

CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN DE METABOLITOS EN PLANTAS DE CHILE POR EFECTO DE LA LUZ ULTRAVIOLETA

Mayra Denise Herrera
Luis Eduardo Reveles Saldívar
Silvia Salas Muñoz
Jaime Mena Covarrubias
José Ángel Cid Ríos
Luis Roberto Reveles Torres



Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Zacatecas

Calera de Víctor Rosales, Zacatecas.

Folleto Técnico Núm. 114

Diciembre 2022

ISBN: 978-607-37-1513-3

Registro de Derechos de Autor: 03-2022-120610543300-01



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

iniqap
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

DR. VÍCTOR MANUEL VILLALOBOS ARÁMBULA

Secretario

ING. VÍCTOR SUÁREZ CARRERA

Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

M.V.Z. ARTURO MACOSAY CÓRDOVA

Coordinador General de Ganadería

DR. SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA

Coordinador General de Desarrollo Rural

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

DR. LUIS ÁNGEL RODRÍGUEZ DEL BOSQUE

Encargado del Despacho de los Asuntos Correspondientes
a la Dirección General del INIFAP

DR. ALFREDO ZAMARRIPA COLMENERO

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

DR. LUIS ORTEGA REYES

Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. JOSÉ HUMBERTO CORONA MERCADO

Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE-CENTRO

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Director Regional

DR. FRANCISCO JAVIER PASTOR LÓPEZ

Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS

Director de Administración

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

DR. LUIS ROBERTO REVELES TORRES

Director de Coordinación y Vinculación

Cambios en la concentración de metabolitos en plantas de chile por efecto de la luz ultravioleta

MC. Mayra Denise Herrera

Investigadora del Programa Frijol y Garbanzo
Campo Experimental Zacatecas

LBG. Luis Eduardo Reveles Saldívar

Apoyo técnico
Campo Experimental Zacatecas

Dra. Silvia Salas Muñoz

Investigadora del Programa de Biología Molecular
CONACYT-Campo Experimental Zacatecas

Dr. Jaime Mena Covarrubias

Investigador del Programa de Sanidad Forestal y
Agrícola
Campo Experimental Zacatecas

MC. José Ángel Cid Ríos

Investigador del Programa de Frijol y Garbanzo
Campo Experimental Zacatecas

Dr. Luis Roberto Reveles Torres

Investigador del Programa de Recursos Genéticos
Campo Experimental Zacatecas

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Regional Norte Centro
Campo Experimental Zacatecas

Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México

Diciembre 2022

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C. P. 04010 Ciudad de México.
Teléfono (55) 3871-8700

Derechos Reservados ©

Folleto Técnico Núm. 114

***Cambios en la concentración de metabolitos en
plantas de chile por efecto de la luz ultravioleta***

ISBN: 978-607-37-1513-3

Registro de Derechos de Autor:
03-2022-120610543300-01

Primera Edición 2022

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la institución.

Hecho en México

Contenido

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | Introducción | 1 |
| 2. | Antecedentes..... | 3 |
| 3. | Estrategia experimental..... | 8 |
| | 3.1 Producción de plántulas de chile..... | 8 |
| | 3.2 Establecimiento de la parcela experimental... | 8 |
| | 3.3 Obtención de tejidos vegetales y procesamiento de muestras | 10 |
| | 3.4 Cuantificación de metabolitos en las muestras de diferentes tejidos de chile..... | 11 |
| | 3.4.1 Extracción de compuestos fenólicos | 11 |
| | 3.4.2 Cuantificación de fenoles totales..... | 11 |
| | 3.4.3 Cuantificación de taninos condensados .. | 13 |
| | 3.4.4 Cuantificación de flavonoides totales | 13 |
| | 3.4.5 Cuantificación de antocianinas..... | 14 |
| | 3.5 Análisis estadístico | 16 |
| 4. | Resultados y discusiones | 16 |
| 5. | Conclusiones | 26 |
| 6. | Bibliografía | 28 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 . Parcela experimental con plantas de chile Mirasol con cobertura de malla anti-áfidos... | 9 |
| Figura 2. Tejido foliar y pedúnculo floral de plantas de chile Mirasol sumergidas en nitrógeno para detener procesos metabólicos | 11 |
| Figura 3. Concentración de fenoles totales en raíz, tallo, tejido foliar, flor y frutos de plantas de chile Mirasol | 17 |
| Figura 4. Concentración de flavonoides en raíz, tallo, tejido foliar, flor y frutos de plantas de chile Mirasol | 20 |
| Figura 5. Concentración de taninos condensados en raíz, tallo, tejido foliar, flor y frutos de plantas de chile Mirasol | 21 |
| Figura 6. Concentración de antocianinas en raíz, tallo, tejido foliar, flor y frutos de plantas de chile Mirasol..... | 23 |

1. Introducción

La radiación solar es uno de los recursos más valiosos en la producción agrícola, pues de ella dependen muchos procesos fisiológicos de las plantas, entre los más importantes, la fotosíntesis. En este sentido, cabe aclarar que la luz que conocemos es también llamada radiación fotosintéticamente activa (RFA) o radiación visible y es solo el 40% de la radiación total que incide sobre el planeta. La luz visible comprende longitudes de onda que van desde los 400 a 700 nm (nanómetros) del espectro de radiación; sin embargo, las longitudes de onda por encima o por debajo del rango anterior en grandes intensidades suelen afectar importantes procesos en las plantas (Müller-Xing *et al.*, 2014). La exposición a los rayos leves puede inducir respuestas de aclimatación, mientras que las condiciones de estrés severo causan trastornos metabólicos. Estas adaptaciones se manifiestan en términos de cambios en la arquitectura de la planta (características morfológicas alteradas), características fisiológicas (Yang *et al.*, 2005) y cambios a nivel bioquímico y genético (Tripathi *et al.*, 2011).

En nuestro país existe actualmente una gran demanda por generar conocimientos sobre las medidas de adaptación y mitigación para los sistemas de productos agrícolas nacionales, sin embargo, todavía no existe una evaluación integral y confiable de los impactos de muchas de las variables asociadas al cambio climático sobre los cultivos en general, y para el cultivo de chile en particular, ya que se ha observado una disminución en el crecimiento de las plantas de éste cultivo expuestas a la radiación UV-B (Müller-Xing *et al.*, 2014). El INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) preocupado por medidas de adaptación y mitigación ante éste cambio climático que repercutirá en la agricultura, ha desarrollado proyectos de investigación con el fin de evaluar el impacto de algunas variables relacionadas con éste fenómeno, como lo son los altos niveles de radiación ultravioleta sobre la dinámica de adaptación y desarrollo del cultivo de chile (*Capsicum annuum* L). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la luz ultravioleta sobre la síntesis de compuestos fenilpropanoides en diferentes tejidos de plantas de chile tipo Mirasol.

2. Antecedentes

La luz UV-B ha sido considerada durante mucho tiempo como un factor potencial que causa estrés a organismos vivos. Las plantas, al ser sésiles, están inevitablemente expuestas a radiación UV-B, por lo tanto, han evolucionado para adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales (Nawkar *et al.*, 2013).

Una de las longitudes de onda que están por debajo de la luz visible es la radiación ultravioleta (UV-B) (280 a 320 nm.), y un aumento de ésta debido a la acción antropogénica, puede tener un impacto negativo en el desarrollo vegetativo de las plantas, provocando una disminución de la fotosíntesis, cambios metabólicos, y efectos de la producción de biomasa, entre otros (Müller-Xing *et al.*, 2014). La luz UV se divide en tres tipos, según su longitud de onda y efectos sobre los seres vivos. La luz UV-A (320 a 400 nm), es poco absorbida por el ozono (O₃) de la atmósfera y llega en mayor cantidad a la superficie terrestre, constituyendo una importante señal fotomorfogénica en las plantas y es la menos dañina de las tres. La luz UV más energética y dañina es la UV-C (100 y 280 nm); la cual es la más

absorbida por el oxígeno (O_2) y O_3 , prácticamente no llega a la superficie de la Tierra. La luz UV-B (280 a 320 nm), es medianamente absorbida por el O_2 y O_3 , permitiendo que parte de ella llegue a la superficie terrestre, y tiene ciertos efectos negativos sobre la fisiología de las plantas en grandes intensidades. Ante la destrucción gradual de la capa de O_3 , la cantidad de luz UV-B que incide sobre la tierra ha incrementado hasta los $18 \text{ KJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en algunas regiones, en comparación con los $0-12 \text{ KJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ registrados en los años 70 (Krizek, 2004).

Las plantas como productores primarios dependen totalmente de la radiación solar; la luz es su fuente de energía para realizar la fotosíntesis y llevar a la planta desde la germinación hasta la floración, producción de frutos y cosecha. Sin embargo, la luz no solo es benéfica, ya que también puede tener efectos perjudiciales y destructivos a las plantas, y esto sucede específicamente cuando se trata de la luz ultravioleta (UV), la cual ocasiona daños temporales o irreversibles al proceso de fotosíntesis (Müller-Xing et al., 2014). Por ejemplo, en plantas jóvenes de tomate se

tuvieron daños irreversibles y mortales, tanto a nivel morfológico como fisiológico, cuando las plantas estuvieron expuestas a $3.8 \text{ J m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ de luz UV-C (Castronuovo *et al.*, 2014). También hay reportes de que las plantas de chile reducen significativamente su contenido de clorofila a y b, así como de carotenoides cuando son expuestas a niveles altos de luz UV (Mahdavian *et al.*, 2008).

Sin embargo, no solo se considera a la fotosíntesis como procesos metabólicos afectados por la radiación ultravioleta, también se consideran aquellos relacionados con la síntesis de metabolitos secundarios relacionados con la detoxificación de especies reactivas de oxígeno (Hashim *et al.*, 2021). Por ejemplo, las plantas pueden activar sus mecanismos de defensa y producir pigmentos que absorben esta luz UV (Piri *et al.*, 2011). Uno de los mecanismos de adaptación a radiación UV-B más documentado es el aumento de la producción de metabolitos secundarios tales como fenoles y flavonoides, los que se acumulan en las células de la epidermis de diversas especies vegetales, por ejemplo, *Opuntia ficus-indica* (Herrera *et al.*, 2021)

Phaseolus vulgaris (Herrera, INIFAP-CEZAC. Datos no publicados), y por ser compuestos que absorben radiación entre los 280-360 nm, reducen el efecto deletéreo de la luz UV-B sobre los distintos componentes celulares (Rozema et al., 2002).

Los fenilpropanoides son metabolitos secundarios del tipo fenólico y al igual que los anteriores han sido implicados en la respuesta de defensa contra insectos herbívoros. Dentro de este grupo se encuentran las ligninas, suberinas, estilpironas, estilbenos, cumarinas, furanocumarinas, taninos y flavonoides. La implicancia de los flavonoides en la respuesta a radiación UV-B ha sido informada por distintos investigadores y en especies de plantas tales como *Arabidopsis thaliana*, *Solanum lycopersicum*, *Triticum aestivum*, *Oryza sativa*, *Phaseolus vulgaris*, *Trifolium repens*, *Zea mays*, por citar algunas (Ballaré et al., 1995; Caasi-Lit et al., 1997; Casati y Walbot, 2003; Li et al., 1993; Barabás et al., 1998; Pinto et al., 1999; Hofmann et al., 2000).

El estudio de este fenómeno en el cultivo de chile es importante ya que durante los últimos años (2015-2021), en México, se han destinado en promedio 67 mil hectáreas para la producción de chiles secos, con una producción, valor de la producción y rendimiento promedio de 124 mil toneladas, 7 mil millones de pesos y 1.85 t ha^{-1} , respectivamente (SIAP, 2022). Dentro de los chiles secos, el chile tipo mirasol guajillo (*Capsicum annum* L.) es uno de los más importantes, pues en 2021 se cosecharon aproximadamente 24 mil hectáreas de esta hortaliza con una producción cercana a las 48 mil toneladas y un valor de la producción superior a los 2,500 millones de pesos. La mayor producción de chile mirasol guajillo se concentra en la región del Altiplano Norte-Centro de México, siendo el estado de Zacatecas el más importante, con una superficie cultivada de 16 mil hectáreas en el año 2021 (SIAP, 2022).

3. Estrategia experimental

3.1 Producción de plántulas de chile

La siembra de chile se realizó en charolas de 200 cavidades dentro del invernadero del Campo Experimental Zacatecas del INIFAP, las cuales se establecieron en el mes de marzo bajo las recomendaciones señaladas por Reveles-Hernández et al. (2010) para la aplicación de riegos y nutrición. Las plántulas de chile se trasplantaron cuando presentaron de tres a cuatro hojas verdaderas con una altura de 10 a 20 cm, o después de que la planta cumpliera los 50 días en invernadero.

3.2 Establecimiento de la parcela experimental

Se estableció una parcela experimental con semilla criolla de *C. annuum* tipo Mirasol en el Campo Experimental Zacatecas del INIFAP ubicado a 22° 54' latitud Norte, y 102° 39' longitud Oeste a una altitud media de 2,197 msnm, en el ciclo O-I del 2018; el mismo día del trasplante, algunas plantas de chile fueron cubiertas con mallas anti-áfidos (Agribón, malla porosa

al agua que permite la filtración del 80% de los rayos del sol, según especificaciones de la marca) colocadas sobre arcos de alambazón de 1.8 metros de largo y doblados en semi-círculo (Figura 1). El establecimiento de la parcela se realizó considerando un solo factor (cubierta) con dos niveles: cubierto y descubierto, la parcela fue replicada tres veces. En el muestreo, una planta fue considerada como una unidad experimental (UE), y se tomaron al azar, 3 UE por cada nivel del factor.



Figura 1 . Parcela experimental con plantas de chile Mirasol con cobertura de malla anti-áfidos.

La radiación ultravioleta dentro y fuera de la cubierta se midió con un aparato ultraviolet meter (Fieldsout, Spectrum) con rango de lectura de 0-200 $\mu\text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$. El promedio de lectura de luz ultravioleta dentro y fuera de la cubierta se calculó considerando 10 repeticiones a la altura máxima de las plantas.

La densidad en la parcela fue de tres plantas por metro lineal. Los cuidados de la parcela experimental se realizaron según el paquete tecnológico para la producción de chile Mirasol para secado del INIFAP.

3.3 Obtención de tejidos vegetales y procesamiento de muestras

El muestreo se realizó haciendo cortes del tejido foliar y radicular, tallos, flores y frutos de plantas de chile cubiertas y descubiertas; una vez realizado el corte, el tejido se congeló en nitrógeno líquido con el fin de detener su metabolismo (Figura 2). En laboratorio, los tejidos fueron almacenados a -80°C en un ultracongelador, posteriormente se liofilizaron y molieron con el uso de un molino doméstico (KROPUS)

y se almacenaron en bolsas selladas que se mantuvieron en un lugar fresco y seco hasta su uso.



Figura 2. Tejido foliar y pedúnculo floral de plantas de chile Mirasol sumergidas en nitrógeno para detener procesos metabólicos

3.4 Cuantificación de metabolitos en las muestras de diferentes tejidos de chile

3.4.1 Extracción de compuestos fenólicos

Se realizó una extracción de los compuestos fenólicos mediante el solvente de extracción propuestos por Xu *et al.* (2007), a 1 g de muestra liofilizada se le adicionaron 10 mL de acetona acidificada al 70 % con 0.5 % de ácido acético [(acetona/agua/ácido acético

(70:29.5:0.5 v/v/v)], protegiendo de la luz y agitando durante 24 h, después se centrifugó a 5000 x g durante 10 min a temperatura ambiente, para obtener el sobrenadante.

3.4.2 Cuantificación de fenoles totales

Se empleó el método de Folin Ciocalteu, descrito por Singleton *et al.* (1999). En un tubo de ensayo, se colocaron 40 μ L del extracto obtenido de la muestra, posteriormente se le adicionó agua destilada hasta completar un volumen de 500 μ L, se añadió 250 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu 1N y se agitó. Se dejó reposando por 5 min y se añadió 1.25 mL de carbonato de sodio al 20 % a cada tubo. La lectura de la absorbancia para cada muestra se hizo a 765 nm. La concentración se calculó utilizando una curva estándar equivalente de ácido gálico (0–0.032 mg/mL) y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico/g de muestra seca.

3.4.3 Cuantificación de taninos condensados

Para la cuantificación de taninos condensados se tomaron muestras del extracto acetónico antes mencionado. Se cuantificaron los taninos condensados de acuerdo al ensayo de la vainillina de Desphande y Cheryan (1985). A 100 μ L del sobrenadante obtenido del extracto se agregaron 500 μ L de una solución (1:1) recién preparada de vainillina al 1% en metanol y HCl 8%. Posteriormente, se preparó un blanco al cual se le adicionaron 100 μ L de metanol y 500 μ L de HCl al 4%. Para cuantificar los taninos condensados se midió la absorbancia a 492 nm en un espectrofotómetro. Se utilizó una curva estándar de (+) catequina (0-0.8 mg/ml). La concentración final se expresó como mg equivalentes de (+) catequina/g de muestra seca.

3.4.4 Cuantificación de flavonoides totales

Para la cuantificación de flavonoides totales se realizó la técnica descrita por Liu *et al* (2002), esta técnica se basa en la capacidad del $AlCl_3$ para formar quelatos con flavonoides; sin embargo, algunos de estos

quelatos son inestables a pH ácidos, por lo cual la reacción se lleva a cabo en un medio básico. A 100 μL del extracto se agregaron 1250 μL de agua y 75 μL de una solución de NaNO_2 5%, los tubos se agitaron durante 6 min y posteriormente se adicionó 150 μL de carbonato de aluminio al 10%, se agitó nuevamente durante 5 min y se agregó a la reacción 500 μL de NaOH 1M y 525 μL de agua, se dejó incubando durante 30 min a temperatura ambiente. Para la cuantificación de flavonoides totales se tomó lectura de la absorbancia a 510 nm en el espectrofotómetro. La concentración final se determinó utilizando una curva estándar de (+) catequina (0–0.074 mg/mL) y los resultados se expresaron como mg equivalentes de (+) catequina/g de muestra seca.

3.4.5 Cuantificación de antocianinas

Previo a la cuantificación de antocianinas, se realizó la extracción de estos compuestos. A 0.5 g de muestra se adicionaron 4 mL de etanol acidificado (85 mL de etanol al 95% + 15 mL de HCl 1.0 N), se protegió de la luz y posteriormente se agitó durante 2 min, transcurrido

este tiempo, se ajustó el pH a 1.0 con HCl concentrado, se agitó durante 30 min protegiendo de la luz y finalmente se centrifugó a 10 000 x g durante 20 min a temperatura ambiente para obtener el sobrenadante. La determinación de antocianinas totales se realizó siguiendo el método de Abdel-Aal y Hucl (1999). El sobrenadante del extracto de antocianinas se llevó a un volumen de 10 mL en un matraz aforado usando etanol acidificado. Posteriormente se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a 535 nm. El valor de la absorbancia obtenido se sustituyó en la siguiente fórmula:

$$C = (A/\epsilon) * (V/1000) * PM * (1/g \text{ de muestra} * 106)$$

Donde:

C = concentración de antocianinas totales (mg/kg)

A = absorbancia a 535 nm

ϵ = coeficiente de absortividad molar de cianidina 3-glucósido (25965 cm⁻¹ M⁻¹)

V = volumen total del extracto de antocianinas (mL)

PM = peso molecular de la cianidina 3-glucósido (449 g/mol)

Los resultados se expresaron como mg equivalentes de cianidina 3-glucósido/kg de muestra seca.

3.5 Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante la comparación múltiple de medias con el paquete estadístico JMP (SAS Institute. Cary, NC, EE. UU.). Las medias de tratamiento se agruparon por la prueba estadística de Fisher con $p < 0.05$.

4. Resultados y discusiones

Se ha demostrado que los materiales utilizados en las cubiertas de mallas anti-áfidos pueden absorber y reflejar entre el 40 y el 70% de la radiación UV-B (Legarrea *et al.*, 2010). En este experimento, las plantas descubiertas se cultivaron sin protección contra la luz solar y de factores ambientales bióticos tales como insectos y microorganismos patogénicos ya que fuera de los túneles se identificó la presencia de mosquitos

blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), mosquita de las alas manchadas (*Trialeurodes abutilonea*) y paratrioza (*Bactericera cockerelli*) principalmente; esto está relacionado con un estrés biótico y abiótico inducido, lo que lleva a una síntesis fitoquímica aumentada.

En las Figuras 3 se observa la concentración de fenoles totales (mg eq. de ácido gálico/g) en distintos tejidos de plantas expuestas directamente a la luz solar y de plantas cubiertas con la malla anti-áfidos.

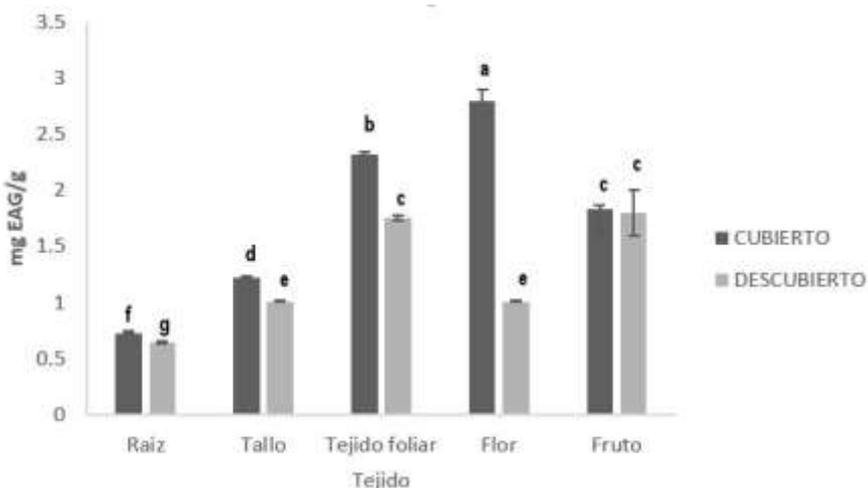


Figura 3. Concentración de fenoles totales en raíz, tallo, tejido foliar, flor y frutos de plantas de chile Mirasol.

Los resultados demuestran que la concentración de polifenoles cambia por la condición de crecimiento, es

decir, si las plantas están expuestas o no a radiación UV-B. En promedio, se observó una radiación de $174.67 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ fuera del túnel justo a la altura máxima de la planta, mientras que dentro del túnel la lectura fue de $116.9 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, lo que indica que la tela agrivelo fue capaz de bloquear el 33% de la radiación ultravioleta total presente. Existen reportes de que las plantas de Chile reducen significativamente su contenido de clorofila a y b, así como de carotenoides cuando son expuestas a niveles altos de luz UV (Mahdavian *et al.*, 2008). Adicionalmente se ha reportado que la exposición a estas emisiones de luz altera el metabolismo de los fenilpropanoides. Bajo este contexto, Tattini *et al.* (2005) mencionan que las plantas expuestas a altas radiaciones solares se someten a ajustes fisiológicos y bioquímicos con una marcada acumulación de polifenoles, ya que estos compuestos tienen funciones protectoras contra los efectos perjudiciales de la luz solar y el estrés por la radiación UV-B.

La concentración de flavonoides en las hojas se incrementó bajo mayor radiación UV-B (Figura 4). La

radiación UV-B induce la síntesis de enzimas clave de la ruta de los fenilpropanoides; por lo tanto, bajo una alta exposición a radiación UV-B, las plantas generalmente aumentan la síntesis de *novo* de flavonoides (Rozema *et al.*, 2002; Searles *et al.*, 2001).

La acumulación de flavonoides, frecuentemente observada en respuesta a radiación UV-B, también ha sido relacionada con su potencial acción antioxidante frente a radicales libres (Hofmann *et al.*, 2000). No obstante, la función antioxidante de los flavonoides es compleja y depende de una variedad de factores, los que incluyen su compartimentalización, potencial redox, presencia de dobles enlaces, glicosilación y niveles de hidroxilación. Los compuestos absorbentes de UV tales como fenoles y flavonoides son inducidos por radiación UV-B, acumulándose preferentemente en las células de la epidermis y son capaces de absorber la radiación UV-B no interfiriendo en la absorción de la radiación fotosintéticamente activa (Landry *et al.*, 1995; Li *et al.*, 1993).

**Cambios en la concentración de metabolitos en plantas de Chile
por efecto de la luz ultravioleta**

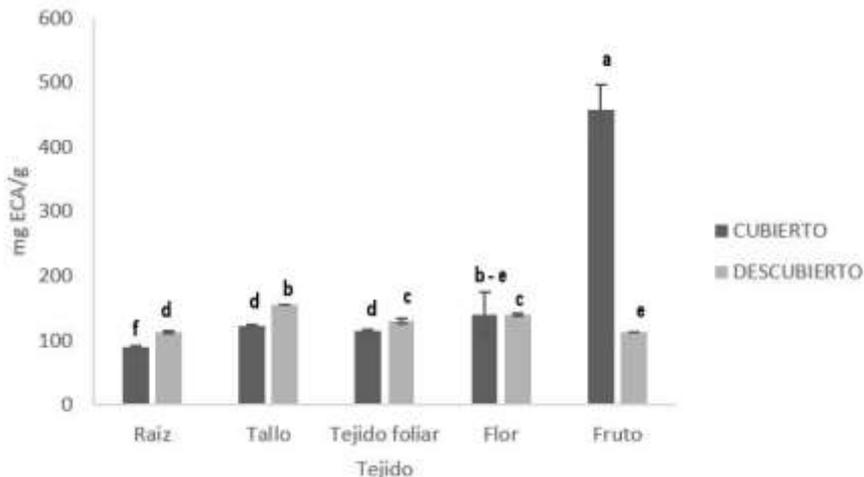


Figura 4. Concentración de flavonoides en raíz, tallo, tejido foliar, flor y frutos de plantas de Chile Mirasol.

La disminución de la concentración de flavonoides tanto en flores como frutos de las plantas expuestas a una mayor radiación UV-B corresponde al alto nivel de flavonoides en las hojas de las plantas bajo una mayor radiación UV-B. Esto último se puede atribuir a que la síntesis de compuestos absorbentes de UV-B es un proceso que consume energía, y las plantas invierten energía en sustancias que les permiten sobrevivir en condiciones de estrés, dándole así prioridad a los órganos fuente (Brechner, 2008).

Por otro lado, en las hojas la concentración de taninos fue menor bajo la radiación UV-B ambiental en comparación con las plantas cultivadas con un nivel reducido de radiación UV-B. Las flores contenían menos taninos que las hojas (Figura 5).

Los taninos tienen varias funciones importantes; son un importante contribuyente a la actividad antioxidante en muchas especies de plantas (Gu *et al.*, 2008; Oszmianski *et al.*, 2007) y brindan una protección eficaz contra los herbívoros al afectar la palatabilidad y la digestibilidad de las plantas.

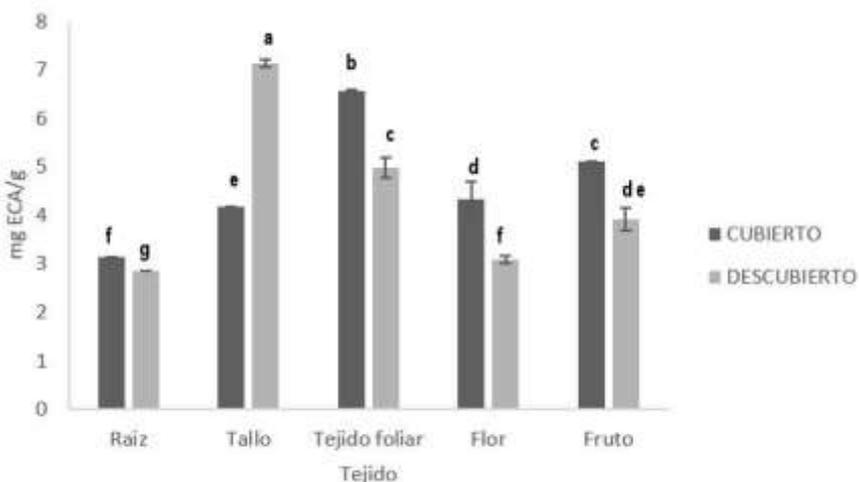


Figura 5. Concentración de taninos condensados en raíz, tallo, tejido foliar, flor y frutos de plantas de Chile Mirasol.

En general, las plantas expuestas a mayor radiación UV-B (sin cobertura) sintetizaron mayor concentración de antocianinas en comparación con aquellas cubiertas con la malla, esto en tejidos como raíz, tejido foliar y flores, con un incremento del 6.3%, 10.5% y 58.8%, respectivamente, mientras que en tallo y frutos hubo una mayor expresión de antocianinas en las muestras cubiertas (Figura 6). Tattini *et al.* (2005) mencionan que las plantas expuestas a altas radiaciones solares se someten a ajustes fisiológicos y bioquímicos con una marcada acumulación de flavonoides, entre estos, las antocianinas, ya que estos compuestos tienen funciones protectoras contra los efectos perjudiciales de la luz solar y el estrés por la radiación UV-B.

Además, las antocianinas son particularmente importantes para proteger los fotosistemas de las ERO generadas por el fotosistema en las células de las hojas, por lo que podrían tener un papel antioxidante, limitando el daño oxidativo adicional (Hoch *et al.*, 2003; Margaria *et al.*, 2014).

**Cambios en la concentración de metabolitos en plantas de Chile
por efecto de la luz ultravioleta**

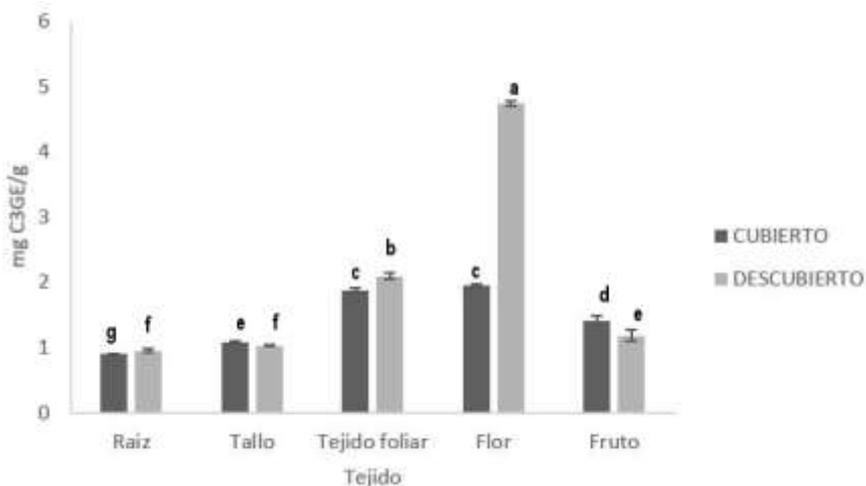


Figura 6. Concentración de antocianinas en raíz, tallo, tejido foliar, flor y frutos de plantas de Chile Mirasol.

En general, los resultados de la investigación mostraron que la concentración de compuestos polifenólicos es diferenciada según el tejido de la planta, estos hallazgos sugieren que las plantas sometidas a radiación UV-B tienden a acumular menos polifenoles en los órganos como el tallo, en comparación con los órganos de origen como las hojas. En otras palabras, las respuestas "inducidas" diferencialmente entre los tejidos de las plantas pueden deberse a cambios activos en la asignación de recursos, que surgen porque el estrés abiótico que

provoca la radiación UV-B, afectan de manera desigual a los órganos de fuente y sumidero (Reveles *et al.*, 2018).

Como se describió anteriormente, el tejido foliar exhibió una importante concentración de los compuestos fenólicos evaluados. Al respecto, Foyer y Noctor (2003) mencionan que la función de los compuestos fenólicos es más importante para las hojas en comparación con otros órganos de las plantas durante la respuesta contra estrés, como los cloroplastos, donde se produce la formación de peróxido de hidrógeno y otras especies reactivas de oxígeno (ERO).

La alta actividad que tienen los polifenoles debido a los anillos aromáticos y grupos hidroxilo libres en su composición, permiten fácilmente eliminar los radicales libres y las ERO formadas durante el estrés. Con respecto a la síntesis de proantocianinas, aunque la biosíntesis de taninos condensados ha sido bien caracterizada como respuesta a estrés (Arnold *et al.*, 2004), se encontró que estos fenoles de tipo proantocianina también se ven afectados por la

exposición a UV-B en la raíz y el tallo de las plantas de pimiento, pero no en las hojas. Por lo tanto, existe un problema sin resolver con respecto al mecanismo metabólico a nivel de fenilpropanoides en el que la planta controla la asignación de recursos entre los órganos fuente y sumidero a nivel de toda la planta.

5. Conclusiones

El diferencial de radiación UV-B captada por plantas de chile Mirasol desarrolladas a cielo abierto, en comparación a las establecidas bajo área con cubierta de malla antiáfidos produce cambios metabólicos en estas, debido a que se observaron alteraciones en el contenido de fenoles totales, flavonoides totales, taninos condensados y antocianinas totales en los diferentes tejidos de las plantas que fueron sometidas a la radiación en comparación con las que permanecieron cubiertas por la malla.

Es evidente que existe una diferenciación metabólica entre las plantas de chile analizadas; en las plantas que estuvieron a exposición directa de la luz solar, se observó mayor concentración de flavonoides y antocianinas, ya que las rutas biosintéticas involucradas en la producción de estos compuestos, como la ruta de los fenilpropanoides, fueron inducidas por este fenómeno.

Los resultados de la investigación, además de brindar una descripción bioquímica de la síntesis de fenilpropanoides en respuesta al estrés por radiación

UV-B en plantas de chile Mirasol, plantean datos interesantes sobre la asignación de polifenoles entre diferentes tejidos, lo que indica que el estrés por radiación afecta el transporte de recursos entre los órganos sumidero y fuente.

6. Bibliografía

- Abdel-Aal, E. S., and Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal chemistry*, 76(3), 350-354.
- Arnold, T., Appel, H., Patel, V., Stocum, E., Kavalier, A., and Schultz, J. 2004. Carbohydrate translocation determines the phenolic content of populus foliage: a test of the sink–source model of plant defense. *New Phytologist*, 164(1), 157-164.
- Ballaré, C. L., Barnes, P. W., Flint, S. D., and Price, S. 1995. Inhibition of hypocotyl elongation by ultraviolet-B radiation in de-etiolating tomato seedlings. II. Time-course, comparison with flavonoid responses and adaptive significance. *Physiologia Plantarum*, 93(4), 593-601.
- Barabás, K. N., Szegletes, Z., Pestenác, A., Fülöp, K., and Erdei, L. 1998. Effects of excess UV-B irradiation on the antioxidant defence mechanisms in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Plant Physiology*, 153(1-2), 146-153.
- Brechner, M. 2008. Some effects of light quantity and quality on secondary metabolites hyperforin,

- pseudohypericin and hypericin, in *Hypericum perforatum*. *Plant Physiology*, 142(4), 137-144.
- Caasi-Lit, M., Whitecross, M. I., Nayudu, M., and Tanner, G. J. 1997. UV-B irradiation induces differential leaf damage, ultrastructural changes and accumulation of specific phenolic compounds in rice cultivars. *Functional Plant Biology*, 24(3), 261-274.
- Casati, P., and Walbot, V. 2003. Gene expression profiling in response to ultraviolet radiation in maize genotypes with varying flavonoid content. *Plant Physiology*, 132(4), 1739-1754.
- Castronuovo, D., Tataranni, G., Lovelli, S., Candido, V., Sofo, A., and Scopa, A. 2014. UV-C irradiation effects on young tomato plants: Preliminary results. *Pak. J. Bot.*, 46(3), 945-949.
- Deshpande, S. S., and Cheryan, M. 1985. Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans. *Journal of Food Science*, 50(4), 905-910.
- Foyer, C. H., and Noctor, G. 2003. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. *Physiologia Plantarum*, 119, 355-364.

- Gu, H. F., Li, C. M., Xu, Y. J., Hu, W. F., Chen, M. H., and Wan, Q. H. 2008. Structural features and antioxidant activity of tannin from persimmon pulp. *Food Research International*, 41(2), 208-217.
- Hashim, M., Ahmad, B., Drouet, S., Hano, C., Abbasi, B. H., and Anjum, S. 2021. Comparative effects of different light sources on the production of key secondary metabolites in plants in vitro cultures. *Plants*, 10(8), 1521.
- Herrera, M.D., Zegbe-Domínguez, J.A., Melero-Meraz, V. and Cruz-Bravo, R.K. 2021. Functional properties of prickly pear cactus fruit peels undergoing supplemental irrigation and fruit storage conditions. *Plant Foods for Human Nutrition*. 76 (2021), 427–433.
- Hoch, W. A., Singasaas, E. L., and McCown, B. H. 2003. Resorption protection. Anthocyanins facilitate nutrient recovery in autumn by shielding leaves from potentially damaging light levels. *Plant Physiology*, 133(3), 1296-1305.
- Hofmann, R. W., Swinny, E. E., Bloor, S. J., Markham, K. R., Ryan, K. G., Campbell, B. D., and Fountain, D. W. 2000. Responses of nine *Trifolium repens* L. populations to ultraviolet-B radiation: differential

- flavonol glycoside accumulation and biomass production. *Annals of Botany*, 86(3), 527-537.
- Krizek, D. T. 2004. Influence of PAR and UV-A in determining plant sensitivity and photomorphogenic responses to UV-B radiation. *Photochemistry and Photobiology*, 79(4), 307-315.
- Landry, L. G., Chapple, C. C., and Last, R. L. 1995. *Arabidopsis thaliana* mutants lacking phenolic sunscreens exhibit enhanced ultraviolet-B injury and oxidative damage. *Plant physiology*, 109(4), 1159-1166.
- Legarrea, S., Karnieli, A., Fereres, A., and Weintraub, P. G. 2010. Comparison of UV-absorbing nets in pepper crops: Spectral Properties, effects on plants and pest control. *Photochemistry and Photobiology*, 86(2), 324-330.
- Li, J., Ou-Lee, T. M., Raba, R., Amundson, R. G., and Last, R. L. 1993. *Arabidopsis thaliana* flavonoid mutants are hypersensitive to UV-B irradiation. *The Plant Cell*, 5(2), 171-179.
- Liu, M., Li, X. Q., Weber, C., Lee, C. Y., Brown, J., y Liu, R. H. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(10), 2926-2930.

- Mahdavian, K., Kalantari, K. M., Ghorbanli, M., and Torkzade, M. 2008. The effects of salicylic acid on pigment contents in ultraviolet radiation stressed pepper plants. *Biologia Plantarum*, 52(1), 170-172.
- Margaria, P., Ferrandino, A., Caciagli, P., Kedrina, O., Schubert, A., and Palmano, S. 2014. Metabolic and transcript analysis of the flavonoid pathway in diseased and recovered Nebbiolo and Barbera grapevines (*Vitis vinifera* L.) following infection by Flavescence dorée phytoplasma. *Plant, Cell and Environment*, 37(9), 2183-2200.
- Müller-Xing, R., Xing, Q., and Goodrich, J. 2014. Footprints of the sun: memory of UV and light stress in plants. *Frontiers in plant science*, 5, 474.
- Nawkar, G. M., Maibam, P., Park, J. H., Sahi, V. P., Lee, S. Y., and Kang, C. H. 2013. UV-induced cell death in plants. *International journal of molecular sciences*, 14(1), 1608-1628.
- Oszmianski, J., Wojdylo, A., Lamer-Zarawska, E., and Swiader, K. 2007. Antioxidant tannins from Rosaceae plant roots. *Food chemistry*, 100(2), 579-583.
- Pinto, M. E., Casati, P., Hsu, T. P., Ku, M. S., and Edwards, G. E. 1999. Effects of UV-B radiation on growth,

- photosynthesis, UV-B-absorbing compounds and NADP-malic enzyme in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different nitrogen conditions. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 48(2-3), 200-209.
- Piri, E., Babaeian, M., Tavassoli, A., and Esmaeilian, Y. 2011. Effects of UV irradiation on plants. *African Journal of Microbiology Research*, 5(14), 1710-1716.
- Reveles-Hernández, M., Huichín-Alarcón, S., Velázquez-Valle, R., Trejo-Calzada, R., and Ruíz-Torres, J. 2010. Producción de plántula de chile en invernadero. *Folleto técnico*, (41), 40.
- Reveles-Torres, L. R., Velásquez-Valle, R., Salas-Muñoz, S., Mauricio-Castillo, J. A., Esqueda-Dávila, K. C. J., and Herrera, M. D. 2018. *Candidatus phytoplasma trifolii* (16Sr VI) infection modifies the polyphenols concentration in pepper (*Capsicum annuum*) plant tissues. *Journal of Phytopathology*, 166(7-8), 555-564.
- Rozema, J., Björn, L. O., Bornman, J. F., Gaberščik, A., Häder, D. P., Trošt, T., and Meijkamp, B. B. 2002. The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems—an experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing

- compounds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 66(1), 2-12.
- Searles, P. S., Flint, S. D., and Caldwell, M. M. 2001. A meta-analysis of plant field studies simulating stratospheric ozone depletion. *Oecologia*, 127(1), 1-10.
- SIAP 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap>.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology*. Academic press, 14(1), 152-178.
- Tattini, M., Guidi, L., Morassi-Bonzi, L., Pinelli, P., Remorini, D., Degl'Innocenti, E., and Agati, G. 2005. On the role of flavonoids in the integrated mechanisms of response of *Ligustrum vulgare* and *Phillyrea latifolia* to high solar radiation. *New Phytologist*, 167(2), 457-470.
- Tripathi, R., Sarkar, A., Pandey Rai, S., and Agrawal, S. B. 2011. Supplemental ultraviolet-B and ozone: impact on antioxidants, proteome and genome of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Plant Biology*, 13(1), 93-104.

- Xu, B. J., and Chang, S. K. C. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of food science*, 72(2), S159-S166.
- Yang, Y., Yao, Y., Xu, G., and Li, C. 2005. Growth and physiological responses to drought and elevated ultraviolet-B in two contrasting populations of *Hippophae rhamnoides*. *Physiologia Plantarum*, 124(4), 431-440.

La cita correcta de este folleto es:

Herrera, M.D., Reveles-Saldívar L.E., Salas-Muñoz, S., Mena-Covarrubias, J., Cid-Ríos, J.A. y Reveles-Torres, L.R. 2022. Cambios en la concentración de metabolitos en plantas de chile por efecto de la luz ultravioleta. Folleto Técnico Núm. 114. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC, INIFAP. 35 pp.

Comité Editorial del CIRNOC

M.C. Yasmin Ileana Chew Madinaveitia

Dr. Esteban Salvador Osuna Ceja

Dr. José Ángel Sígala Rodríguez

Dr. Pedro Jurado Guerra

Dra. Blanca Isabel Sánchez Toledano

M.C. María Gabriela Ramírez Valadez

Dr. Arturo Corrales Suastegui

Comité Editorial del CE Zacatecas

Presidente: Dra. Blanca Isabel Sánchez Toledano

Secretario: Dr. Luis R. Reveles Torres

Vocal: MC. Mayra Denise Herrera

Vocal: Dr. Francisco Guadalupe Echavarría Cháirez

Vocal: MC. Ricardo Alonso Sánchez Gutiérrez

Edición

MC. Mayra Denise Herrera

Dr. Jaime Mena Covarrubias

Diseño y fotografía

Dr. Jaime Mena Covarrubias

Código INIFAP

MX-0- 230219-11-02-11-09-114

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en diciembre de 2022, en el Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, Calera, Zacatecas, CP. 98500
Tel: 55-38-71-87-00 ext. 82328

Publicación Electrónica disponible en
la biblioteca digital del INIFAP:

https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content
www.gob.mx/inifap

Directorio del CE Zacatecas
Dr. Luis Roberto Reveles Torres
Director de Coordinación y Vinculación

| | |
|-------------------------------------|--|
| Dr. Guillermo Medina García | Agrometeorología y Modelaje |
| Dra. Nadiezhda Y. Ramírez Cabral | Agrometeorología y Modelaje |
| MC. José Israel Casas Flores | Agrometeorología y Modelaje |
| Dr. Alfonso Serna Pérez | Fertilidad de suelos y nutrición vegetal |
| Dr. Francisco G. Echavarría Cháirez | Fertilidad de suelos y nutrición vegetal |
| MC. José Ángel Cid Ríos | Fríjol y Garbanzo |
| Dr. Juan José Figueroa González | Fríjol y Garbanzo |
| MC. Mayra Denise Herrera | Fríjol y Garbanzo |
| Dr. Jorge A. Zegbe Domínguez | Frutales |
| MC Valentín Melero Meráz | Frutales |
| Ing. Manuel Reveles Hernández | Hortalizas |
| Dr. Miguel Servín Palestina | Ingeniería de Riego |
| Dra. Raquel Cruz Bravo | Inocuidad de Alimentos |
| MC Enrique Medina Martínez | Maíz |
| MC. Francisco A. Rubio Aguirre | Pastizales y Cultivos Forrajeros |
| Dr. Ramón Gutiérrez Luna | Pastizales y Cultivos Forrajeros |
| MC. Ricardo A. Sánchez Gutiérrez | Pastizales y Cultivos Forrajeros |
| Dr. Luis Roberto Reveles Torres | Recursos Genéticos: Forestales, Agrícolas, Pecuarios y Microbianos |
| Dr. Jaime Mena Covarrubias | Sanidad Forestal y Agrícola |
| Dra. Blanca I. Sánchez Toledano | Socioeconomía |



www.gob.mx/inifap

Sinopsis de la publicación: En nuestro país existe una gran demanda por medidas de adaptación para los sistemas productivos nacionales, sin embargo, todavía no existe una evaluación integral y confiable de los impactos de algunas variables asociadas al cambio climático sobre los cultivos en general, y para el cultivo de chile en particular. Entre dichas variables se considera el efecto de los rayos UV. La luz no solo es benéfica, ya que también puede tener efectos destructivos para las plantas, la cual ocasiona daños temporales o irreversibles al proceso de fotosíntesis. Por otro lado, las plantas activan sus mecanismos de defensa y producen metabolitos secundarios. En este estudio se encontró que existe modificación de metabolitos en diferentes tejidos de plantas de Chile Mirasol. En aquellas que sufrieron estrés por exposición a la luz solar se observó mayor concentración de flavonoides y antocianinas, ya que las rutas biosintéticas involucradas en la producción de estos compuestos, como la ruta de los fenilpropanoides, fueron inducidas por este fenómeno.