

Se encontró variación natural entre los 10 genotipos de gerbera evaluados en la incidencia de *Trialeurodes vaporariorum*.

Hubo diferencias en el contenido de compuestos fenólicos, en la actividad enzimática de la POX, en el contenido relativo de clorofila y en la capacidad antioxidante entre los genotipos evaluados tanto en SI como en CI de *T. vaporariorum*, lo cual indica variación genética de esta especie y diferencias en los mecanismos de defensa de las plantas al insecto.

Posiblemente, la incidencia de la mosca blanca no disminuyó los días de vida florero en gerbera, pero si afectó el diámetro del pedúnculo.

XI. ARTICULO ENVIADO :

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

Incidence of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) and defense mechanisms in *Gerbera x hybrida*

Santa Mayra Alcantar-Acosta, Jaime Mejía-Carranza*, Martha Elena Mora-Herrera y Sotero Aguilar-Medel.

Centro Universitario UAEM Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. Ex hacienda de Santa Ana, Carretera Tenancingo-Villa Guerrero, Km 1.5, C.P. 52400, Tenancingo, Estado de México. Tel. (01714) 1407724 ó 25. *jmejia@uaemex.mx

Resumen.

La existencia de variación natural de gerbera a la infestación por *T. vaporariorum*, posibilita resistencia o susceptibilidad a la plaga. 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, 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.

Abstract.

The existence of natural variation of gerbera to the infestation by *T. vaporariorum*, makes possible resistance or susceptibility to the pest. In this research, the natural variation of gerbera to the incidence of *T. vaporariorum* was evaluated. In a randomized complete block design, ten gerbera genotypes were analyzed in different phenological stages with no incidence (SI) and incidence (CI) of whitefly. Nymphs were counted, in a cm² at the center of the back the leaves and total adults per leaf. The relative chlorophyll content (USPAD), the phenolic compounds content (Cf), the enzymatic peroxidases activity (AePOX) and the antioxidant capacity DPPH (Caox) were measured. The gerbera genotypes showed significant differences in the incidence of the whitefly ($P \leq 0.01$), as well as in Cf, AePOX and Caox, both in SI and CI ($P \leq 0.01$), which suggests differences in the preference of the insect to its host and the capacity of response of the genotypes to the whitefly. In CI, they increased the content of Cf (1.4 times), AePOX (4 times) and Caox (12 times). USPAD decreased in the genotype with the highest incidence of the insect (-4 %). The significant correlations between number of insects (nymphs) with Cf (-0.71 **) and AePOX (-0.65 **); and Caox with Cf (-0.73 **) and AePOX (-0.76 **), showed that the feeding of the insect interferes with the metabolism of its hosts and triggers integral responses in the defense mechanism of plants, with differences in resistance usable in genetic improvement.

Keywords: enzymatic peroxidase activity, phenols, genetic variability.

Introducción.

La gerbera 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 toneladas por ciclo de cultivo (SIAP, 2016). Una de las plagas que afecta el cultivo de gerbera es la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) (Hemiptera: Aleyrodidae) (Soroa, 2005; Parrella et al., 2014). Para su control, se aplican comúnmente insecticidas y su uso inadecuado ha llevado al desarrollo de resistencia del hemíptero (Pérez-Sandoval, 2011). 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 (García et al., 2003). 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). 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 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, las cuales participan en el mecanismo de defensa en la síntesis de polímeros de pared celular tales 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 *Gerbera x 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'' N y 99° 61' 17'' O y a una altitud de 2200 msnm.

Material vegetativo. Se emplearon 10 genotipos de gerbera 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 para la horticultura en una relación 2:1(v/v). Las plantas se establecieron en un diseño experimental de bloques completos al azar con 10 repeticiones. La unidad experimental fue 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 6.0 y conductividad eléctrica de 2.0 a 2.7 mS/m.

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 completa. Se hicieron mediciones a los 30 y 60 días después de la infestación (modificado de 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 minutos, 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

Na_2CO_3 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 peroxidasas (AePOX). Se determinó de acuerdo al método descrito por Anderson et al. (1995). Muestras de ± 50 mg de hoja madura se maceraron en 200 μL de buffer de extracción 50 mM de fosfato de potasio pH 7.2, 1 mM de ácido etileno diamino tetracético (EDTA) y 1 % de polyvinylpirrolidona (PVP). El extracto se centrifugó a 6000 rpm durante 5 minutos 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 H_2O_2 , 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 H_2O_2 a 470 nm durante tres minutos en intervalos de 30 segundos (coeficiente de extinción del guaiacol $\epsilon = 26.6 \text{ Mm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, en la ecuación $\text{nmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$). 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-picrilhidracilo (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 μM 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 hizo 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 paquete 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 estadísticamente 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 incidencia (C), Lis.

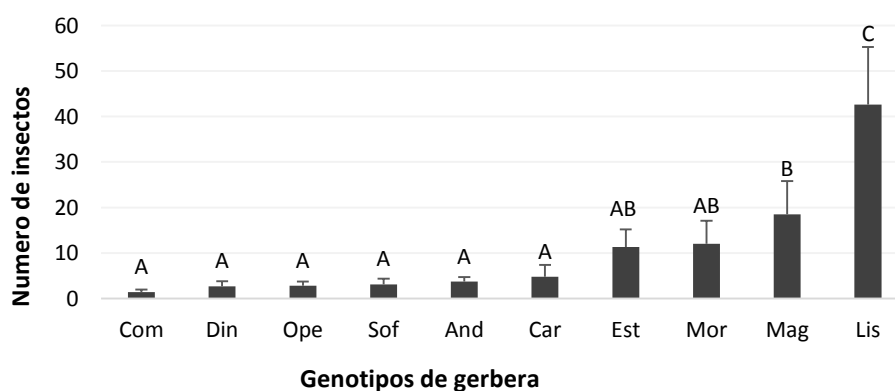


Figura 1. Incidencia de *Trialeurodes vaporariorum* (adultos más ninfas) en *Gerbera x hybrida* en las etapas fenológicas de inicio de emisión de capitulo floral y floración. Barras de error= error estándar. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba Duncan ($P \leq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

La presencia de *T. vaporariorum* en gerbera ha sido documentada por varios autores (Berndt y Meyhöfer, 2008; Parrella et al., 2014). 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), y a factores relacionados con el metabolismo de las plantas y/o mecanismos antioxidantes tales como la participación de metabolitos secundarios y la actividad de ciertas enzimas (Sierra et al., 2014, Taggar et al., 2014; Alvarado-Navarro et al., 2012). 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). En estudios realizados por Lucatti et al. (2010) con genotipos de *Solanum lycopersicum* L., sugieren 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 al control de la mosca blanca.

Contenido de Cf. Se encontraron diferencias estadísticamente 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 (expresión constitutiva) (Lattanzio, 2013). En CI se observó un incremento promedio del 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 un 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. 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.

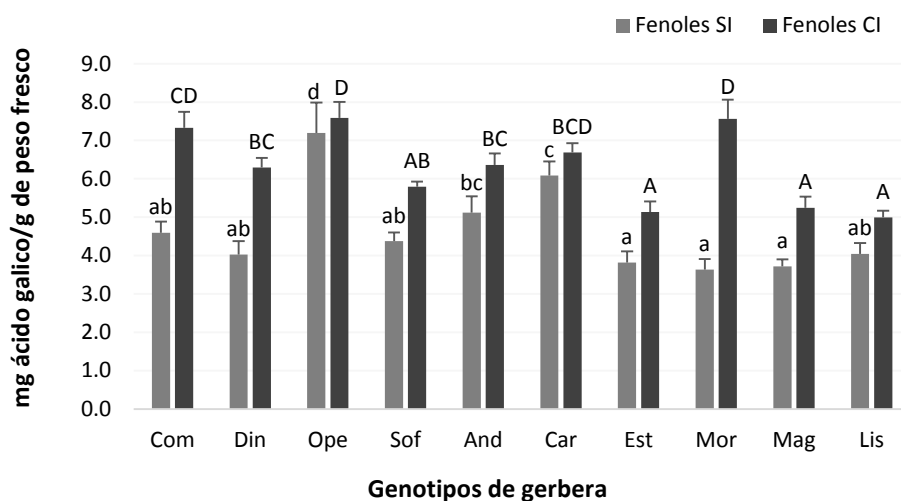


Figura 2. Contenido de compuestos fenólicos en hojas maduras de diez genotipos de *Gerbera x hybrida* sin incidencia (SI) en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Barras de error corresponde al error estándar. Letras minúsculas=comparación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

Diferentes estudios reportan la participación de los compuestos fenólicos tales como ácido clorogénico, ácido cafeico, 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), 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) mencionan 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 reportan 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 Peroxidasas (AePOX). La AePOX fue estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$) 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 (Mor y Lis), sus valores se mantuvieron bajos comparados a otros genotipos, lo cual sugiere que la limitación del mecanismo de defensa pudiera hacer a las plantas más susceptibles al insecto.

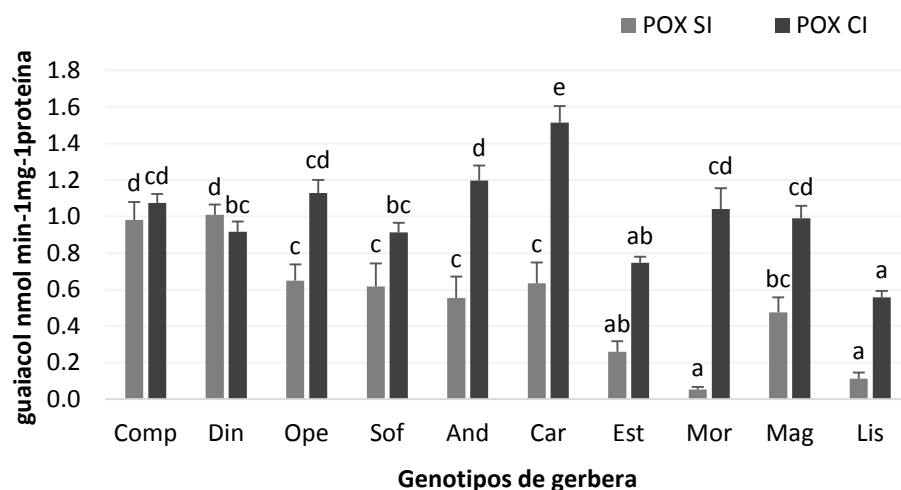


Figura 3. Actividad enzimática de las peroxidasas (AePOX) en hojas maduras de *Gerbera x hybrida*; sin incidencia (SI), en etapa vegetativa; y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Barras de error corresponde al error estándar. Letras minúsculas=comparación 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). 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). En genotipos de otras ornamentales de la misma familia como *Crysanthemum grandiflorum*, también se ha reportado variación en la expresión de enzimas antioxidantes (super oxido 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, orientan 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) reportan 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 estadísticas 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, AePOX, y presentó los menores valores de incidencia del insecto.

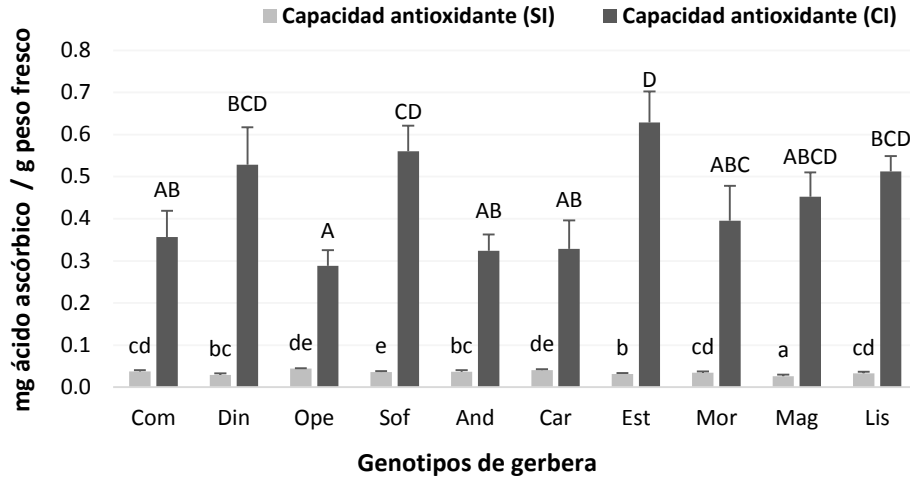


Figura 4. Capacidad antioxidante DPPH de *Gerbera x hybrida* sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capitulo floral y floración. Letras minúsculas=comparación de medias SI, letras mayúsculas= comparación de medias CI. Barras de error 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; Benezzer-Benezzer 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, la infestación de mosca blanca aumentó los niveles de H_2O_2 un 77.3 % más que en las plantas control (Zhao et al., 2016). El H_2O_2 , 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, 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). Fue estadísticamente significativo ($P \leq 0.01$) 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. Así mismo, hubo incremento promedio de SI a CI del 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. 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) han sugerido, que la herbivoría por insectos lejos de estimular la fotosíntesis, reduce la fijación de carbono y ésta respuesta ocurre por una reprogramación de la expresión génica del metabolismo primario.

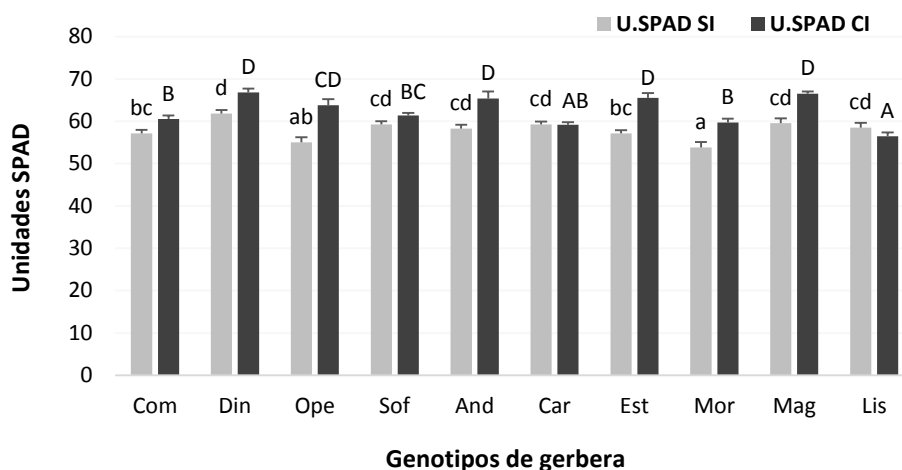


Figura 5. Contenido relativo de clorofila en *Gerbera x hybrida* de hojas fotosintéticamente activas sin incidencia (SI), en etapa vegetativa y con incidencia (CI) de *T. vaporariorum* en inicio de emisión de capítulo floral y floración. Letras minúsculas=comparación de medias SI, letras mayúsculas= 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 ($P \leq 0.05$).

Análisis de correlación.

Las correlaciones negativas y 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 es citado por diferentes autores (Taggar et al., 2012; Taggar et al., 2014; Sandhyarani y Usha 2013). También el contenido de fenoles se correlacionó positiva y significativamente con la AePOX ($r=0.62$). 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 actúan como elementos disuasorios de alimentación y/o 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 significativamente 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 representado 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 es similar a lo reportado por Huang et al. (2014).

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

	Adultos (A)	Ninfas (n)	A + n	Cf	AePOX	USPAD	Caox
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	
Caox	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; **C aox**= capacidad antioxidante. *= valores altamente significativos.

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. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 62(4): 661-666. doi: 10.1271/bbb.62.661
- Alvarado-Navarro, R., Alcantar-Acosta, S. M., Aguilar-Medel, S., Palma-Linares, V., Vásquez-García, L. M., y Mejía-Carranza, J. (2012). Diversidad de rosa cultivada y su relación con la presencia y severidad de daño de mosca blanca en el sur del Estado de México. *Entomología mexicana*. 11(2): 709-714.
- 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 Physiology*. 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). *Revista de Antropología Social*. 27(1): 145-168. doi: 10.5209/RASO.59436.
- 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. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 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 Biotechnology Journal*. 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. *Journal of Experimental Botany*. 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. URL <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. *Journal of Chemical Ecology*. 31(11): 2671-2688. doi: 10.1007/s10886-005-7619-5
- García, L. S., Burt, J. A., Serratos, J. A., Pontones, D. D., Arnason, T. J., y Bergvinson, D. J. (2003). Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* (Motsch, Coleoptera: Curculionidae): Mecanismos y bases de la resistencia. *Revista de Educación Bioquímica*. 22: 138-145.
- 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., et al. (2011). Chrysanthemum leaf epidermal surface morphology and antioxidant and defense enzyme activity in response to aphid infestation. *Journal of Plant Physiology*. 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.
- 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* Matsumura invasion. *Soybean Science*. 1: 104-107.
- 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 & Environment*. 35(2): 441-453. doi: 10.1111/j.1365-3040.2011.02399.x
- Krisp, 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*. *Journal of Chemical Ecology*. 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., 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: Advances in research*. 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.
- 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 entomology*. 39(5): 792-798.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*. 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-Maciél, C. y Vásquez, G. L. M. (2011). Respuesta de la mosquita blanca *Trialeurodes vaporariorum* Westwood a insecticidas usados en cultivos ornamentales del Estado de México. *Entomología mexicana*. 10: 667-776.
- 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.
- 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 Journal*. 31(1): 157-168.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP). (2016). Cierre de la producción agrícola. Consultado 22-05-18, en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., and Pessaraki, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*. 26 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.
- 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.
- Soroa, M. R. (2005). Revisión bibliográfica *Gerbera jamesonii* L. Bolus. *Cultivos tropicales*. 26(4): 65-75.
- Strauss, S. Y., Rudgers, J. A., Lau, J. A., and Irwin, R. E. (2002). Direct and ecological costs of resistance to herbivory. *Trends in Ecology & Evolution*. 17(6): 278-285.
- Surin, U. (2011). Effects of different nutrient solution formulations on yield and cut flower quality of gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture system. *African Journal of Agricultural Research*. 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). *Journal of environmental Biology*. 35(6): 1037.

- 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). *Journal of Environmental Biology*. 35(6): 1037-1045.
- 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. 1-238.
- 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>.

XII. RESULTADOS ADICIONALES:

12.1 ARTICULO PUBLICADO I.

INCIDENCIA DE MOSCA BLANCA Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE FENOLES TOTALES EN HÍBRIDOS DE GERBERA

Santa Mayra Alcantar-Acosta¹, Azucena Rivera-Colín², Martha Elena Mora-Herrera¹, Sotero Aguilar-Medel¹ y Jaime Mejía-Carranza^{1*}

¹Centro Universitario UAEM Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. Km 1.5 Carr. Tenancingo- Villa Guerrero, Tenancingo, Estado de México. C.P. 52400.

²Servicios Integrales de Horticultura Ornamental S.A. de C.V. Carretera libre Toluca-Ixtapan de la Sal km 64, los Arroyos, Villa Guerrero, Estado de México, México
Correo: *jmejia@uaemex.mx

RESUMEN. La gerbera (*Gerbera x hybrida*) es uno de los cultivos florícolas más importantes de México y el desarrollo de nuevas variedades y su caracterización son indispensables para su identificación y potencial registro. El objetivo de esta investigación fue evaluar híbridos mexicanos de gerbera desarrollados en la región florícola del sur del Estado de México en la incidencia mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) (Hemiptera: Aleyrodidae) y su relación con el contenido de fenoles totales. Siete híbridos mexicanos y dos variedades comerciales fueron evaluados en etapas tempranas de desarrollo para número de insectos (NI) (adultos y ninfas) por cm² y contenido de fenoles totales (FT) por el método Folin-Ciocalteu bajo un diseño de bloques al azar. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre híbridos para incidencia de adultos, pero no para ninfas. El contenido de FT entre los híbridos de gerbera fue estadísticamente significativo ($\alpha \leq 0.01$) con diferencias de más del 30% entre valores extremos. Ambas variables, NI y FT se correlacionaron negativamente en 60%. Los resultados mostraron preferencias distintas entre adultos y ninfas en los diferentes híbridos evaluados y las diferencias en concentración de fenoles pudieran representar una ventaja ecológica para aquellos con mayor concentración.

Palabras clave: *Gerbera x hybrida*, Antioxidantes, fenoles totales, *Trialeurodes vaporariorum*.

INCIDENCE OF WHITEFLY AND ITS RELATIONSHIP TO THE CONTENT OF TOTAL PHENOLS IN GERBERA HYBRIDS

ABSTRACT. Gerbera (*Gerbera x hybrida*) is one of the most important flower crops from Mexico and the development of new varieties and their characterization are necessary for its identification and potential registration. The objective of this research was to evaluate Mexican gerbera hybrids, developed in the floricultural region of the South State of Mexico, in the white fly incidence (*Trialeurodes vaporariorum* (1856 Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) and its relationship to the content of total phenols. Seven Mexican hybrids and two commercial varieties were evaluated in early stages of development for number of insects (NI) (adults and nymphs) by cm² and total phenols content (FT) by the Folin-Ciocalteu method under a randomized block design. The results showed highly significant differences ($\alpha \leq 0.01$) between hybrids for incidence of adults, but not for nymphs. FT content between gerbera hybrids was statistically significant ($\alpha \leq 0.01$) with more than 30% differences between extreme values. Both variables, NI and FT were negatively correlated in 60%. The results showed different preferences for the evaluated plant hybrids between adults and nymphs and the differences in phenols concentration could represent an ecological advantage for those with the greatest concentration.

Key words: *Gerbera x hybrida*, antioxidants, Total phenols, *Trialeurodes vaporariorum*

INTRODUCCIÓN

Las rutas metabólicas de las plantas son sensibles a los factores de estrés biótico y abiótico tales como alta intensidad de luz, calor, sequía y enfermedades y plagas entre otros, los cuales incrementan los radicales libres entre tres y diez veces provocando daños irreversibles e incluso muerte celular. Para contrarrestar dichos efectos, la planta tiene mecanismos antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos; el primero, incluye a enzimas como superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa y glutatión reductasa; mientras que el mecanismo no enzimático está representado por productos del metabolismo primario con moléculas de bajo peso molecular como los tocoferoles, glutatión y ácido ascórbico (Mitler, 2002) y también por productos del metabolismo secundario como los compuestos fenólicos, los cuales además de funcionar como agentes antioxidantes su acumulación puede ser tóxica para algunas plagas (Bennett y Wallsgrove, 1994; Mitchell-olds y Pedersen, 1998). Uno de los efectos fisiológicos más relevantes de los fenoles es la astringencia, basada en su capacidad de formar complejos con proteínas y mucopolisacáridos. Por lo tanto, una planta que acumula fenoles en sus hojas produce un efecto desagradable en el herbívoro predador. Así, una población de herbívoros puede ejercer una presión selectiva hacia los vegetales de su entorno, según sugiere la teoría actual de la coevolución animal-vegetal (Maestro-Durán, *et al.*, 1993). 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. Adicionalmente, los mecanismos de defensa de las plantas pueden ser clasificados en dos categorías: constitutivos e inducidos (Mithöfer y Boland 2012). La defensa constitutiva siempre está presente, independientemente de la presencia o ausencia de un daño, muchas respuestas son constitutivas, tales como compuestos tóxicos que son sintetizados y almacenados en ciertos tejidos vegetales. En contraste las defensas inducidas solo son activadas cuando es necesario. Por ejemplo, después del ataque de un herbívoro (Mithöfer y Maffei, 2016). Casi todas las reacciones inducidas implican reacciones químicas de defensa. En esta situación las plantas tienen que reconocer la presencia de su atacante e inducir una cascada de señales como respuesta (Mithöfer y Maffei, 2016). Por ejemplo, dentro de los mecanismos de defensa inducidos en maíz, se ha estudiado la acumulación de metabolitos tóxicos, repelentes o inhibidores nutricionales como respuesta directa al ataque de una plaga, así como la atracción de enemigos naturales o la comunicación planta-planta como respuestas indirectas (Barros-Ríos *et al.*, 2011). Particularmente en especies vegetales de importancia comercial como las especies florícolas, la presencia de compuestos como los fenólicos representan una oportunidad para el agricultor al tener la posibilidad de identificar variantes que limiten la incidencia de insectos y en consecuencia disminuyan el uso de pesticidas y costos de producción. En la región florícola del sur de Estado de México, la gerbera ocupa el cuarto lugar en importancia económica y el desarrollo de nuevos materiales a partir de hibridación intraespecífica representa una disminución en los costos de adquisición de material vegetal, el cual históricamente ha sido de importación. No obstante, el desarrollo de nuevas variedades requiere caracterización a diferentes niveles de sus atributos que garanticen por una parte su identificación y registro y por la otra identificación de caracteres sobresalientes para programas de mejoramiento, tal como la resistencia a la mosca blanca, *T. vaporariorum*, identificada como el principal problema fitosanitario de dicha especie en la

región. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la incidencia de *T. vaporariorum* y su relación con el contenido fenoles totales de nueve genotipos de gerbera (*Gerbera x hybrida*), siete de ellos desarrollados en la región florícola del sur del Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se hizo en diciembre de 2016 en invernaderos y laboratorios del Centro Universitario UAEM Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México, que se localizan en el Km 1.5 de la carretera Tenancingo-Villa Guerrero a 18° 97' 03" N y 99° 61' 17" O y a una altitud de 2200 msnm. El experimento consistió en la evaluación de siete híbridos identificados como OPERA, S-63, S-10, S-181, S-203, 27-12, S-31 todos ellos desarrollados por Rivera (2015) a partir de materiales de tres casas comerciales de Holanda e Italia, así como también las variedades comerciales DINO y COMPLETA. Dichos materiales, que en observaciones preliminares mostraron variabilidad contrastante en la susceptibilidad a mosca blanca, fueron obtenidos por micro propagación para garantizar su sanidad y uniformidad y cuando las plántulas tuvieron 15 cm de altura y al menos 5 hojas verdaderas fueron establecidas bajo invernadero en macetas de plástico de 20L con sustrato de peat moss y agrolita previamente desinfectado en relación 3:1(v/v) y a pH de 6.5 ajustado con cal agrícola. El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar con 10 repeticiones. La infestación con *T. vaporariorum* fue por invasión natural del insecto que se manifestó a los 60 después del establecimiento. Los genotipos se evaluaron en etapas tempranas de desarrollo fenológico cuando la roseta de la planta tuvo 8 hojas fotosintéticamente activas denotado por su foliolo completamente expandido. Se midieron la incidencia del insecto y contenido de fenoles totales. El grado de incidencia se midió por el número de adultos y ninfas (sin considerar instar) por centímetro cuadrado al centro del envés de la hoja de cada repetición (modificado de Morales y Cermeli, 2007). Para la determinación bioquímica, muestras de 200 mg de hoja fueron maceradas en 10 ml de metanol (50%) e incubadas a 100 °C por cinco minutos para posteriormente ser centrifugadas a 5400 rpm por 5 minutos. El sobrenadante se separó y almacenó a 4 °C hasta su posterior uso. La determinación de fenoles totales se hizo por el método Folin-Ciocalteu (FC), reacción colorimétrica de óxido reducción de los compuestos fenólicos y cuantificada espectrofotométricamente a 765nm. Posteriormente a alícuotas de 0.15 ml 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 dejaron reposar en la oscuridad por 30 min. Las mediciones se hicieron tomando como patrón ácido gálico (10mg en 10ml metanol al 50%) con intervalos de concentración de 0.005 ml. Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de la muestra analizada. El análisis de los resultados se hizo mediante análisis de la varianza, comparación de medias y correlación múltiple.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) para la incidencia de adultos entre híbridos, pero no para ninfas (Figura 1). La relación extrema de infestación de adultos entre híbridos fue de 5:1 entre S-181 y COMPLETA respectivamente; en tanto que para ninfas fue de 4: 1 entre valores extremos de S-31 y S-203 respectivamente. Dentro de

híbridos no se observó una relación directa entre ninfas y adultos y en general el número de ninfas fue mayor al de adultos, con proporciones de hasta 3:1, lo que sugiere preferencias distintas entre adultos y ninfas. Resultados similares, pero con colonización de *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) son reportados por Taggar *et al.*, (2012) en genotipos diferentes de lenteja negra, *Vigna mungo* L (HEPPER).

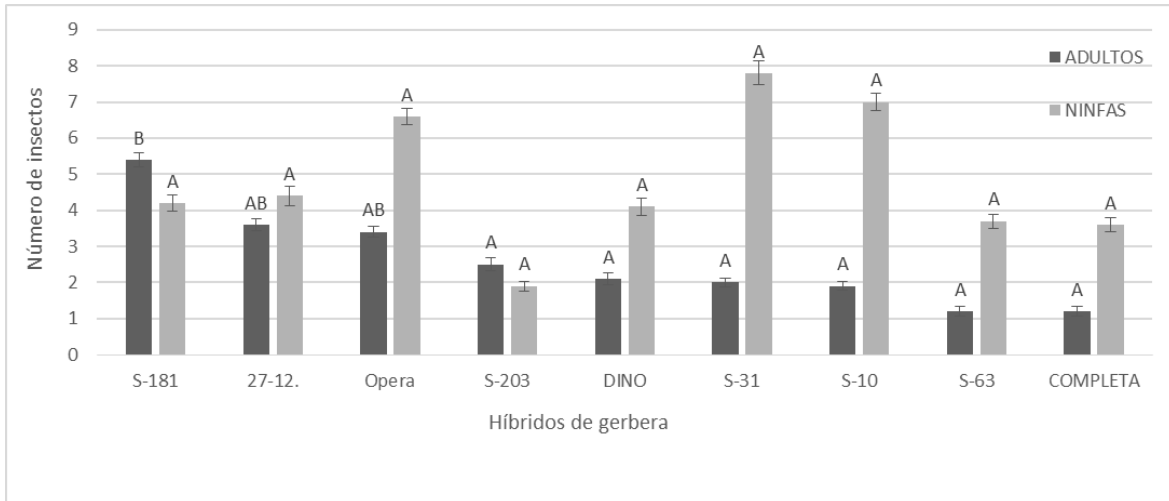


Figura 1. Número de ninfas y adultos contabilizados por centímetro cuadrado en hojas fotosintéticamente activas de *T. vaporariorum*

Similarmente, el contenido de fenoles totales (FT) entre los híbridos de gerbera fue estadísticamente significativo ($\alpha \leq 0.01$) con diferencias de más del 30% entre valores extremos correspondientes a los genotipos S-63 y COMPLETA (Figura 2). El valor de regresión para el contenido de fenoles totales fue de $R=0.90$. En la misma figura se grafica el número total de insectos (ninfas más adultos) y se detecta en general una tendencia opuesta al contenido de fenoles totales con un valor de regresión de $R=0.16$. No se determinó el contenido de fenoles totales en plantas sin infestación ni daño de mosca blanca u otro insecto para establecer si hay posibles efectos de inducción del metabolito o si este es constitutivo en la planta, que en el caso de aquellos híbridos con mayor concentración pudiera conferir una ventaja ecológica contra el estrés biótico (Gardner *et al.*, 1999; Khatun *et al.*, 2009; Coruh y Ercisli, 2010); así como también criterio de caracterización como nuevo material y fuente potencial para nuevas hibridaciones.

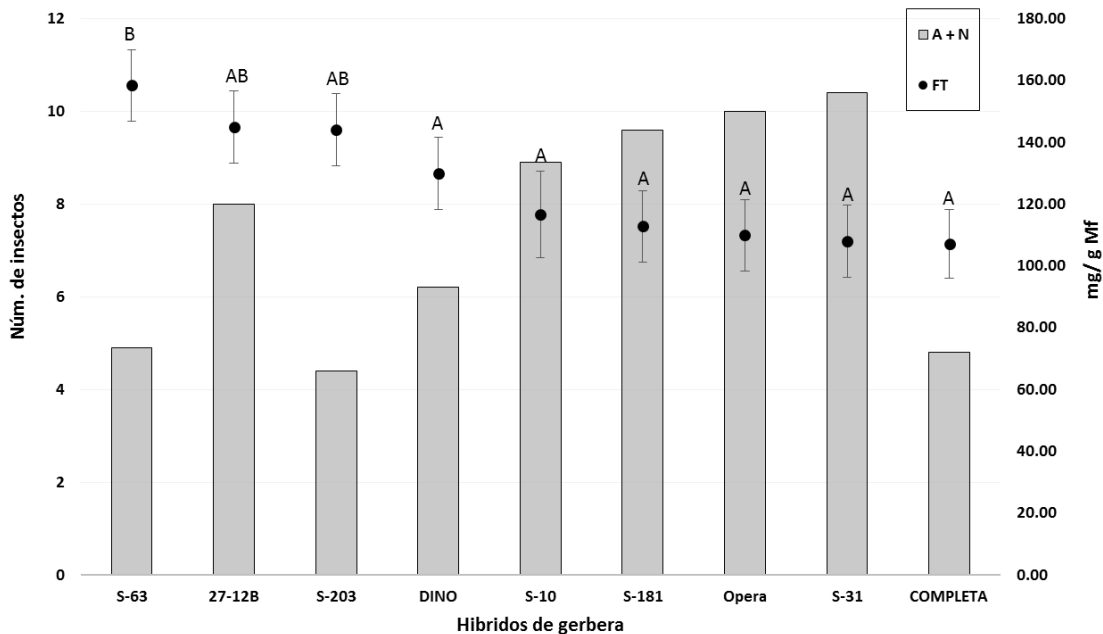


Figura 2. Tendencias de número de insectos de *T. vaporariorum* (adultos más ninfas) y contenido de fenoles totales en hojas fotosintéticamente activas de nueve híbridos de gerbera (*Gerbera x híbrida*). FT= Fenoles totales (expresados en mg de ácido gálico/ g de materia fresca); A+N= adultos + ninfas. En los puntos de FT se indica el error standard.

Otras moléculas antiestrés de los metabolismos primario y secundario (terpenos, taninos y aceites esenciales) de carácter constitutivo e inducido, así como estructuras morfológicas (estomas, ceras, glándulas, grosor de hoja, etc.) también pueden influir en la atracción o repelencia a insectos (Graham et al., 2008; Flores et al., 2011).

El análisis de correlación entre cinco variables confirma la relación opuesta entre fenoles y número de insectos (Cuadro 1), en el cual los valores de correlación fueron todos negativos entre las poblaciones insectiles y los contenidos de fenoles con valor promedio superior al 50%, lo que sugiere una importante contribución de estos metabolitos en la defensa de la planta contra la infestación de mosca blanca. Otros elementos bioquímicos y morfológicos en los materiales de gerbera requieren adicionalmente ser explorados dentro de una compleja relación entre parasito y huésped (Hernández- Sánchez *et al.*, 2002; Vivanco et al., 2005).

Cuadro 1. Matriz de correlación Pearson de cinco variables medidas en 9 híbridos de *Gerbera x hybrida*.

	FT	Adultos	Ninfas	A + N	(A+N)/2
FT	1.0				
Adultos	-0.25	1.0			
Ninfas	-0.59	0.08	1.0		
A + N	-0.60	0.62	0.84**	1.0	
(A+N)/2	-0.60	0.62	0.84**	1.0	1.0

FT= Fenoles totales; A+N= adultos más ninfas; (A+N) /2= promedio de adultos más ninfas.
 **= valores altamente significativos

CONCLUSIONES

Se observaron diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) entre híbridos por incidencia de adultos, pero no de ninfas, lo que sugiere preferencias distintas entre adultos y ninfas. El contenido de fenoles totales entre híbridos de gerbera se correlacionó negativamente en 60% con la incidencia de mosca blanca (adultos más ninfas) y la naturaleza de este metabolito constitutivo o inducido en los híbridos con mayor concentración pudiera representarles una ventaja ecológica sobre otros materiales con menor concentración en la resistencia al ataque de *T. vaporariorum*.

AGRADECIMIENTOS

Santa Mayra Alcantar-Acosta agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento con beca de escolaridad para estudios de maestría periodo 2016-2018.

LITERATURA CITADA

- Barros-Ríos, J., Malvar, R. A., y Santiago, R. (2011). Función de la pared celular del maíz (*Zea mays* L.) como mecanismo de defensa frente a la plaga del taladro (*Ostrinia nubilalis* Hub. y *Sesamia nonagrioides* Lef.). *Revista de Educación Bioquímica*, 30(4): 132-142.
- Bennett, R. N., and Wallsgrove, R. M. (1994). Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New phytologist*, 127(4): 617-633.
- Coruh, S., and Ercisli S. (2010). Interactions between galling insects and plant total phenolic contents in *Rosa canina* L. genotypes. *Science Research Essays*, 5: 1935-1937.
- Flores C. R., Mendoza V. R., Landeros F. J., Cerna C. E., Robles B. A., e Isiordia A. N. (2011). Caracteres morfológicos y bioquímicos de *Rosa x hybrida* contra *Tetranychus urticae* Koch en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3: 473-482.
- Gardner, S. N., Agrawal, A. A., Gressel, J., and Mangel, M. (1999). Strategies to delay the evolution of resistance in pests: dose rotations and induced plant defenses. *Aspects of Applied Biology*, 53: 189-196.

- Graham, M. A., Silverstein, K. A., and Vanden Bosch, K. A. (2008). Defensin-like genes: genomic perspectives on a diverse superfamily in plants. *Crop science*, 48(Supplement_1): S3-S11.
- Hernández-Sánchez, E., Soto-Hernández, M., Rodríguez-Alcázar, J., y Colinas León, T. (2002). Contenido de fenoles y actividad enzimática asociados con el daño provocado por cenicilla en hojas de durazno. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25: 153-160.
- Khatun, S., Bandyopadhyay, P. K., and Chatterjee, N. C. (2009). Phenols with their oxidizing enzymes in defence against black spot of rose (*Rosa centifolia*). *Asian Journal of Experimental Sciences*, 23(1): 249-252.
- Maestro-Durán, R., León, R., y Ruíz-Gutiérrez, V. (1993). Los compuestos fenólicos en la autodefensa de los vegetales. *Grasas y Aceites de Sevilla*, 44: 365-369.
- Mitchell-Olds, T., and D. Pedersen. (1998). The molecular basis of quantitative genetic variation in central and secondary metabolism in *Arabidopsis*. *Genetics* 149: 739-747.
- Mithöfer, A. and Boland, W. (2012). Plant defense against herbivores: chemical aspects. *Annual review of plant biology*, 63: 431-450.
- Mithöfer, A., and Maffei, M. E. (2016). General Mechanisms of Plant Defense and Plant Toxins. In *Plant Toxins* (pp. 1-22). Springer.
- Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant Science*, 7(9):405-410
- Morales, P., y Cermeli, M. (2007). Evaluación de la preferencia de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius)(Hemiptera: Aleyrodidae) en cinco cultivos agrícolas. *Entomotropica*, 16(2): 73-78.
- Rivera C. A. (2015). Generación de híbridos de Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus). Tesis de Maestría. Centro Universitario UAEM Tenancingo. Tenancingo, Estado de México. México.
- Sierra, V. P., L. F. Quiroga y E. H. Varón. 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.
- Taggar, G. K., Gill, R. S., Gupta, A. K., and Sandhu, J. S. (2012). Fluctuations in peroxidase and catalase activities of resistant and susceptible black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) genotypes elicited by *Bemisia tabaci* (Gennadius) feeding. *Plant signaling & behavior*, 7(10): 1321-1329.
- Vivanco, J. M., Cosío, E., Loyola-Vargas, V. M., y Flores, H. E. (2005). Mecanismos químicos de defensa en las plantas. *Investigación y ciencia*, 34(2): 68-75.

12.2 ARTICULO PUBLICADO II.

ACTIVIDAD ENZIMÁTICA DE LAS PEROXIDASAS EN *Gerbera x hybrida* CON INCIDENCIA DE *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, 1856 (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE)

Resumen. Las plantas para contrarrestar el estrés por insectos inducen respuestas de defensa como las enzimas antioxidantes. Las enzimas peroxidasas (POX) pueden catalizar la biosíntesis de lignina de la pared celular, lo que implica una barrera al daño por insectos como la mosca blanca, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, 1856 (Hemiptera: Aleyrodidae). La gerbera, *Gerbera x hybrida*, entre poblaciones, manifiesta variación natural a la infestación por *T. vaporariorum*, elemento intrínseco que posibilita resistencia o susceptibilidad a plagas. El objetivo de esta investigación fue evaluar la actividad enzimática de las peroxidasas en diez genotipos de gerbera, sin (SI) y con (CI) incidencia de mosca blanca. Se analizaron el número de adultos y ninfas, y la actividad enzimática mediante espectrofotometría, en un diseño de bloques al azar. Los resultados mostraron diferencias significativas ($P > 0.0001$) en la actividad enzimática de las POX en SI y CI. Constitutivamente, SI de mosca blanca todos los híbridos presentaron variación en la actividad enzimática de las POX ($P > 0.0001$). En promedio, hubo un incremento en la actividad enzimática de las POX del 262% de SI a CI de la mosca blanca. Ambas variables CI y POX se correlacionaron negativamente en 55%, lo que sugiere una participación importante de la enzima en la resistencia o susceptibilidad a la mosca blanca.

Palabras clave: Gerbera, mosca blanca, mecanismos de defensa, variación natural.

PEROXIDASE ENZYMATIC ACTIVITY IN *Gerbera x hybrida* WITH INCIDENCE OF *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) (HEMIPTERA: ALEYRODIDAE)

Abstract. Plants to cope with insect stress induce defense responses such as antioxidant enzymes. Peroxidase enzymes (POX) can catalyze in cell wall lignin biosynthesis as a barrier to insect damage such as whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, 1856 (Hemiptera: Aleyrodidae). The gerbera, *Gerbera x hybrida* among populations shows natural variation to the infestation by *T. vaporariorum*, intrinsic element that could confer resistance or susceptibility to pests. The objective of this research was to evaluate the enzymatic POX activity in ten gerbera genotypes, without (SI) and with (CI) incidence of whitefly. The number of adults and nymphs, and the enzymatic activity by spectrophotometry in a random block design, were analyzed. The results showed significant differences ($P < 0.0001$) in SI and CI of the enzymatic POX activity. Constitutively, without incidence of whitefly (SI), all hybrids showed variation in enzymatic POX activity ($P > 0.0001$). On average, there was an increase in enzymatic POX activity of 262% from SI to CI of whitefly. Both CI and POX variables were negatively correlated in 55%, which suggests a key participation of the enzyme in the resistance or susceptibility to the whitefly.

Keywords: Gerbera, whitefly, defense mechanisms, natural variation.

INTRODUCCIÓN

Las plantas y los insectos han coexistido por al menos 100 millones de años y han desarrollado gran variedad de interacciones, frecuentemente, las plantas son dañadas por

los insectos (Stotz *et al.*, 1999). Las plantas invierten gran parte de su energía para protegerse contra plagas, y han desarrollado mecanismos de defensa que incluyen barreras físicas y/o químicas para minimizar el daño (Camarena, 2009; Sandhyarani y Usha, 2013). Estas respuestas pueden ser: *constitutivas*, es decir siempre están presentes independientemente de la presencia o ausencia de un daño; o *inducidas*, las cuales solo son activadas cuando es necesario, por ejemplo, después del ataque de un insecto (Mithöfer y Boland, 2012; Mithöfer y Maffei, 2016). Casi todas las reacciones inducidas implican reacciones químicas de defensa. En esta situación, las plantas tienen que reconocer la presencia de la plaga y desencadenar una cascada de señales para inducir respuestas (Mithöfer y Maffei, 2016).

La producción de Especies Reactivas de Oxígeno (ERO) en las plantas se da como respuesta de defensa a estímulos externos, tales como daño mecánico, infección por patógenos o la alimentación por herbívoros, incluso por factores abióticos (Benezer-Benezer *et al.*, 2008). Altos niveles de ERO, tales como el superóxido (O_2^-) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), inactivan enzimas y dañan importantes componentes celulares (Arora *et al.*, 2002). Para contrarrestar el estallido de la oxidación debido a la producción de ERO, las plantas tienen mecanismos de defensa antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos; el primero, incluye a enzimas como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), peroxidasas (POX); mientras que el mecanismo no enzimático está representado por productos del metabolismo primario con moléculas de bajo peso molecular como los tocoferoles, glutatión y ácido ascórbico (Mittler, 2002) y también por productos del metabolismo secundario como los compuestos fenólicos (Rehman *et al.*, 2012). Enzimas como las peroxidasas participan en la resistencia relacionada con el estrés, en la detoxificación de peróxidos y en la síntesis de polímeros de pared celular (lignina y suberina), que constituyen barreras físicas para estrés biótico y abiótico (Dicko *et al.*, 2005). La actividad enzimática de las peroxidasas en especies vegetales se modifica como mecanismo de defensa a insectos, específicamente, plantas con estrés por incidencia de mosca blanca, aumentan la actividad enzimática de las peroxidasas en comparación de plantas control (Taggar *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2016).

T. vaporariorum es una plaga polífaga que causa daños a nivel mundial, el uso indiscriminado de insecticidas dirigidos hacia su control ha ocasionado serios problemas ambientales y riesgos para la salud (Cardona *et al.*, 2005). La resistencia varietal de las plantas contra el daño por insectos se considera un método potencial para reducir y controlar plagas (Cardona y Sotelo, 2005), en consecuencia, disminuir el uso de pesticidas y costos de producción. El objetivo de esta investigación fue medir la actividad enzimática de las peroxidasas en diez genotipos de gerbera (*Gerbera x hybrida*) con infestación de *T. vaporariorum*.

MATERIALES Y MÉTODO

Localización del experimento. La investigación se realizó de junio a diciembre de 2017, en invernaderos y laboratorio de fisiología vegetal del Centro Universitario UAEM Tenancingo de la Universidad Autónoma del Estado de México, que se localizan en el Km 1.5 de la carretera Tenancingo-Villa Guerrero a 18° 97' 03'' N y 99° 61' 17'' O y a una altitud de 2200 msnm.

Material biológico. Se emplearon 10 híbridos de gerbera, obtenidos por micro propagación, siete desarrollados por Rivera (2015), identificados como, Sofia (Sof), Estrella (Est), Andrea (And), Magda (Mag), Lisieka (Lis), Carmín (Car) y Morelia (Mor); y tres híbridos comerciales de nombre Dino (Din), Opera (Ope) y Completa (Com). Cuando las plántulas, en cultivo *in vitro*, tuvieron dos meses fueron establecidas bajo invernadero en macetas de plástico de 20 L con sustrato peat moss y perlita expandida (2:1 [v/v]) para la horticultura, previamente desinfectado.

Incidencia de la mosca blanca. La infestación con *T. vaporariorum* en gerbera fue por invasión natural del insecto que se manifestó a los 100 días aproximadamente después del establecimiento del cultivo. Para determinar la incidencia del insecto, se cuantificaron todos los estados ninfales por el envés de la hoja en un cm², el cual se ubicó en el centro de la hoja; y el número de adultos por hoja (modificado de Morales y Cermeli, 2007).

Actividad enzimática de peroxidasas (EC 1. 11. 1.7): Se evaluó la actividad enzimática de la POX en gerbera sin incidencia (SI) (septiembre) y con incidencia (CI) (noviembre) de mosca blanca, de acuerdo al método descrito por Anderson *et al.*, (1995). Muestras de hoja madura, de gerbera (50 mg) se maceraron en una proporción de 1 g por 4 mL con buffer de extracción el cual contenía 50 mM de fosfato de potasio pH 7.2, 1 mM de ácido etilen diamino tetracético (EDTA) y 1% de polyvinylpirrolidona (PVP). Posteriormente, se centrifugaron a 6000 rpm durante cinco minutos, el sobrenadante se usó para cuantificar la actividad enzimática de la POX. La determinación de la actividad enzimática se realizó en un buffer de mezcla de reacción a 25°C que contenía 50 mM de fosfato de sodio pH 7.0, 3.33 mM de guaiacol, 4 mM de H₂O₂ y 0.020 mL del sobrenadante de la muestra en un volumen final de 3 mL. Como blanco o solución de referencia 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 minutos en intervalos de 30 segundos (coeficiente de extinción del guaiacol $\epsilon = 26.6 \text{ Mm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, en la ecuación $\text{nmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$). Actividad enzimática POX= (Abs) (ϵ) (volumen final ensayo/volumen de la muestra) (mg de proteína).

Diseño experimental y análisis estadístico. El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar con 10 repeticiones. El análisis de los resultados incluyó análisis de la varianza ($\alpha=0.05$), comparación de medias Duncan y correlación múltiple, con el empleo del programa estadístico Info Stat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia de *Trialeurodes vaporariorum*. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.0001$) en la ocurrencia de adultos y ninfas de mosca blanca entre los diez híbridos de gerbera evaluados.

La comparación de medias para incidencia de adultos de mosca blanca (Duncan, $\alpha=0.05$) estadísticamente señaló dos grupos, categorizados por su incidencia baja (Completa, Andrea, Opera, Dino, Sofia, Morelia Carmín, Estrella y Magda) y alta (Lisieka). Los contrastes de incidencia de adultos del insecto fueron en proporción de 0 a 23 entre valores extremos, que corresponden a Completa y a Lisieka, respectivamente (Figura 1).

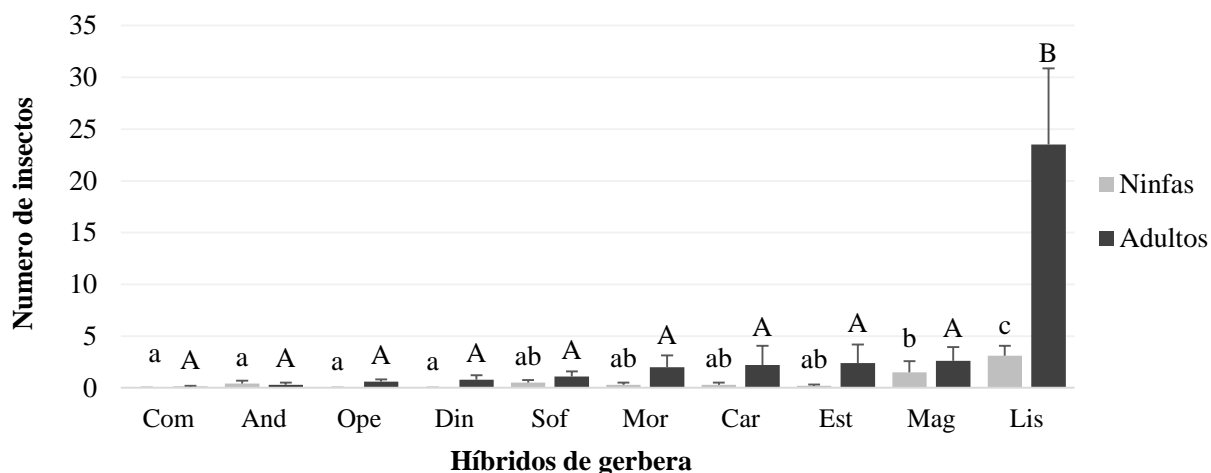


Figura 1. Incidencia de ninfas (número de individuos/cm²) y adultos (hoja completa) de *T. vaporariorum* en hojas maduras de *Gerbera x hybrida*, en etapa fenológica inicio de emisión de capitulo floral (noviembre). Comparación de medias con letras minúsculas= ninfas; comparación de medias con letras mayúsculas= adultos.

La ocurrencia de ninfas fue en proporción directa a los adultos de la mosca blanca. Las diferencias que se encontraron entre valores extremos fueron de 0 a 3 entre Completa y Lisieka, respectivamente. No obstante, hubo variación de incidencia ninfal entre los híbridos evaluados. La comparación de medias (Duncan, $\alpha=0.05$) categorizó cuatro grupos por incidencia ninfal como baja (Completa, Andrea, Opera y Dino), moderada baja (Sofía, Morelia, Carmín y Estrella), moderada (Magda), y alta (Lisieka). Estos resultados son similares a los reportado en genotipos de lenteja negra (*Vigna mungo*) con colonización de *Bemisia tabaci* (Taggar *et al.*, 2012). Al respecto, Sierra *et al.* (2014), demostraron un comportamiento de atracción y disuasión de la mosca blanca hacia ciertos genotipos de aguacate, debido a componentes intrínsecos de las plantas. De igual manera, genotipos evaluados de *Lycopersicon hirsutum* presentan cierta variación genética de resistencia a la mosca blanca *T. vaporariorum* (Bas *et al.*, 1992).

Actividad enzimática de las Peroxidasas. La actividad enzimática de la POX en gerbera fue estadísticamente significativa ($P=0.0001$), en las mediciones sin incidencia (SI) y con incidencia (CI) de mosca blanca. Constitutivamente, todos los híbridos presentaron variación en la actividad enzimática de la POX sin el estímulo de la mosca blanca, las diferencias fueron en proporciones de 1:19 entre valores extremos correspondientes a Morelia y Dino. En la evaluación CI de mosca blanca, de igual manera, se encontró variación de respuesta en la actividad enzimática de la POX entre los híbridos (Figura 2). En promedio, se observó un incremento del 262% de SI a CI de mosca blanca. Los híbridos Morelia y Lisieka proporcionalmente incrementaron POX en 1470 y 435% respectivamente, de SI a CI, sin embargo, en términos de POX fueron los que presentaron valores menores, lo cual sugiere que mecanismos alternos de defensa pudieran estar involucrados, y/o pudieran ser más susceptibles a este insecto. En contraste, híbridos como Dino y Completa que, SI de mosca blanca presentaron alta actividad enzimática de la POX, sólo tuvieron un incremento del 0.5 y 10%, respectivamente a la condición CI, estos valores se mantuvieron con una alta actividad enzimática de la POX con respecto a la mayoría de los otros materiales vegetales confiriéndoles el carácter de resistente a *T. vaporariorum*. Un caso particular fue el híbrido Carmín, que inicialmente presentó moderada actividad

enzimática de la POX y CI de *T. vaporariorum* incrementó hasta un 134% y resultó ser el híbrido con la mayor actividad enzimática de la POX, lo que indica que existe una respuesta enzimática como defensa contra la incidencia de mosca blanca.

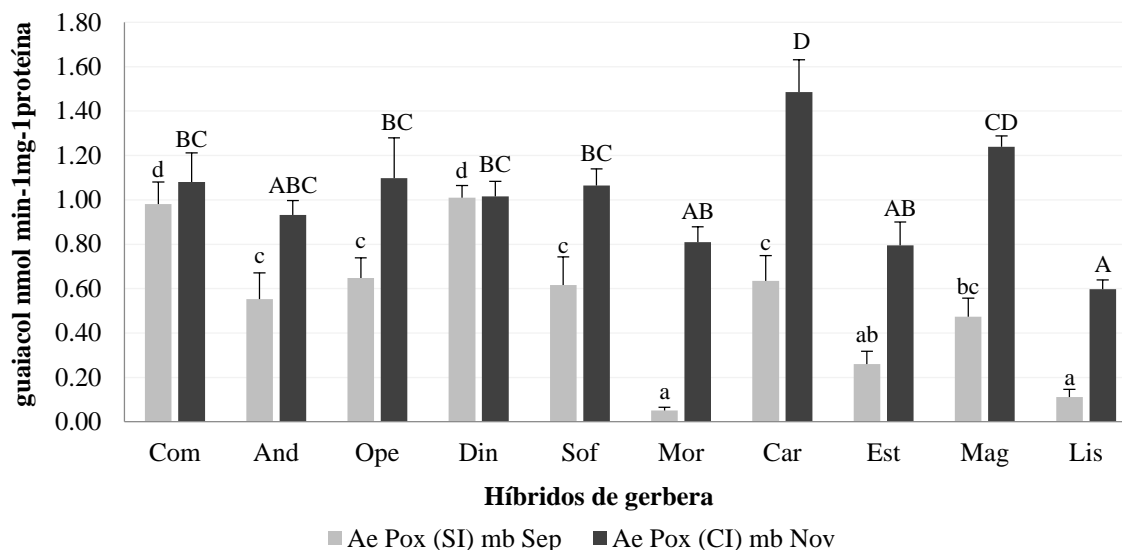


Figura 2. Actividad enzimática de la peroxidasa (POX) en hojas fotosintéticamente activas de *Gerbera x hybrida*; sin (SI) y con (CI) incidencia de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*. Comparación de medias con letras minúsculas= SI; comparación de medias con letras mayúsculas= CI.

Las plantas inducen respuestas de defensa para contrarrestar el estrés por insectos, enzimas antioxidantes están involucradas en estas respuestas de defensa (Zhang *et al.*, 2008). En especies vegetales como lenteja negra (*Vigna mungo* L.) la actividad enzimática de las POX se induce, mostrando un mayor incremento en los genotipos resistentes al estrés de la mosca blanca *Bemisia tabaci*, que aquellos susceptibles (Taggar *et al.*, 2012). Similarmente, en plantas de tabaco la actividad enzimática de las POX, incrementó después de la incidencia de *B. tabaci*, en comparación de las plantas control (Zhao *et al.*, 2016). Insectos como lepidópteros y áfidos, también inducen un aumento en la actividad de dicha enzima en su hospedante (War *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2014). Particularmente, en gerbera se ha reportado un incremento en la actividad enzimática de la POX bajo condiciones de estrés (Lai *et al.*, 2007). Las enzimas peroxidases desempeñan un papel importante en la resistencia relacionada con el estrés, participan la síntesis de polímeros de pared celular (lignina y suberina), destoxifican peróxidos producidos a causa del estrés oxidativo en las plantas y además en asociación con fenoles producen fenoxi y otros radicales oxidativos que actúan como elementos disuasorios de alimentación y/o producen toxinas que reducen la digestibilidad del tejido vegetal hacia los insectos (Dicko *et al.*, 2005; War *et al.*, 2011). La capacidad constitutiva y de respuesta de los genotipos de gerbera para aumentar la actividad enzimática de la POX después de la incidencia de *T. vaporariorum* sugiere que inducen este mecanismo de defensa para contrarrestar el daño del insecto y les confiere cierta resistencia.

Por otro lado, la actividad enzimática de la POX se correlacionó negativamente con la incidencia de mosca blanca, ninfas (-0.42), adultos (-0.56), y adultos más ninfas (-0.55), lo que sugiere una participación importante de dichas enzimas en la regulación del daño por

insectos (Cuadro 1). Otras investigaciones reportan correlaciones negativas de estas variables (Taggar *et al.*, 2012).

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

	<i>Ninfas</i>	<i>Adultos</i>	<i>A + n</i>	<i>Ae POX</i>
<i>Ninfas</i>	1.0			
<i>Adultos</i>	0.92*	1.0		
<i>A + n</i>	0.94*	0.99*	1.0	
<i>Ae POX</i>	-0.42	-0.56	-0.55	1.0

A + n= Adultos más ninfas; **Ae POX**= Actividad enzimática de la Peroxidasa*= valores altamente significativos.

CONCLUSIONES

La variación encontrada en la actividad enzimática de las peroxidasas tanto con incidencia como sin incidencia de *T. vaporariorum*, sugiere una respuesta diferencial natural entre los genotipos de gerbera evaluados. La incidencia de la mosca blanca en gerbera incrementó de manera generalizada la actividad de la enzima POX, lo que indica una participación importante de la enzima en el mecanismo de defensa hacia el insecto. La correlación negativa entre la actividad enzimática de la POX y la incidencia del *T. vaporariorum*, señala que los genotipos de gerbera que presentaron mayor actividad enzimática tuvieron una menor fluctuación del insecto. Los genotipos Din y Com mostraron actividad enzimática POX alta con y sin incidencia de mosca blanca lo que representa una defensa constitutiva y una ventaja ecológica con respecto a los demás.

AGRADECIMIENTOS

Santa Mayra Alcantar-Acosta agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento para estudios de maestría periodo 2016-2018.

LITERATURA CITADA

- Anderson, D. M., P. K. Tottempudi and R. C. Stewart. 1995. Changes in Isoenzyme Profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in Mesocotyls of Maize Seedlings. *Plant Physiology*, 109: 1247-1257.
- Arora, A., R. K. Sairam, and G. C. Srivastava. 2002. Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current science*, 82 (10):1227-1238.
- Bas, N., C. Mollema, and P. Lindhout. 1992. Resistance in *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum* to the greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) increases with plant age. *Euphytica*, 64 (3): 189-195. DOI: 10.1007/BF00046048.
- Benezer-Benezer, M., E. Castro-Mercado, y E. García-Pineda. 2008. La producción de Especies Reactivas de Oxígeno durante la expresión de la resistencia a enfermedades en plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 26 (1): 56-60.

- Camarena, G. G. 2009. Señales en la interacción planta-insecto. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15 (1): 81-85.
- Cardona, C., I. V. Rodríguez, J. M. Bueno y X. Tapia. 2005. Biología y manejo de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* en habichuela y frijol. *Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT*, Boletín CIAT, 50p.
- Cardona, C.; y G. Sotelo. 2005. Mecanismos de resistencia a insectos: naturaleza e importancia en la formulación de estrategias de mejoramiento para incorporar resistencia a salivazo en Brachiaria. *Pasturas Tropicales*, 27 (2): 2-9.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. 2016. InfoStat versión 2016. *Grupo InfoStat*, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dicko, H. M., H. Gruppen, C. Barro, A. S. Traoke, J. H. W. Van Berkel and A. G. J. Voragen. 2005. Impact of phenolic compounds and related enzymes in sorghum varieties for resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *Journal of Chemical Ecology*, 31(11): 2671-2688. DOI: 10.1007/s10886-005-7619-5
- Mithöfer, A., and E. M. Maffei. 2016. General Mechanisms of plant defense and plant toxins. *In plant toxins*, (1-22) Springer. DOI: 10.1007/978-94-007-6728-7_21-1
- Mithöfer, A., and W. Boland. 2012. Plant defense against herbivores: chemical aspects. *Annual Review of Plant Biology*, 63: 431-450. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042110-103854.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9): 405-410. DOI: 10.1016/S1360-1385(02)02312-9
- Morales, P., y M. Cermeli, 2007. Evaluación de la preferencia de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemíptera: Aleyrodidae) en cinco cultivos agrícolas. *Entomotrópica*, 16(2): 73-78.
- Lai Q. X., Z. Y. Bao, Z. J. Zhu., Q. Q. Qian, and B. Z. Mao. 2007. Effects of osmotic stress on antioxidant enzymes activities in leaf discs of PSAG12-IPT modified gerbera. *Journal of Zhejiang University Science B*. 8(7): 458-464. DOI: 10.1631/jzus.2007.B0458
- Rehman, F., F. A. Khan and S. M. A. Badruddin. 2012. Role of phenolics in plant defense against insect herbivory. Pp. 309-313. *In: L. Khemani, M. Srivastava, and S. Srivastava (Eds.). Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives*. Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-23394-4_65
- Rivera, C. A. 2015. Generación de híbridos de gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México.
- Sandhyarani, U., and P. R. Usha. 2013. Insect herbivory induced foliar oxidative stress: Changes in primary compounds, secondary metabolites and reactive oxygen species in sweet potato *Ipomoea batata* (L). *Allelopathy Journal*, 31 (1): 157-168.
- Sierra P. V., L. F. Quiroga., E. H. Varón. 2014. Preferencia de mosca blanca (*Paraleyrodos* sp.) por cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Fresno, Tolima. *Corpoica Ciencia Tecnológica Agropecuaria*, 15(2): 197-206
- Stotz, U. H., J. Kroymann and T. Mitchell-Olds. 1999. Plant insect interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 2:268-272.
- Taggar, G. K., R. S. Gill, A. K. Gupta and J. S. Sandhu. 2012. Fluctuations in peroxidase and catalase activities of resistant and susceptible black gram (*Vigna mungo* (L.)

- Hepper) genotypes elicited by *Bemisia tabaci* (Gennadius) feeding. *Plant signaling & Behavior*, 7 (10): 1321-1329 DOI: 10.4161/psb.21435
- Tscharntke, T., S. Thiessen, R. Dolch, and W. Boland. 2001. Herbivory, induced resistance, and interplant signal transfer in *Alnus glutinosa*. *Biochemical Systematics and ecology*, 29:1025-1047
- War, A. R., M. G. Paulraj, M. Y. War, and S. Ignacimuthu, 2011. Herbivore and elicitor induced resistance in groundnut to Asian armyworm, *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Plant Signaling & Behavior*, 6(11): 1769-1777. DOI: 10.4161/psb.6.11.17323
- Xu X. L., Y. D. Zhang, Y. G. Fu, F. P. Lu, H. Lu, and Q. Cheng. 2014. Effect of aphid invasion on protective enzyme activities of different watermelon varieties. *Northern Horticulture*. 01. Disponible en: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotall-BFYY201401034.htm
- Zhang S. Z., B. Z. Hua, F. Zhang. 2008. Induction of the activities of antioxidative enzymes and the levels of malondialdehyde in cucumber seedlings as a consequence of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation. *Arthropod-Plant Interactions*, 2: 209-213 DOI: 10.1007/s11829-008-9044-5
- Zhao, H., X. Sun, M. Xue, X. Zhang, and Q. Li. 2016. Antioxidant enzyme responses induced by whiteflies in tobacco plants in defense against aphids: Catalase May Play a Dominant Role. *PloS one*, 11(10): 1-17. DOI: /10.1371/journal.pone.0165454

XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. doi: 10.1271/bbb.62.661
- Acharya, A. K., Baral, D. R., Gautam, D. M., & Pun, U. K. (2010). Influence of seasons and varieties on vase life of gerbera (*Gerbera jamesonii* Hook.) cut flower. *Nepal Journal of Science and Technology*, 11, 41-46.
- Ainsworth, A. E., & Gillispie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, 2(4), 875-877. doi: 10.1038/nprot.2007.102
- Alcantar-Acosta, S. M., (2012). Identificación e incidencia de especies de mosca blanca en cultivos ornamentales en Tenancingo, Estado de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México, Tenancingo, Edo. de México, México.
- Alcantar-Acosta, S. M., Rivera-Colín, A., Mora-Herrera, M. E., Aguilar-Medel, S., & Mejía-Carranza, J. (2017). Incidencia de *Trialeurodes vaporariorum* West. (Hemiptera: Aleyrodidae) y su relación con el contenido de fenoles totales en híbridos de gerbera. *Entomología mexicana*, 4, 341-346.
- Almagro, L., Gómez, R. L. V., Belchi-Navarro, S., Bru, R., Ros Barcelo, A., & Pedreño, M. A. (2009). Class III peroxidases in plant defence reactions. *Journal of Experimental Botany*, 60(2), 377-390. doi: 10.1093/jxb/ern277
- Alvarado-Navarro, R., Alcantar-Acosta, S. M., Aguilar-Medel, S., Palma-Linares, V., Vásquez-García, L. M., & Mejía-Carranza, J. (2012). Diversidad de rosa cultivada y su relación con la presencia y severidad de daño de

- mosca blanca en el sur del Estado de México. *Entomología mexicana*, 11(2), 709-714.
- Álvarez, P. A., & Abud, A. J. (1995). Reporte de República Dominicana. *Ceiba*, 36(1), 39-47.
- Álvarez, G. M. (2015). Resistencia a insectos en tomate (*Solanum* spp.). *Cultivos Tropicales*, 36 (2), 100-110.
- Alves, A. P. C., Corrêa, A. D., Alves, D. S., Saczk, A. A., Lino, J. B., & Carvalho, G. A. (2014). Toxicity of the phenolic extract from jabuticabeira (*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg) fruit skins on *Spodoptera frugiperda*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(2), 200-204. doi: 10.4067/S0718-58392014000200011
- Anderson, M. D., Prasad, T. K., & Stewart, C. R. (1995). Changes in isoenzyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. *Plant Physiology*, 109(4), 1247-1257. doi: 10.1104/pp.109.4.1247
- Andrade, G. J. A., & Castro, D. P. (2018). Redes migratorias en el mercado de trabajo de la floricultura en el Estado de México (México). *Revista de Antropología Social*, 27(1), 145-168. doi: 10.5209/RASO.59436.
- Arora, A., Sairam, R. K., & Srivastava, G. C. (2002). Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science*, 82(10), 1227-1238.
- Ávalos, G. A. & Pérez-Urria, C. E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal*, 2(3), 119-145.
- Avello, M., & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea (Concepción)*, (494), 161-172.

- Avissar, Y., Choi, J., Desaix, J., Jurukovski, V., Wise, R., & Rye, C. (2013). *Biology*. Openstax College USA: Houston, Texas 1551p. ISBN-13 978-1-938168-09-3.
- Bañon, A. S., Gonzalez B. G. A., Fernandez, H. A., & Cifuentes, R. D. (1993). *Gerbera, liliium, tulipán y rosa*. (1ª ed). España: Mundi-Prensa.
- Barros-Ríos, J., Malvar, R. A., & Santiago, R. (2011). Función de la pared celular del maíz (*Zea mays* L.) como mecanismo de defensa frente a la plaga del taladro (*Ostrinia nubilalis* Hüb. y *Sesamia nonagrioides* Lef.). *Revista de Educación Bioquímica*, 30(4), 132-142.
- Bas, N., Mollema, C., & Lindhout, P. (1992). Resistance in *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum* to the greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) increases with plant age. *Euphytica*, 64(3), 189-195. doi: 10.1007/BF00046048
- Bautista, I., Boscaiu, M., Lidón, A., Linares, V. J., Lull, C., Donat, M. P. et al. (2016). Environmentally induced changes in antioxidant phenolic compounds levels in wild plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(1), 9. doi: 10.1007/s11738-015-2025-2
- Benezer-Benezer, M., Castro-Mercado E., & García-Pineda E. (2008). La producción de Especies Reactivas de Oxígeno durante la expresión de la resistencia a enfermedades en plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 26(1), 56-61.
- Benfey, P. N., & Mitchel-Olds, T. (2009). From genotype to phenotype: systems biology meets natural variation. *Science*, 320(5875), 495-497. doi: 10.1126/science.1153716

- Bennett, N. R. & Wallsgrove, R. M. (1994). Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytologist*, 127, 617-633. doi: 10.1111/j.14698137.1994.tb02968.x
- Berndt, O., & 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
- Bi, J. L., & Felton, G. W. (1995). Foliar oxidative stress and insect herbivory: primary compounds, secondary metabolites, and reactive oxygen species as components of induced resistance. *Journal of Chemical Ecology*, 21(10), 1511-1530. doi: 10.1007/BF02035149
- Borghi, B., & Baldi, V. (1970). Variabilità tra cloni di Gerbera (*Gerbera jamesonii*) allevati in diverse condizioni ambientali. *Sementi elette*, 6.
- Broekgaarden, C., Snoeren, T. A., Dicke, M., & Vosman, B. (2011). Exploiting natural variation to identify insect-resistance genes. *Plant Biotechnology Journal*, 9(8), 819-825. doi: 10.1111/j.1467-7652.2011.00635.x
- Camarena, G. G. (2009). Señales en la interacción planta insecto. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(1), 81-85.
- Carapia, R. V. E., & Castillo-Gutiérrez, A. (2013). Estudio comparativo sobre la morfología de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Acta Zoológica Mexicana*, 29(1), 178-193.
- Cardona, C., & Sotelo, G. (2005). Mecanismos de resistencia a insectos: naturaleza e importancia en la formulación de estrategias de mejoramiento

- para incorporar resistencia a salivazo en *Brachiaria*. *Pasturas Tropicales*. 27(2), 2-11.
- Cardona, C., Rodríguez, I. V., Bueno, J. M., & Tapia, X. (2005). Biología y manejo de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* en habichuela y frijol. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*; Department for International Development (DFID) No. 345 Colombia. 54p
- Castresana, J., Gagliano, E., Puhl, L., Bado, S., Vianna, L., & Castresana, M. (2008). Atracción del trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) con trampas de luz en un cultivo de *Gerbera jamesonii* (G.). *Idesia (Arica)*, 26(3), 51-56.
- Cavaiuolo, M., Cocetta, G., & Ferrante, A. (2013). The antioxidants changes in ornamental flowers during development and senescence. *Antioxidants*, 2(3), 132-155. doi:10.3390/antiox2030132.
- Cipollini, D. F., & Redman, A. M. (1999). Age-dependent effects of jasmonic acid treatment and wind exposure on foliar oxidase activity and insect resistance in tomato. *Journal of Chemical Ecology*, 25(2), 271-281.
- Cosio, C., & Dunand, C. (2009). Specific functions of individual class III peroxidase genes. *Journal of Experimental Botany*, 60(2), 391-408. doi: 10.1093/jxb/ern318
- Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., & Massarini, A. (2013). *Curtis Biología* (7a ed.). México: Editorial Medica Panamericana.
- Danaee, E., Mostofi, Y. & Moradi, P. (2011). Effect of GA₃ and BA on postharvest quality and vase life of gerbera (*Gerbera jamesonii*. Cv. Good Timing) cut

- flowers. *Horticulture Environment Biotechnology*, 52(2), 140-144. doi: 10.1007/s13580-011-1581-7
- Dat, J., Vandenabeele, S., Vranová, E., Van Montagu, M., Izné, D., & Van Breusegem, F. (2000). Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and molecular life sciences CMLS*, 57(5), 779-795. doi:10.1007/s000180050
- De la Rosa, L. A., Álvarez-Parrilla, E., & González-Aguilar, G. A. (2010). *Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability*. (1^a ed.) USA: Wiley-Blackwell, 382 pp.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2016). InfoStat versión 2016. *Grupo InfoStat*, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dicko, M. H., Gruppen, H., Barro, C., Traoré, A. S., Van Berkel, W. J., & Voragen, A. G. (2005). Impact of phenolic compounds and related enzymes in sorghum varieties for resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *Journal of Chemical Ecology*, 31(11), 2671-2688. doi: 10.1007/s10886-005-7619-5
- Elomaa, P., & Teeri, T. H. (2001) Transgenic *Gerbera*. In: Bajaj, Y. P. S. (Eds.) Transgenic Crops III. *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, 48, Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-662-10603-7_11
- Fagerstedt, K. V., Kukkola, E. M., Koistinen, V. V., Takahashi, J., & Marjamaa, K. (2010). Cell wall lignin is polymerised by class III secretable plant

- peroxidases in Norway spruce. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52(2), 186-194. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.00928.x
- García L. S., Burt, J. A., Serratos, J. A., Pontones, D. D., Arnason, T. J., Bergvinson, D. J. (2003). Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* (Motsch, Coleoptera: Curculionidae): Mecanismos y bases de la resistencia. *Revista de Educación Bioquímica*, 22, 138-145.
- Goławska, S., Krzyżanowski, R., & 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
- González-Aguilar, S., & Zavaleta-Mancera, A. (2012). El CaCl₂ en la vida florero de gerbera: pigmentos, fenoles, lignina y anatomía del escapo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(3), 539-551
- Grigelmo-Miguel, N., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2010). Methods of analysis of antioxidant capacity of phytochemicals. In: De la Rosa, L. A., Álvarez-Parrilla, E., & González-Aguilar, G. A. (Ed.), *Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability*. (1^a ed., pp 271-307). USA: Wiley-Black well.
- Guleria, S. J. (2013). Field efficacy of biopesticides and pesticide combinations against whitefly infesting gerbera. *Munis Entomology & Zoology*, 8(2), 895-899.

- Hansen, H. V. (1985). A taxonomic revision of the genus *Gerbera* (Compositae, Mutisieae) sections *Gerbera*, *Parva*, *Piloselloides* (in Africa), and *Lasiopus*. *Opera Botanica*, 78, 5-36
- Hansen, H. V. (1999). A story of the cultivated gerbera. *New Plantsman*, 6, 85-95.
- Hartley, S. E., & Firn, R. D. (1989). Phenolic biosynthesis, leaf damage, and insect herbivory in birch (*Betula pendula*). *Journal of Chemical Ecology*, 15(1), 275-283.
- He, J., Chen, F., Chen, S., Lv G., Deng, Y., Fang, W., et al. (2011). Chrysanthemum leaf epidermal surface morphology and antioxidant and defense enzyme activity in response to aphid infestation. *Journal of Plant Physiology*, 168, 687-693. doi: 10.1016/j.jplph.2010.10.009
- Hicks, G. J. J. (2003). Enzimas. In: Hicks, G. J. J (Ed.), *Bioquímica*. (1^a ed., pp 84-114). México: Mc Graw Hill Interamericana.
- 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.
- Hiraga, S., Sasaki, K., Ito, H., Ohashi, Y., & Matsui, H. (2001). A large family of class III plant peroxidases. *Plant Cell Physiology*, 42(5), 462-468. doi: 10.1093/pcp/pce061
- Huang, T. I., Reed, D. A., Perring, T. M., & 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., & Wu, T. L. (2009). Response of enzyme activity and secondary metabolites of different soybean genotypes to *Aphis glycines* Matsumura invasion. *Soybean Science*, 1, 104-107.
- Jiao, X., Xie, W., Wang, S., Wu, Q., Zhou, L., Pan, H., & Zhang, Y. (2012). Host preference and nymph performance of B and Q putative species of *Bemisia tabaci* on three host plants. *Journal of Pest Science*, 85(4), 423-430.
- 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. doi: 10.1111/j.1365-3040.2011.02399.x
- Kerwin, R., Feusier, J., Corwin, J., Rubin, M., Lin, C., Muok, A., Larson, B., Li, B. H., Joseph, B., Francisco, M., Copeland, D., Weinig, C., & Kliebenstein, D. J. (2015). Natural genetic variation in *Arabidopsis thaliana* defense metabolism genes modulates field fitness. *Elife* 4. doi: 10.7554/eLife.05604
- Kogan, M., & Ortman, E. F. (1978). Antixenosis—a new term proposed to define Painter's "nonpreference" modality of resistance. *Bulletin of the ESA*, 24(2), 175-176. doi: 10.1093/besa/24.2.175
- Krisps, O. E., Willems, P. E. L., Gols, R., Posthumus, M. A., Gort, G., & 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*. *Journal of Chemical Ecology*. 27(7), 1355-1372. doi: 10.1023/A:1010313209119.

- Kroymann, J., Donnerhacke, S., Schnabelrauch, D., & Mitchell-Olds T. (2003). Evolutionary dynamics of an *Arabidopsis* insect resistance quantitative trait locus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(suppl 2), 14587-14592. doi: 10.1073/pnas.1734046100.
- Lai, Q. X., Bao, Z. Y., Zhu Z. J., Qian, Q. Q. & Mao, B. Z. (2007). Effects of osmotic stress on antioxidant enzymes activities in leaf discs of PSAG12-IPT modified gerbera. *Journal of Zhejiang University Science B*. 8(7): 458-464. doi: 10.1631/jzus.2007.B0458.
- Lattanzio, V. (2013). Phenolic compounds: Introduction. Phytochemistry, Botany and Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes. In: Ramawat, K., Merillon, J. M. (Eds.), *Natural products*. (pp 1543-1580). Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-22144-6_57
- Lattanzio, V., Lattanzio, V. M., T. & Cardinali, A. (2006). Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. *Phytochemistry: Advances in research*, 661(2), 23-67.
- Lé, C. L. (2000). El cultivo de gerbera. *FAVE*, 14(1), 67-71.
- Levin, D. A. (1973). The role of trichomas in plant defense. *The Quarterly Review of Biology*, 48(1), 3-15.
- López, S. N., Viscarret, M. M., & Botto, E. N. (1999). Selección de la planta hospedera y ciclo de desarrollo de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae) sobre zapallito (*Cucurbita maxima* Duch.; Cucurbitales: Cucurbitaceae) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.; Tubiflorales: Solanaceae). *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*, 25, 21-29.

- López-Nicolás, J. M., & García-Carmona, F. (2010). Enzymatic and Nonenzymatic degradation of polyphenols. In: De la Rosa L. A., Alvarez-Parrilla E. & González-Aguilar, G. A. (Ed.), *Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability*. (1ª ed., pp 101-130). USA Wiley-Black well.
- Lucatti, A. F., Alvarez, A. E., Machado, C. R., & Gilardón, E. (2010). Resistance of tomato genotypes to the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (West.) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Neotropical entomology*, 39(5), 792-798.
- Mader, S. S. (2008). *Biología* (9a ed.). México: Mc Graw Hill Interamericana editores S. A. de C. V.
- Maestro-Durán, R. L., & Ruíz-Gutiérrez, V. (1993). Los compuestos fenólicos en la autodefensa de los vegetales. *Grasas y Aceites de Sevilla*. 44, 365-369.
- Maffei, M. E., Mithöfer, A., & Boland, W. (2007). Insects feeding on plants: rapid signals and responses preceding the induction of phytochemical release. *Phytochemistry*, 68(22-24), 2946-2959. doi: 10.1016/j.phytochem.2007.07.016
- Maffei, M. E., Mithöfer, A., Arimura, G., Uchtenhagen, H., Bossi, S., Berteà, M. C. et al. (2006). Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on Lima bean leaves. III. Membrane depolarization and involvement of hydrogen peroxide. *Plant Physiology*, 140, 1022-1035. doi: 10.1104/pp.105.071993.
- Marín-Loaiza, J. C., & Céspedes, C. L. (2007). Compuestos volátiles de plantas. Origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 327-351.

- Martínez, E. M. G., Segovia, I. F., & López, A. F. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%EDnez%20et%20al.pdf?sequence=1>
- Mckee, T., & Mckee, J. (2003). *Enzimas*. In: Mckee, T., & Mckee, J. (Eds.), *Bioquímica, la base molecular de la vida*, (3a ed., pp. 161-198). Madrid España: Mc Graw Hill Interamericana.
- Mello, M. O., & Silva-Filho, M. C. (2002). Plant-insect interactions: an evolutionary arms race between two distinct defense mechanisms. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14(2), 71-81.
- Mitchell, C., Brennan, R. M., Graham, J., & Karley, A. J. (2016). Plant defense against herbivorous pests: exploiting resistance and tolerance traits for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1132. doi: 10.3389/fpls.2016.01132.
- Mithöfer, A., & Boland, W. (2012). Plant defense against herbivores: chemical aspects. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 431-450. doi: 10.1146/annurev-arplant-042110-103854
- Mithöfer, A., & Maffei, E. M. (2016). General Mechanisms of plant defense and plant toxins. In: Gopalakrishnakone, P., Carlini, C., Ligabue-Braun, R. (Eds). *Plant toxins. Toxinology*. (pp 1-22) Springer. doi: 10.1007/978-94-007-6728-7_21-1
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410. doi: 10.1016/S1360-1385(02)02312-9.

- Morales, P., & 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.
- Oraee, T., Asghar, Z. A., Kiani, M., & Oraee, A. (2011). The role of preservative compounds on number of bacteria on the end of stems and vase solutions of cut gerbera. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 1(3), 161-165.
- Orozco, H. M. E. (2007). Between local and global competitiveness: commercial floriculture in the state of Mexico. *Convergencia*, 45, 100-150.
- Orozco, H. M. E., & Mendoza, M. M. (2003). Competitividad local de la agricultura ornamental en México. *CIENCIA ergo-sum*, 10(1), 29-42.
- 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
- Ortega-Arenas, L. D., Fu, C. A. A., Lourencao L. A., Rodríguez H. C., Gomes Q. D. C., García, V. F., et al. (2008). *Moscas blancas, temas selectos sobre su manejo*. (8ª ed.) Colegio de Posgraduados. México: Mundi-prensa.
- Parrella, D., Melicharek, A., & Murdock, M. (2014). Evaluation of greenhouse whitefly control in gerbera Daisy, 2012. *Arthropod Management Tests*, 39 (1). doi: 10.4182/amt.2014.G1
- Parvatha, P. R. (2016). Sustainable crop protection under protected cultivation. India: Springer. doi: 10.1007/978-981-287-952-3

- Passardi, F., Cosio, C., Penel, C., & Dunand, C. (2005). Peroxidases have more functions than a swiss army knife. *Plant Cell Response*, *24*, 255-265. doi: 10.1007/s00299-005-0972-6
- Passardi, F., Longet, D., Penel, C., Dunand, C. (2004). The class III peroxidase multigenic family in rice and its evolution in land plants. *Phytochemistry*, *65*, 1879-1893. doi: 10.1016/j.phytochem.2004.06.023
- Pérez, E. P., Ettiene, G., Marín, M., Padron, A. C., Silva, N., Raga, J., et al., & Medina, D. (2014). Determinación de fenoles y flavonoides totales en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, *31*(1).
- Pérez, T. C. (2009). Cultivo de gerbera (*Gerbera* spp.). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Producción Agrícola, Santiago de Chile.
- Pérez-Sandoval, I., Aguilar-Medel, S., Rodríguez-Maciel, C. y Vásquez, G. L. M. (2011). Respuesta de la mosquita blanca *Trialeurodes vaporariorum* Westwood a insecticidas usados en cultivos ornamentales del Estado de México. *Entomología Mexicana*. *10*, 667-776.
- Pichersky, E., & Lewinsohn, E. (2011). Convergent evolution in plant specialized metabolism. *Annual Review of Plant Biology*, *62*, 549–66. doi: 10.1146/annurev-arplant-042110-103814.
- Prado, J., Quesada, C., Gosney, M., Mickelbart, M. V., & Sadof, C. (2015). Effects of Nitrogen Fertilization on Potato Leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae) and Maple Spider Mite (Acari: Tetranychidae) on Nursery-Grown

- Maples. *Journal of Economic Entomology*, 108(3), 1221-1227. doi: 10.10-93/jee/tov105
- Prashanth, P., Sekhat, R. C., Reddy, K. C. S. (2010). Influence of floral preservatives on scape bending, biochemical changes and post harvest vase life of cut gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus ex. Hook). *Asian Journal of Horticulture*, 5(1), 1-6.
- Polack, L. A. (2005). Manejo integrado de moscas blancas. *Boletín hortícola*, 10, 31.
- Rani, P. U., & Jyothsna, Y. (2010). Biochemical and enzymatic changes in rice plants as a mechanism of defense. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(4), 695-701. doi: 10.1007/s11738-009-0449-2
- Rehman, F., Khan, F. A., & Badruddin, S. M. A. (2012). Role of phenolics in plant defense against insect herbivory. In: L. Khemani, M. Srivastava, and S. Srivastava (Eds.). *Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives* (pp. 309-313). Springer Berlin Heidelberg.
- Reid, S. M. (2009). Poscosecha y manejo de las flores de corte. *Ediciones HortiTecnia Ltda, Colombia*. Obtenido de: <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-1905.pdf>
- Rivera, C. A. (2015). Generación de híbridos de Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México, Tenancingo, Edo. de México. México.
- Romeis, J., Meissle, M., & Bigler, F. (2006). Transgenics crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nature Biotechnology*, 24(1), 63-71. doi: 10.1038/nbt1180

- Rowe, H. C., & Kliebenstein, J. D. (2008). Complex genetics control natural variation in *Arabidopsis thaliana* resistance to *Botrytis cinerea*. *Genetics*, *180*, 2237-2250. doi: 10.1534/genetics.108.091439.
- Rudnicki, R. M., & Nowak, J. (2015). Vase-life of *Gerbera jamesonii* Bolus cut flowers depending upon media, mineral nutrition, their morphological attributes and treatment with flower preservative. *Acta Agrobotanica*, *29*(2), 289-296.
- Ruíz, S. E., Rosado, C. A. T., Chan, C. W., Alejo, J. C. & Munguía, R. R. (2009). Patogenicidad de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin sobre estados inmaduros de mosquita blanca *Bemisia tabaci* Genn. *Fitosanidad*, *13*(2), 89-93.
- Ruuhola, T., & Yang, S. (2005). Wound-induced oxidative responses in mountain birch leaves. *Annals of Botany*, *97*(1), 29-37. doi: 10.1093/aob/mcj005
- Saldúa, V., & Castro, A. M. (2011). Expresión de la antibiosis y de la antixenosis contra el pulgón negro de los cereales (*Sipha maydis*) en cultivares comerciales de trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, *110*(1), 1-11.
- Saltveit, M. E. (2010). Synthesis and metabolism of phenolic compounds. In: De la Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E. & González-Aguilar, G. A. (Ed.), *Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability*. (1^a ed., pp 89-115). USA: Wiley-Black well.
- Sandhyarani, U., & 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 Journal*, 31(1), 157-168.
- Satoh, S. (2011). Ethylene production and petal wilting during senescence of cut carnation (*Dianthus caryophyllus*) flowers and prolonging their vase life by genetic transformation. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 80(2), 127-135.
- Scotta, R. R., Sánchez, D. A. E., & Arregui, M. C. (2014). Determinación de las pérdidas causadas por la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) en cultivos de tomate bajo invernadero. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 13(1), 29-34.
- Senapati, A. K., Prajapati, P., & Singh, A. (2013). Genetic variability and heretability studies in *Gerbera jamesonii* Bolus. *African Journals of Agricultural Research*, 8(41), 5090-5092. doi: 10.5897/AJAR2013.8038.
- Sepúlveda, J. G. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3), 355-363.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP). (2016). Cierre de la producción agrícola. Consultado 22-05-18, en: http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- Shalaby, S., & Horwitz, A. B. (2015). Plant phenolic compounds and oxidative stress: integrated signals in fungal-plant interactions. *Current Genetics*, 61, 347-357. doi: 10.1007/s00294-014-0458-6.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants

- under stressful conditions. *Journal of Botany*, 2012. doi: 10.1155/2012/217037
- Shigeto, J., & Tsutsumi, Y. (2016). Diverse functions and reactions of class III peroxidases. *New Phytologist*, 209(4), 1395-1402. doi: 10.1111/nph.13738.
- Sierra, V. P., Quiroga, L. F., & 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.
- Smith, H. A., Nagle, C. A., MacVean, C. A., & McKenzie, C. L. (2016). Susceptibility of *Bemisia tabaci* MEAM1 (Hemiptera: Aleyrodidae) to imidacloprid, thiamethoxam, dinotefuran and flupyradifurone in south Florida. *Insects*, 7(4), 57. doi: doi.org/10.3390/insects7040057.
- Solomon, E. P., Berg, L. R., & Martin, D. W. (2008). *Biology* (8^a ed.). USA: Thompson Books Cole. 1379 p.
- Stanley, B., & Beck, D. (1965). Resistance of plants to insects. *Annual Reviews Further*, 10, 207-232.
- Stotz, U. H., Kroymann, J., & Mitchell-Olds, T. (1999). Plant insect interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 2(4), 268-272. doi: 10.1016/S1369-5266(99)80048-X
- Surin, U. (2011). Effects of different nutrient solution formulations on yield and cut flower quality of gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture system. *African Journal of Agricultural Research*, 6(21), 4910-4919.

- Sytykiewicz, H., Czerniewicz, P., Sprawka, I., & Krzyżanowski, R. (2013). Chlorophyll content of aphid-infested seedling leaves of fifteen maize genotypes. *Acta Biológica Cracoviensia Series Botánica*, 55(2), 51-60.
- Taggar, G. K., & 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., & Sandhu, J. S. (2012). Fluctuations in peroxidase and catalase activities of resistant and susceptible black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) genotypes elicited by *Bemisia tabaci* (Gennadius) feeding. *Plant Signaling & Behavior*, 7(10), 1321-1329. doi: 10.4161/psb.21435.
- Taggar, G. K., Gill, R. S., Gupta, A. K., & Singh S. (2014). Induced changes in the antioxidative compounds of *Vigna mungo* genotypes due to infestation by *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Journal of Environmental Biology*, 35(6), 1037-1045.
- Tong-Xian, L., Ronald, D. O., & Buntin, G. D. (1993). Distribution of *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on some greenhouse-grown ornamental plants. *Journal of Entomological Science*, 28(1), 102-112. doi: 10.18474/0749-8004-28.1.102. 10.1007/s12600-012-0247-z.
- Torres, R. C., Martínez, C. J. L. & Ramírez S. C. (2000). Informes nacionales IX Taller Latinoamericano y del Caribe sobre Moscas Blancas y Geminivirus. Panamá 74p.

- Trujillo-Villagarcía, B. A., Zavaleta-Mancera, H. A., Mora-Herrera, M. E., & López-Delgado, H. A. (2006). Efecto del CaCl₂ sobre la actividad enzimática antioxidante durante la vida florero de gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolux Ex Hook F.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2).
- Tscharntke, T., Thiessen, S., Dolch, R., & Boland, W. (2001). Herbivory, induced resistance, and interplant signal transfer in *Alnus glutinosa*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 29(10), 1025-1047. doi: 10.1016/S0305-1978(01)00048-5
- Vásquez, C., Egurrola, Z., Valera, R., Sanabria, M. E., & Colmenárez, Y. (2015). Anatomía y química foliar en especies ornamentales de Arecaceae: posibles barreras a la alimentación de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). *Gayana. Botánica*, 72(2), 296-304.
- Velmerris, W., Nicholson, R. (2009). *Phenolic compound biochemistry*. USA: Springer. 284p
- Viegas, J. C. (2003). Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. *Quimica Nova*, 26(3), 390-400.
- Walling, L. L. (2000). The myriad plant responses to herbivores. *Journal of Plant Growth Regulation*, 19(2), 195-216.
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling & behavior*, 7(10), 1306-1320. doi: 10.4161/psb.21663.
- War, A. R., Paulraj, M. G., War, M. Y., & Ignacimuthu, S. (2011). Herbivore and elicitor induced resistance in groundnut to Asian armyworm, *Spodoptera*

- litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Plant Signaling & Behavior*, 6(11), 1769-1777. doi: 10.4161/psb.6.11.17323
- Waterman, P. G. & Mole, S. (1994). Analysis of phenolic plant metabolites. *Blackwell Scientific Publication*, Oxford, 1-238.
- Willan, R. L., Olesen, K., & Barner, H. (1993). La variación natural como base del mejoramiento genético forestal. In: Jara, N. L. F (Ed.), *Mejoramiento forestal y conservación de recursos genéticos forestales*, Tomo 1 pp 174. Costa Rica: Editorial Turrialba.
- Xu, X. L., Zhang, Y. D., Fu, Y. G., Lu, F. P., & Cheng, Q. (2014). Effect of aphid invasion on protective enzyme activities of different watermelon varieties. *Northern Horticulture*. 01. Disponible en: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotál-BFY201401034.htm
- Zavala, J. A. (2010). Respuestas inmunológicas de las plantas frente al ataque de insectos. *Ciencia hoy*, 20(117), 52-59.
- Zhang, S. Z., Hua, B. Z., & Zhang, F. (2008). Induction of the activities of antioxidative enzymes and the levels of malondyaldehyde in cucumber seedlings as a consequence of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation. *Arthropod-Plant Interactions*, 2(4), 209-213. doi: 10.1007/s11829-008-9044-5
- 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(5), 659-67. doi:10.1007/s11829-017-9508-6

Zhao, H., Sun, X., Xue, M., Zhang, X., & 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. doi: 10.1371/journal.pone.0165454.

XIV. ANEXOS

Anexo 1. Cantidades usadas de ácido gálico, reactivo Folin Ciocalteu y carbonato de sodio para la curva estándar de compuestos fenólicos en gerbera.

Concentración final	Agua para un vol. Final de 4.5 ml	Ácido gálico	Reactivo Folin Ciocalteu	Carbonato de Sodio 20 %
0.000 mg	3.850 ml	0.000 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.005 mg	3.845 ml	0.005 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.010 mg	3.840 ml	0.010 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.015 mg	3.835 ml	0.015 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.020 mg	3.830 ml	0.020 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.025 mg	3.825 ml	0.025 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.030 mg	3.820 ml	0.030 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.035 mg	3.815 ml	0.035 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.040 mg	3.810 ml	0.040 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.045 mg	3.805 ml	0.045 ml	0.150 ml	0.5 ml
0.050 mg	3.800 ml	0.050 ml	0.150 ml	0.5 ml

Anexo 2. Cantidades usadas de ácido ascórbico, para la curva estándar de la capacidad antioxidante en gerbera.

Concentración	Agua destilada	Ácido ascórbico	DPPH 250 mM
0.000	750 µL	0 µL	2.25 mL
0.005	745 µL	5 µL	2.25 mL
0.010	740 µL	10 µL	2.25 mL
0.015	735 µL	15 µL	2.25 mL
0.020	730 µL	20 µL	2.25 mL
0.025	725 µL	25 µL	2.25 mL
0.030	720 µL	30 µL	2.25 mL
0.035	715 µL	35 µL	2.25 mL
0.040	710 µL	40 µL	2.25 mL
0.045	705 µL	45 µL	2.25 mL
0.050	700 µL	50 µL	2.25 mL
0.055	695 µL	55 µL	2.25 mL