

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Efectos De Radiación UV-A En Plantas De Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:

**LUCY ELIZABETH MUÑOZ VALDEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Efectos De Radiación UV-A En Plantas De Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:

**LUCY ELIZABETH MUÑOZ VALDEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

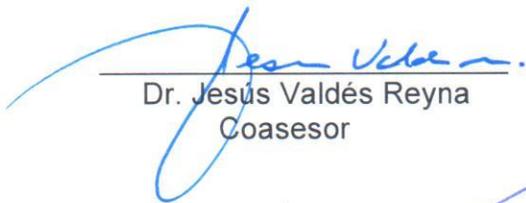
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Antonio Juárez Maldonado  
Asesor Principal Interno



Dra. Yolanda González García  
Asesor Principal Externo



Dr. Jesús Valdés Reyna  
Coasesor

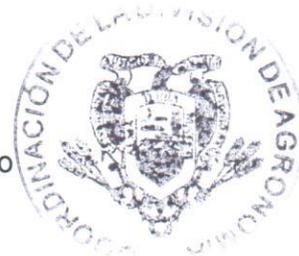


Dr. Alonso Méndez López  
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2022



## DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos.

Reproducción de fragmentos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondiente.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo es original.

Pasante

Lucy Elizabeth Muñoz Valdez.

Lucy Elizabeth Muñoz Valdez

Asesor principal



Dr. Antonio Juárez Maldonado

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme las puertas y permitirme ser parte de tan bella escuela, a mis padres, Ana y Héctor, quienes me dieron la oportunidad de continuar con mis estudios universitarios, al Dr. Antonio Juárez Maldonado, a quien le agradezco infinitamente el apoyo y la confianza que me brindó a lo largo de mi estancia en la Universidad, porque gracias su motivación y aliento, estoy a un paso de egresar, a Diego Iván Escobar, que me ayudó incondicional y desinteresadamente en la realización de la tesis.

A la empresa SOLA BASIC SA de CV por proporcionar las luminarias utilizadas en esta investigación, además de la asesoría técnica para su funcionamiento y puesta en marcha, y demás facilidades prestadas para la realización de este trabajo.

Por último, le agradezco a la familia Charles Hernández, que me acogieron como una más de los suyos, a la Fundación Saúl Vara Rivera, a mi mejor amigo Julio Barrientos, que sin su esfuerzo y dedicación al motivarme y enseñarme yo no hubiera pasado el examen de admisión y finalmente a la persona más importante en este punto de mi vida, Gerardo García, que ha estado conmigo durante tres años y he recibido su apoyo incondicional en todas mis decisiones.

## **DEDICATORIAS**

A mi hija Aurora que todo lo que hago, digo y pienso, es por ella.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO</b>	¡Error!	Marcador	no
definido.			
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	..... <b>II</b>		
<b>DEDICATORIAS</b>	..... <b>III</b>		
<b>INDICE GENERAL</b>	..... <b>vi</b>		
<b>RESUMEN</b>	..... <b>ix</b>		
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	..... <b>1</b>		
1.1	Objetivo general	..... 2	
1.2	Objetivos específicos	..... 2	
<b>II RevisiOn de literatura</b>	..... <b>4</b>		
2.1	Cultivo del tomate en México	..... 4	
2.2	Estrés abiótico en tomate	..... 1	
2.3	Radiación UV	..... 2	
2.4	Impactos de la radiación UV-C	..... 4	
2.5	Impactos de la radiación UV-B	..... 5	
2.6	Impactos de la radiación UV-A	..... 6	
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b>	..... <b>8</b>		
3.1	Establecimiento del experimento	..... 8	
3.2	Material vegetal	..... 8	
3.3	Características de las luminarias LEDs	..... 8	
3.4	Desarrollo del cultivo	..... 8	
3.5	Variables bioquímicas	..... 9	
3.5.1	Compuestos fenólicos	..... 9	
3.5.2	Flavonoides	..... 10	
3.5.3	Ácido ascórbico	..... 10	
3.6	Pigmentos fotosintéticos	..... 11	

3.8	Análisis estadístico .....	12
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>13</b>
<b>V</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>VI</b>	<b>CONCLUSIÓN</b> .....	<b>23</b>
<b>VII</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>24</b>

## INDICE DE FIGURAS

**Figura 1** Altura (A), (B) Número de hojas, (C) Diámetro de tallo, (D) Número de frutos, (E) Número de racimos, (F) Número de frutos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=005$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar. 14

**Figura 2.** Comparación de peso seco de raíz y peso seco aéreo; **Error! Marcador no definido.**

**Figura 3.** (A) Fotosíntesis neta, (B) Transpiración, (C) Conductancia estomática, (D) Concentración intracelular, (D) Eficiencia del uso del agua. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=005$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar..... 17

**Figura 4.** (A) Flavonoides, (B) Fenoles, (C) Vitamina C. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=005$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar..... 18

**Figura 5.** (A) Betacaroteno, (B) Licopeno, (C) Clorofilas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=05$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar..... 19

## RESUMEN

La radiación ultravioleta o luz invisible, comprende longitudes de onda que van desde los 100 a los 400 nanómetros, siendo la UV-A la más ligera y la que más predomina en el ambiente, que va desde los 320 a los 400 nanómetros. Este tipo de radiación es absorbida en grandes cantidades por las plantas, en la actualidad no han sido muy estudiados los efectos que produce fisiológica y morfológicamente en las plantas. Es por ello que se realizó un estudio en plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), en las que se irradió a una longitud de onda de 385 nanómetros, en diferentes lapsos de tiempo, que van desde la planta control (0 min), 5, 10, 20, 40 y 60 minutos. Morfológicamente no se observaron cambios significativos, sin embargo, se observó un incremento de la eficiencia del uso del agua (WUE) para ambas fechas en las que se realizó el estudio, en la primera fecha el T20 obtiene en mejor valor y el T60, el menor, con una diferencia del 19.43% entre ellas y de 11.43% del T20 al control, en la segunda fecha, el T5 obtiene los mayores resultados, y el T10 los más bajos, con una diferencia del 34.03% entre estos tratamientos y de 21.68% entre el T5 y el control. También se encontró una diferencia entre los tratamientos respecto a las cantidades de vitamina C, en la que el T20, fue el que obtuvo los niveles más altos y el control los más bajos, con una diferencia del 13.73% entre ambos tratamientos. Además, aunque no hubo diferencias significativas en compuestos como el licopeno, sin embargo, se puede observar que el T60 obtuvo niveles más altos que el control, con una mínima diferencia del 6.03%, o con el caso del betacaroteno, que de igual forma el T5 obtuvo niveles más altos que el control, con una diferencia del 19.91%, destacando que no son diferencias significativas.

**Palabras clave:** UV-A, radiación, vitamina C, WUE, licopeno, betacaroteno.

## I INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se considera una de las hortalizas de mayor importancia en México y el mundo. A nivel mundial, China, es el principal consumidor, Estados Unidos de América es el principal importador y México el primer exportador de tomate, siendo Estados Unidos su principal cliente (Agroalimentario y FIRA, 2017). En el mercado internacional, durante 2016 México cubrió el 90.67% de las importaciones de USA y el 65.31% de Canadá (Narváez, 2017).

En México, durante 2017 los principales estados productores de esta hortaliza fueron Sinaloa (151 mil toneladas), Zacatecas (89 mil toneladas), Jalisco (83 mil toneladas) Puebla (58 mil toneladas) y Michoacán (50 mil toneladas) (CEDRSSA, 2018).

El tomate, es una planta de metabolismo C3, lo que permite que sea más susceptible a diversos tipos de estrés, que amenazan la integridad del cultivo. El estrés, se define como un factor externo que ejerce una respuesta negativa en la planta, que puede ser biótico o abiótico, esto implica cambios en su desarrollo óptimo y pueden causar daños irreversibles que llevan a la muerte de la planta (Blackhall, 2018).

Uno de los principales tipos de estrés abiótico es el oxidativo, que es provocado por la alta absorción de radiación UV, que comprende longitudes de onda de los 100 a los 400 nanómetros, misma que las plantas utilizan para convertir la energía solar, en energía química a través de la fotosíntesis. El estrés oxidativo surge cuando hay un exceso de energía lumínica, lo que provoca que se produzcan las llamadas especies reactivas de oxígeno (ROS, que son potencialmente dañinas para las biomoléculas (Blackhall, 2018). La radiación Ultravioleta A, es el principal componente de la radiación UV, también es la más abundante en la naturaleza, tiene una longitud de

onda que va desde los 315- a los 400 nanómetros, sin embargo, su papel en el desarrollo de las plantas es desconocido (Kang et al., 2018).

En los pocos estudios realizados sobre la radiación UV-A, se han obtenido resultados muy variables, y en otros casos similares, por ejemplo, el experimento realizado por Kang et al., 2018, se concluye que la radiación UV-A estimula el crecimiento de biomasa en plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*), y en estudios realizados por Lee et al., 2019, de igual manera en un experimento realizado en lechuga (*Lactuca sativa*) , en un ambiente controlado indujo a un área foliar más grande (Flint, 2019).

También experimentos realizados en semillas de tomate han indicado que la irradiación con UV-A aumenta el porcentaje de germinación de las semillas (Mariz-Ponte et al., 2018).

De igual forma en los 3 casos aumentó la producción de metabolitos secundarios, lo cual indica que las plantas mejoraron sus mecanismos de defensa para evadir los efectos del estrés oxidativo provocado por la irradiación UV-A.

Por lo anterior el, objetivo del presente trabajo fue comprobar los efectos que tienen diferentes lapsos de tiempo de irradiación UV-A, sobre plántulas de tomate.

### 1.1 Objetivo general

Determinar el impacto de la radiación UV-A en plantas de tomate.

### 1.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto de la radiación UV-A en el crecimiento y sistema antioxidante en las plantas de tomate.

Determinar el efecto de la radiación UV-A sobre la acumulación de biocompuestos en las plantas de tomate.

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Cultivo del tomate en México

La importancia de la agricultura en México no es sólo para satisfacer las necesidades agroalimentarias de los mexicanos, sino que también son generadores de empleos. En nuestro país el sector agropecuario constituye cerca del 3.4 % del producto interno bruto (PIB), de la cual el 45 % representa la exportación frutícola, en donde el producto más exportado con un 7.7 %, es el tomate (Montaño Méndez et al., 2021).

Del total de producción mundial de tomate, nuestro país aporta el 1.7 %, convirtiéndose en el quinto mayor productor a nivel internacional de tomate, y el primer exportador del mismo, siendo Estados Unidos de América el mayor importador o comprador de la hortaliza (Montaño Méndez et al., 2021).

De acuerdo con Narváez (2017) en México se satisface el 100 % de los requerimientos nacionales con la producción interna, así mismo la exportación representa el 47.96 % de la disponibilidad total de tomate en la nación.

La producción de tomate en México creció un promedio anual de 4.8 % entre 2006 y 2016, teniendo como un máximo histórico 3.3 millones de toneladas. Durante 2016, los principales estados productores de tomate fueron: Sinaloa (27.6%), San Luis Potosí (9.2 %), Michoacán (7 %), Baja California (6.7 %) y Zacatecas (5.7 %), Sumando un 56.3 % de la producción total nacional (Agroalimentario y FIRA, 2017).

## **2.2 Estrés abiótico en tomate**

Una de las principales causas de las pérdidas de los principales cultivos de interés agrícola, como la reducción de la calidad de las hortalizas es el estrés abiótico, que se refiere al conjunto de factores ambientales que alteran los procesos fisiológicos y metabólicos de una planta. Esta problemática ha aumentado debido al cambio climático, el cual influye en fenómenos como el incremento de temperatura, incendios, alteración de los ciclos de lluvia, entre otros (Méndez-Espinoza y Vallejo-Reyna, 2019).

Uno de los elementos básicos y vitales para todo ser vivo, como las plantas, es el agua, en las cuales influye en su productividad y crecimiento, cuando existe una deficiencia del líquido, aumenta su mortalidad, esto debido al estrés hídrico, sucede debido a que es mayor la transpiración que el agua absorbida por las raíces, lo que desencadena efectos negativos sobre el crecimiento de la biomasa vegetal (Flores-Luna et al., 2012).

Otro elemento necesario para el óptimo desarrollo de las especies vegetales, es la radiación solar, las plantas se encargan de convertir esta energía luminosa a energía química por el proceso de la fotosíntesis, sin embargo, el aumento de la radiación solar, influye en la formación de las ROS, que son moléculas altamente reactivas debido a la presencia de un radical libre, que al no tener los antioxidantes suficientes, da lugar a que las células se oxiden, dañando así sus estructuras, a este proceso se le conoce como estrés oxidativo (Blackhall, 2018).

Evolutivamente las plantas han desarrollado mecanismos de tolerancia al estrés, que les permite reestablecer el equilibrio celular o disminuir los efectos negativos. Para este caso, el estrés abiótico provoca una serie de reacciones como la inhibición del

crecimiento meristemático en partes aéreas, para favorecer el crecimiento radicular, cierre estomático, alteraciones en el ciclo reproductivo, entre otros (Méndez-Espinoza y Vallejo-Reyna, 2019).

### **2.3 Radiación UV**

Al inicio del siglo XIX Johannes Ritter descubrió que el sol emite una radiación invisible, de una longitud de onda más corta que la azul y violeta, es por ello que se le nombró como “ultravioleta” (UV), esta energía se encuentra entre el rango de longitud de onda que va de 100 a los 400 nanómetros, el sol emite alrededor del 6 % al 7 % de esta energía a la tierra (Ballesteros-Benavides, 2010).

Uno de los principales tipos de estrés es provocado por la radiación UV, existen tres tipos de intensidades: La radiación UV-A es poco absorbida por el ozono, es por ello que llega más rápido y en mayor cantidad a la superficie terrestre, es la menos dañina, comprende entre los 320 y 400 nm. La UV-B está comprendida entre los 280 y 320 nm, para que este tipo de radiación sea interceptada por las plantas debe penetrar la hoja y ser absorbida por biomoléculas susceptibles a su efecto. Aunque la radiación UV-B incluye poca parte del espectro, tiene mayor acción sobre plantas y animales, debido a que presentan electrones que algunas proteínas y biomoléculas importantes absorben en gran cantidad. La radiación UV-C está comprendida entre los 200-280 nm, es absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera, es por ello que casi no llega a la superficie terrestre, sin embargo, es la más dañina, ya que es la más energética y causa daños al ADN (Carrasco-Ríos, 2009).

Algunos beneficios de la radiación UV son:

- La radiación UV-A mejora la acumulación de la biomasa en los órganos específicos en los que fue expuesto (Qian et al., 2020).

- La Radiación UV-A mejora los efectos en la fotosíntesis y la activación de respuestas fotoprotectoras (Qian et al., 2020).
- La radiación UV-A (como máximo 368 nm), promueve la firmeza y estimulan la acumulación de antioxidantes (Qian et al., 2020).
- La irradiación de semillas de tomate con UV-B en  $5.4 \text{ kJm}^{-2}$  aumentó el porcentaje de germinación (Díaz-Leyva et al., 2017).
- Las semillas de soya (*Glicine max*), y girasol (*Helianthus annuus*) irradiadas con UV-C, muestran respuestas positivas frente al estrés abiótico (Díaz-Leyva et al., 2017).
- La irradiación con bajas dosis de UV-C en hortalizas, indujeron la producción de enzimas antioxidantes, flavonoides y compuestos fenólicos (Darras et al., 2020).
- La irradiación de UV-C de bajas dosis en tomate, tendieron de aumentar la vitamina C, licopeno, fenoles y carotenoides (Darras et al., 2020).
- Las hojas de la planta de pepino (*Cucumis sativus*) producidas bajo condiciones de irradiación UV-A, aunque son ligeramente más pequeñas, son más gruesas, lo que permite que se obtengan beneficios fisiológicos en condiciones de mucha luz y de poca agua (Qian et al., 2020).
- La UV-A en plantas de pepino (*Cucumis sativus*), da como resultado plantas más compactas y gruesas, que son más adecuadas para su transporte (Qian et al., 2020).
- La radiación UV-C desencadena la producción de etileno, lo que permite que la planta y los frutos maduren más rápido (Darras et al., 2020).
- La irradiación con UV-B a semillas de repollo, causó tolerancia contra el estrés biótico en las plantas adultas (Díaz-Leyva et al., 2017).

Sin embargo, también existen efectos negativos en la radiación UV y son:

- La radiación UV-B tiene un impacto negativo en la biomasa total de la planta, al disminuir las hojas en plantas de pepino (*Cucumis sativus*), también disminuye la fotosíntesis total (Qian et al., 2020).

- La radiación UV-B induce la pérdida de actividades enzimáticas del ciclo de Calvin, disminuye directamente la enzima ribulosa-1,5 bifosfatocarboxilasa/oxigenasa, (RuBisCO), la cual se encarga de la incorporación del CO<sub>2</sub> en este ciclo (Carrasco Ríos, 2009).
- La radiación UV-C provoca estrés oxidativo, debido a que es demasiada energía la que acarreada por los fotones (Díaz-Leyva et al., 2017).
- Los tratamientos con alta intensidad de radiación UV-B causan daños directos a biomoléculas como ribosomas, ácidos nucleicos, proteínas y lípidos (Sol, 2019).
- Cuando las plantas absorben UV-B por el ADN, forma enlaces covalentes entre las pirimidinas, que desencadena una serie de lesiones que interrumpen los procesos normales de replicación y transcripción del ADN, que afectan el crecimiento e induce la mutagénesis (Sol, 2019).
- La alta radiación UV-B tiene efectos negativos en el desarrollo de las plantas como reducción de crecimiento, disminución de las capas de cerosas de la cutícula, engrosamiento de las hojas, baja capacidad fotosintética, disminución de la fertilidad del polen, disminuye su posibilidad de supervivencia contra las malezas, entre otros (Vargas, 2014).

## **2.4 Impactos de la radiación UV-C**

La radiación UV-C, abarca longitudes de onda de luz solar de 250 a 280 nm, y son altamente energéticas, las cuales son absorbidas por la capa de ozono, es por ello que no alcanzan la superficie terrestre. Este tipo de radiación está asociado con la producción de las especies reactivas de oxígeno, las cuales provocan el estrés oxidativo, de igual manera, puede dañar el ADN de las células vegetales, alteran su integridad y el funcionamiento de las mitocondrias y cloroplastos (Darras et al., 2020).

Los resultados de un estudio realizado en frutos de tomate con radiación UV-C con una dosis de  $3.7 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , complementado con una temperatura de  $16^\circ\text{C}$ , y alta humedad de almacenamiento del 95 %, favoreció y retrasó el proceso de senescencia del fruto de tomate por una semana. Los carotenoides totales fueron significativamente más altos en los frutos tratados con UV-C, que en el control. En pocas palabras, estos resultados sugieren que irradiar con UV-C puede ser una técnica para mejorar el almacenamiento postcosecha (Maharaj et al., 2010).

De acuerdo con Thomas y Puthur (2017), las plántulas de cebada (*Hordeum vulgare*) que fueron irradiadas en su etapa de semillas, presentaron una mayor tolerancia al estrés por salinidad.

Otro uso importante de la radiación UV-C es como antimicrobiano, ya que se ha informado que la aplicación en los frutos de tomate con una dosis de  $25 \text{ nJ cm}^{-1}$  ocasionó una reducción de *Salmonella* en la superficie del fruto, esto debido a su efecto bactericida, ya que interrumpe la replicación bacteriana y la formación de dímeros de timina en el cromosoma bacteriano. También se demostró que reduce considerablemente las poblaciones de levaduras y mohos (Mukhopadhyay et al., 2014).

## **2.5 Impactos de la radiación UV-B**

La radiación UV-B comprende longitudes de onda que van desde los 200-280 nm, su acción sobre plantas y animales es importante, ya que biomoléculas como las proteínas y los ácidos nucleicos la absorben fuertemente. Debido a que este tipo de radiación ha estado siempre presente en el ambiente, las plantas se han adaptado a su presencia y han desarrollado mecanismos de defensa para evitar sus efectos negativos. Un ejemplo de ellos son las plantas monocotiledóneas, las cuales

presentan hojas delgadas con orientación vertical, esto para interceptar menos radiación UV-B, contrario a las dicotiledóneas, quienes presentan hojas anchas con orientación horizontal, que las hace más propensas al daño (Carrasco-Ríos, 2009).

Una exposición adecuada de radiación UV-B en las plantas, puede mejorar la calidad y la producción de estas, debido a que induce a la generación y acumulación de metabolitos secundarios como fenoles flavonoides, además de polisacáridos como estrategia para mitigar el daño causado por la radiación UV-B en las células vegetales (Wu et al., 2021). Por el contrario, las dosis altas de UV-B pueden causar efectos negativos en las plantas al generar daño en el aparato fotosintético, degradación membranas celulares y ácidos nucleicos (Derebe et al., 2019)

El aumento de la radiación UV-B en plantas como chícharo (*Pisum sativum*), pimiento (*Capsicum annuum*) y soya (*Glicine max*), causa la reducción del área foliar, en forma de hojas de menor tamaño, esto debido a que se produce un efecto inhibitorio de la radiación UV-B sobre la expansión del epitelio, estas células son las encargadas de regular el crecimiento foliar (Carrasco-Ríos, 2009). Un estudio realizado en semillas de tomate demostró que irradiar con UV-C a una dosis de  $5.4 \text{ kJ m}^{-2}$  aumenta el porcentaje de germinación, y el rigor de las plántulas, aunque este tipo de longitud de onda ha sido poco estudiado y se han obtenido diferentes resultados incluso dentro de plantas de la misma familia (Díaz-Leyva et al., 2017).

## **2.6 Impactos de la radiación UV-A**

La radiación UV-A, abarca de 320- 400 nm, y es el principal componente de la radiación UV en la naturaleza. Un estudio determinó la irradiación UV-A complementaria, en etapa de plántula de pepino, da como resultado un cambio

morfológico en la planta adulta, misma que será más compacta y robusta, adecuada para su transporte a invernaderos, además que no afecta a la calidad del fruto. Por lo tanto, es una alternativa viable, que tiene como resultado plantas más pequeñas y compactas sin pérdidas de biomasa (Qian et al., 2020).

A pesar de que este tipo de radiación es más ligera que la UV-B y UV-C, es la que más afecta a las plantas, ya que el PSII (fotosistema II) es su principal objetivo. Se cree que el principal sitio que daña esta radiación es el grupo catalítico de manganeso, al igual que induce la degradación de la proteína D1 y D2, por lo tanto, sus efectos en las funciones de PSII son la disminución de su eficiencia fotoquímica, la tasa de transporte de electrones y la fotosíntesis. Debido a que la UV-A es más abundante que la UV-B, se sugiere que es este tipo de radiación la más perjudicial para las reacciones fotosintéticas (Verdaguer et al., 2017).

### **III MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Establecimiento del experimento**

El experimento se realizó en un invernadero perteneciente al Departamento de Botánica, en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Ubicado en las coordenadas N 25° 21' 01.22" W 101° 01' 27.59", en un invernadero exclusivo de tipo túnel, con cubierta de polietileno, ventilación natural, orientación norte-sur.

#### **3.2 Material vegetal**

Se utilizó semillas de tomate tipo saladette de la variedad Cid F1 (Harris Moran, Davis, CA, USA), de crecimiento indeterminado.

#### **3.3 Características de las luminarias LEDs**

Las luminarias LEDs tienen una dimensión de 225 cm de largo por 4cm de ancho SOLALED HORTICULTURA LILZBAL- S100WFRBPBC, entrada: 220v~ 0,065 – 0,424 A 100W 60 Hz.

#### **3.4 Desarrollo del cultivo**

El experimento se realizó mediante el trasplante de plántulas de tomate en bolsas de poliestireno de 5 L. Se utilizó como sustrato una mezcla de peat moss-perlita en proporción 1:1 con base a volumen. Para la aplicación del riego se utilizó un sistema de riego dirigido con solución Steiner (Steiner, 1961). De acuerdo a cada etapa fenológica. El pH de la solución nutritiva se ajustó con ácido sulfúrico concentrado a un valor de 6.5 para favorecer la absorción de nutrientes. El cultivo se desarrolló

durante 42 días, los tratamientos aplicados consistieron en irradiar con LED UV (385 nm), a una distancia de 30 cm del dosel de la planta durante 5 minutos, 10 minutos, 20 minutos, 40 minutos, y 60 minutos y un control.

Para la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate se realizaron mediciones, al día 42. Se midió altura de planta (flexómetro), diámetro de tallo (vernier digital) y se contabilizó el número de hojas y flores.

Se evaluó la biomasa fresca, peso fresco de tallo y hojas (g), se utilizó una balanza digital (OHAUS Modelo Adventurer Pro). El peso seco de tallo y hojas (g) se obtuvo al secar las muestras, en una estufa de secado marca Drying Oven modelo DHG9240A durante 72 h a una temperatura constante de 90 °C.

### **3.5 Variables bioquímicas**

42 días después del trasplante (ddt) se tomaron muestras al azar de la cuarta hoja completamente expandida y se conservaron a -20 °C en ultra congelador.

Posteriormente las muestras se fraccionaron en vasos de plástico de 25 mL y se sometieron a liofilización a -20 °C y 20 Pa. Durante una semana.

#### **3.5.1 Compuestos fenólicos**

Se determinó mediante el método del reactivo Folin-Ciocalteu descrito por (Yu y Dahlgren, 2000) con algunas modificaciones:

- 1 20 mg de muestra se extrajo con 1000 µL de solución agua: acetona (1:1).
- 2 La mezcla se homogeneizó en vórtex durante 30 segundos y sónico por 5 minutos.
- 3 Las muestras se centrifugaron en una centrífuga (OHAUS Frontier Modelo FC5515 R) a 12,500 RPM durante 10 minutos a cuatro grados centígrados.
- 4 Para la cuantificación se tomó una alícuota de 18 µL, se añadió 70 µL de reactivo Folin-Ciocalteu, 175 µL de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) al 20 % y 1700 µL de agua destilada.
- 5 Se homogeneizó en vórtex durante 30 segundos.

- 6 Se sometió a baño maría a 45° C durante 30 minutos y se midió absorbancia a 750 nm en espectrofotómetro UV-Vis (UNICO Spectrophotometer Modelo UV2150) con celdilla de cuarzo usando agua:acetona como blanco.
- 7 Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso seco (mg de EAG 100 g<sup>-1</sup> PS).

### 3.5.2 Flavonoides

Se llevó a cabo utilizando el método de Dowd adaptado por Arvouet-Grand *et al.*, (1994).

- 1 Para la extracción de estos, se colocaron 20 mg de tejido liofilizado en un microtubo, donde se agregaron 2000 µL de metanol de grado reactivo.
- 2 Se homogeneizó en vórtex durante 30 segundos.
- 3 La mezcla se filtró usando el papel Whatman No. 1.
- 4 Para la cuantificación, se tomó una alícuota de 1000 µL del extracto, se agregaron 2 mL de solución metanólica de tricloruro de aluminio (AlCl<sub>3</sub>) al 2 % en un microtubo y se dejó reposar durante 20 minutos en la oscuridad.
- 5 Transcurrido en tiempo se tomó la lectura en un espectrofotómetro UV-Vis (UNICO Spectrophotometer Modelo UV2150). A una longitud de onda de 415 nm utilizando una celdilla de cuarzo.
- 6 El contenido de flavonoides se expresó en miligramos equivalentes de quercetina por 100 g de peso seco (mg EQ 100 g<sup>-1</sup> PS).

### 3.5.3 Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico o vitamina C se determinó por el método de (Hung y Yen, 2002):

- 1 Se pesaron 10 mg de tejido liofilizado de hojas y se colocaron en un microtubo.
- 2 Se agregó 1000 µL de ácido metafosfórico al 1 % y se filtró con papel Whatman N° 1.

- 3 Posteriormente se recolectó 200  $\mu\text{L}$  de la extracción y se agregó 1800  $\mu\text{L}$  de 2-6 diclorofenolindofenol (50  $\mu\text{M}$ ) y se dejó a temperatura ambiente por 15 segundos.
- 4 La cuantificación se realizó por espectrofotometría (UNICO Spectrophotometer Modelo UV2150) a una longitud de onda de 515 nm en una celdilla de cuarzo. Para el blanco se utilizó ácido metafosfórico.
- 5 Los valores se obtuvieron a partir de la curva de calibración preparada con ácido ascórbico (0-50  $\text{mg L}^{-1}$ ).
- 6 Los resultados se expresaron en  $\text{mg g}^{-1}$  de peso seco de ácido ascórbico.

#### 3.5.4 Pigmentos fotosintéticos (Licopeno, $\beta$ caroteno, Clorofila A y B, y clorofila total)

Los pigmentos fueron determinados de acuerdo con el método de Nagata y Yamashita, (1992) con algunas modificaciones:

- 1 Para la extracción se pesaron 200 mg de tejido liofilizado.
- 2 Se añadieron 1500  $\mu\text{L}$  de hexano:acetona (3:2).
- 3 El extracto obtenido se centrifugó a 12,000 rpm durante 10 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$  en una microcentrífuga (OHAUS Frontier Modelo FC5515 R).
- 4 Se recolectó el sobrenadante con este se determinará una alícuota.
- 5 El contenido de los pigmentos fotosintéticos se determinó mediante espectrofotometría (UNICO Spectrophotometer Modelo UV2150) a 453, 505, 645 y 663 nanómetros.
- 6 Se obtienen resultados con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Licopeno} = -0.0458 \times A_{663} + 0.204 \times A_{645} + 0.372 \times A_{505} - 0.0806 \times A_{453} \quad (1)$$

$$\beta - \text{caroteno} = 0.216 \times A_{663} - 1.22 \times A_{645} - 0.304 \times A_{505} + 0.452 \times A_{453} \quad (2)$$

$$\text{Clorofila A} = 0.999 A_{663} - 0.0989 A_{645} \quad (3)$$

$$\text{Clorofila B} = -0.328 A_{663} + 1.77 A_{645} \quad (4)$$

La clorofila total resulta de la suma de clorofila A+B. Los resultados se expresarán en  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  PS.

### 3.6 Tasa de asimilación neta

Se evaluará la tasa de asimilación neta de fotosíntesis en el desarrollo del cultivo, con el equipo Plant Fotosynthesis Meter 3051C; el cual evalúa los parámetros técnicos como transpiración, eficiencia del uso del agua y conductancia estomática.

### **3.8 Análisis estadístico**

Para la evaluación de las variables agronómicas y bioquímicas se consideraron 6 repeticiones por tratamiento. Se usó un diseño en cuadro latino de 6\*6. El análisis de varianza y prueba de medias de LSD de Fisher ( $p \leq 0.05$ ) se realizaron en el software Infostat versión 2019.

#### IV RESULTADOS

Los resultados obtenidos para la altura no presentan diferencias, sin embargo, el tratamiento 40 el más alto, con una diferencia de 2.94 % más que el control (Figura 1A).

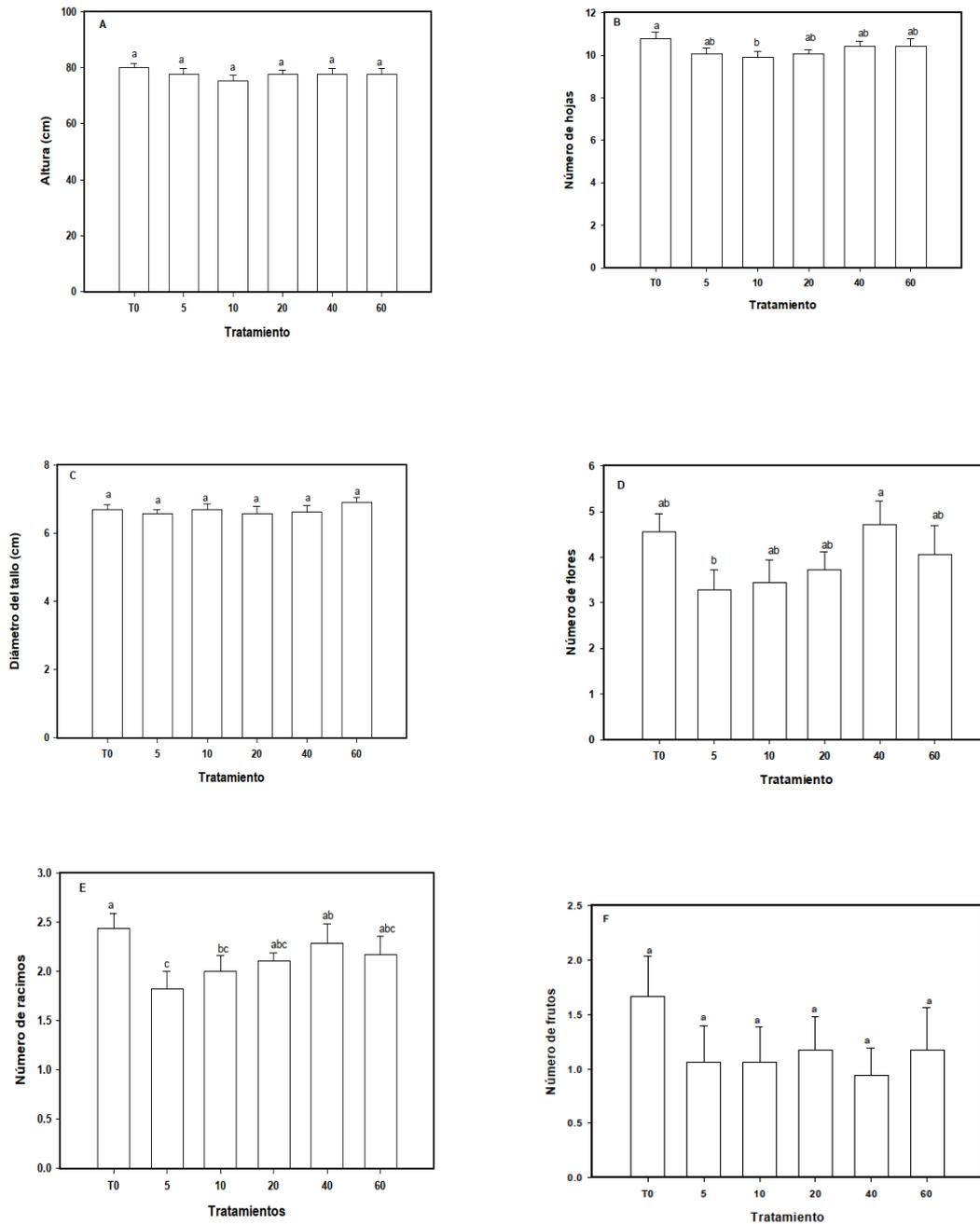
Respecto al número de hojas, se observaron diferencias sólo del control y del tratamiento 10, de un 8.25 % de diferencia, siendo el tratamiento 10 el menos favorecido (Figura 1B).

En el diámetro de tallo, no se observan diferencias entre tratamientos, el tratamiento con valor más alto fue el T60 y el más bajo el T5, con una mínima diferencia del 5.09 % entre tratamientos (Figura 1C).

Para el número de flores, se observan diferencias, siendo el tratamiento 40 el más alto, respecto al tratamiento 5 al más bajo, con una diferencia del 31.14 % entre sí, y de 3.2 % más que el control (Figura 1D).

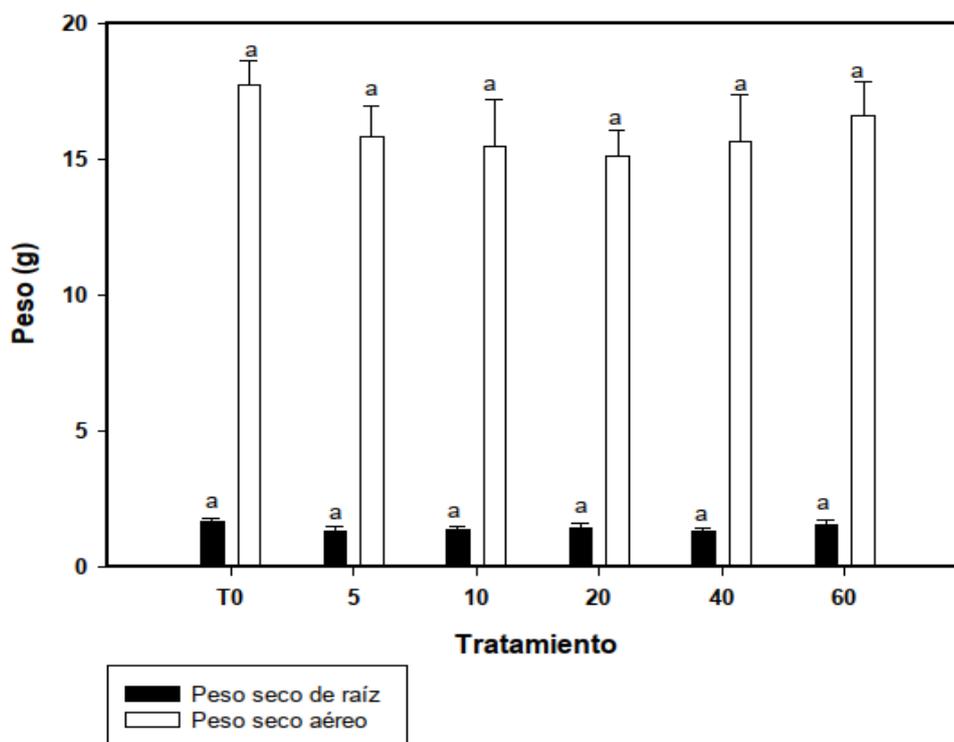
Se observó una disminución del número de racimos con los tratamientos aplicados con respecto al testigo. Y que tanto el T5 y T40 fueron inferiores 6.14 % y de 25.40 % comparado con el T0 (Figura 1E).

En el número de frutos, no se encontraron diferencias entre tratamientos, siendo el control el que obtiene el mejor resultado y el T40 el de menor valor, con una diferencia del 43.71 % entre ellos (Figura 1F).



**Figura 1.** (A) Altura, (B) Número de hojas, (C) Diámetro de tallo, (D) Número de flores, (E) Número de racimos, (F) Número de frutos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=0.05$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar.

Respecto al peso seco aéreo y de raíz, no hay diferencias, para la raíz el control sólo supera por 8.98 % al tratamiento 60, en el caso de la parte aérea, el control supera por 6.26 % al tratamiento 60 (Figura 2A).



**Figura 2.** Comparación de peso seco de raíz y peso seco aéreo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=005$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar.

Respecto a la fotosíntesis neta, para la primera fecha se puede notar la diferencia del tratamiento control sobre el tratamiento 60, con una diferencia del 6.24 %, en cambio en la segunda fecha no se observa alguna diferencia entre tratamientos, siendo el T5 el más favorecido y el T40 el menor, con una diferencia del 8.4 % entre tratamientos (Figura 3A).

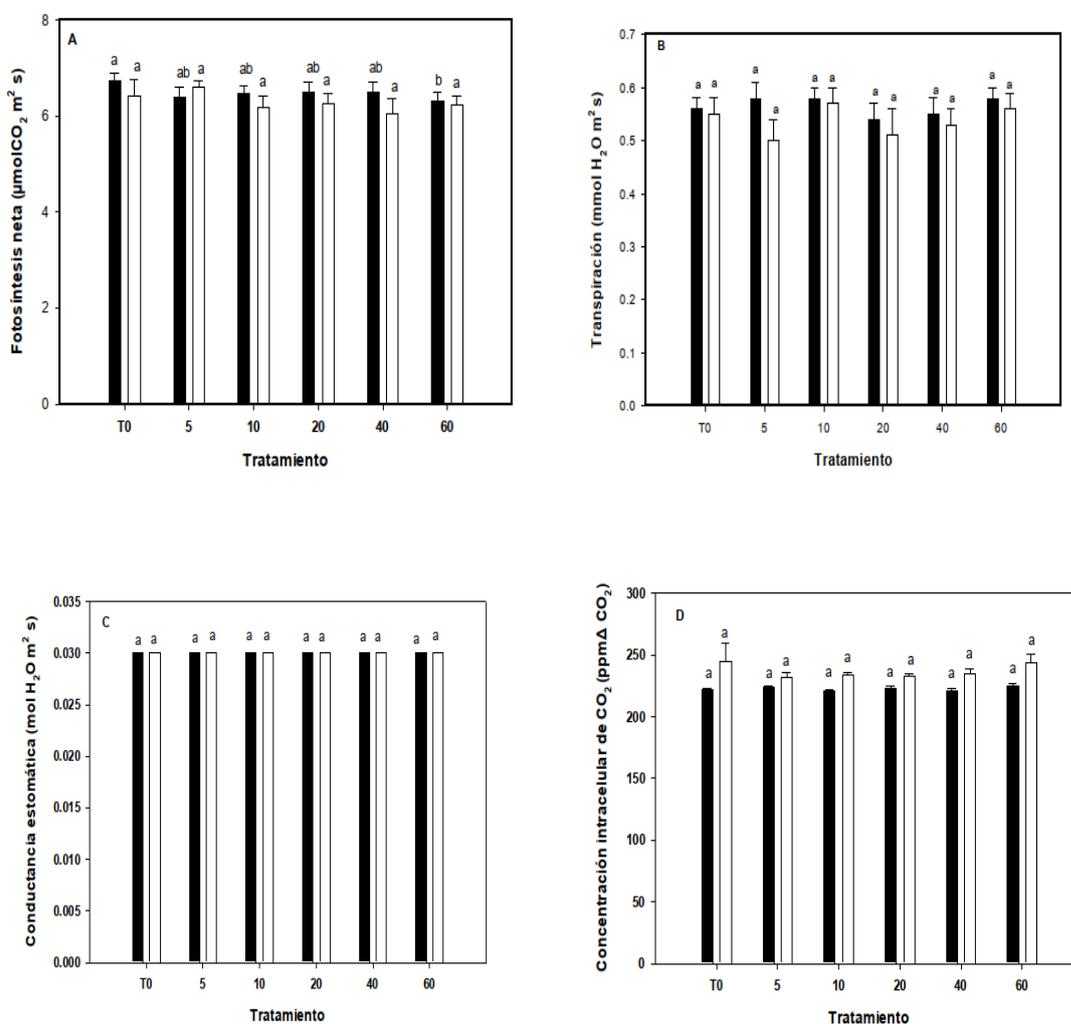
Para la transpiración, en la primera fecha no muestra diferencias, siendo el T10 y el T5 los de mayor valor y el T20 el menor, con una diferencia del 7.14 %, para la segunda fecha, tampoco se presentan diferencias, el tratamiento con mayor valor es el T10 y el de menor el T5, con una diferencia entre ellos del 12.72 % (Figura 3B).

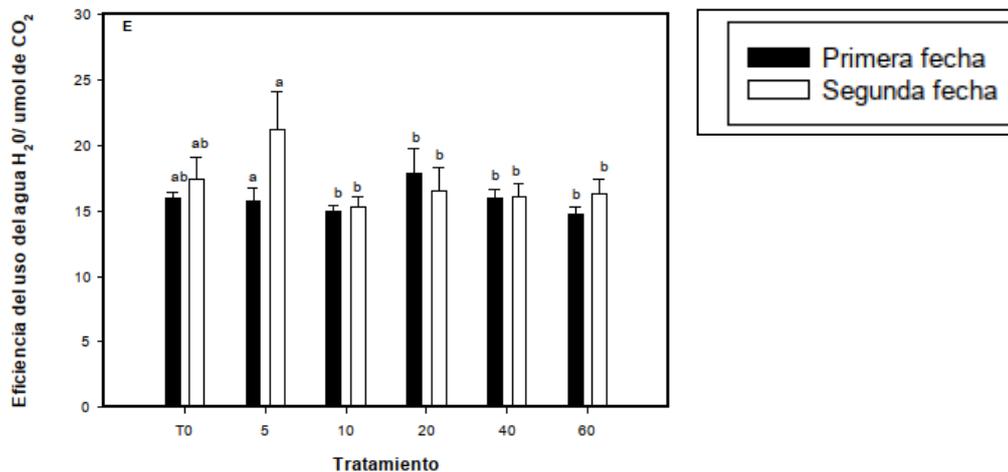
La conductancia estomática, no muestran diferencias en ninguna de las dos fechas (Figura 3C).

Para la concentración intracelular de dióxido de carbono  $CO_2$  no se mostraron diferencias, siendo el T60 el de mayor resultado y el T10 de menor, con una diferencia

mínima del 1.83 %, y en la segunda fecha el de mayor valor fue el control y el de menor el T5, con una diferencia del 5.14 % (Figura 3D).

Los resultados obtenidos en la eficiencia del uso del agua (WUE), para la primera fecha, tienen dos resultados diferentes, siendo el tratamiento 20 el de mayor valor y el tratamiento 60 el menor, con una diferencia del 19.43 % entre ellos, en la segunda fecha, también se obtienen dos resultados diferentes, el de mayor valor fue el T5, y el de menor el T10, con una diferencia significativa del 34.03 % (Figura 3E).



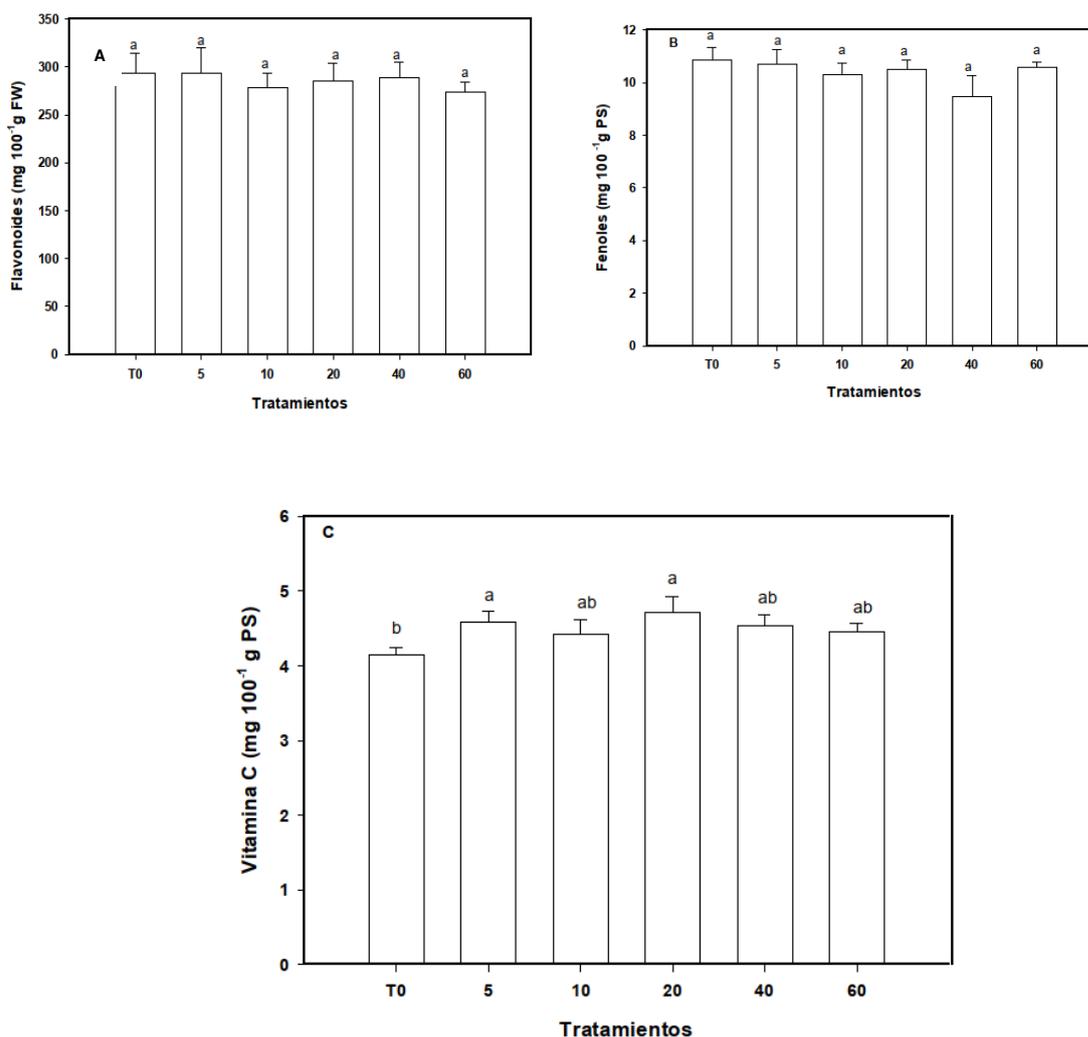


**Figura 3.** (A) Fotosíntesis neta, (B) Transpiración, (C) Conductancia estomática, (D) Concentración intracelular, (E) Eficiencia del uso del agua. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=0.05$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar.

En el caso de los flavonoides no se observan diferencias significativas, sin embargo, el valor más alto fue el control, y el más bajo el T60, con una diferencia del 6.90 %, también los niveles más cercanos al control son del T5, con una diferencia del .033 %, y del T40, con una mínima diferencia del 1.64 % (Figura 4A)

Para los fenoles, no se encontraron diferencias entre tratamientos, siendo el control el de mayor valor y el T40 el menor, con una mínima diferencia del 12.71 % (Figura 4B).

En vitamina C, se observan dos diferentes resultados, siendo el T20 el mayor, y el control el menor, con una diferencia entre tratamientos del 13.73 % (Figura 4C).



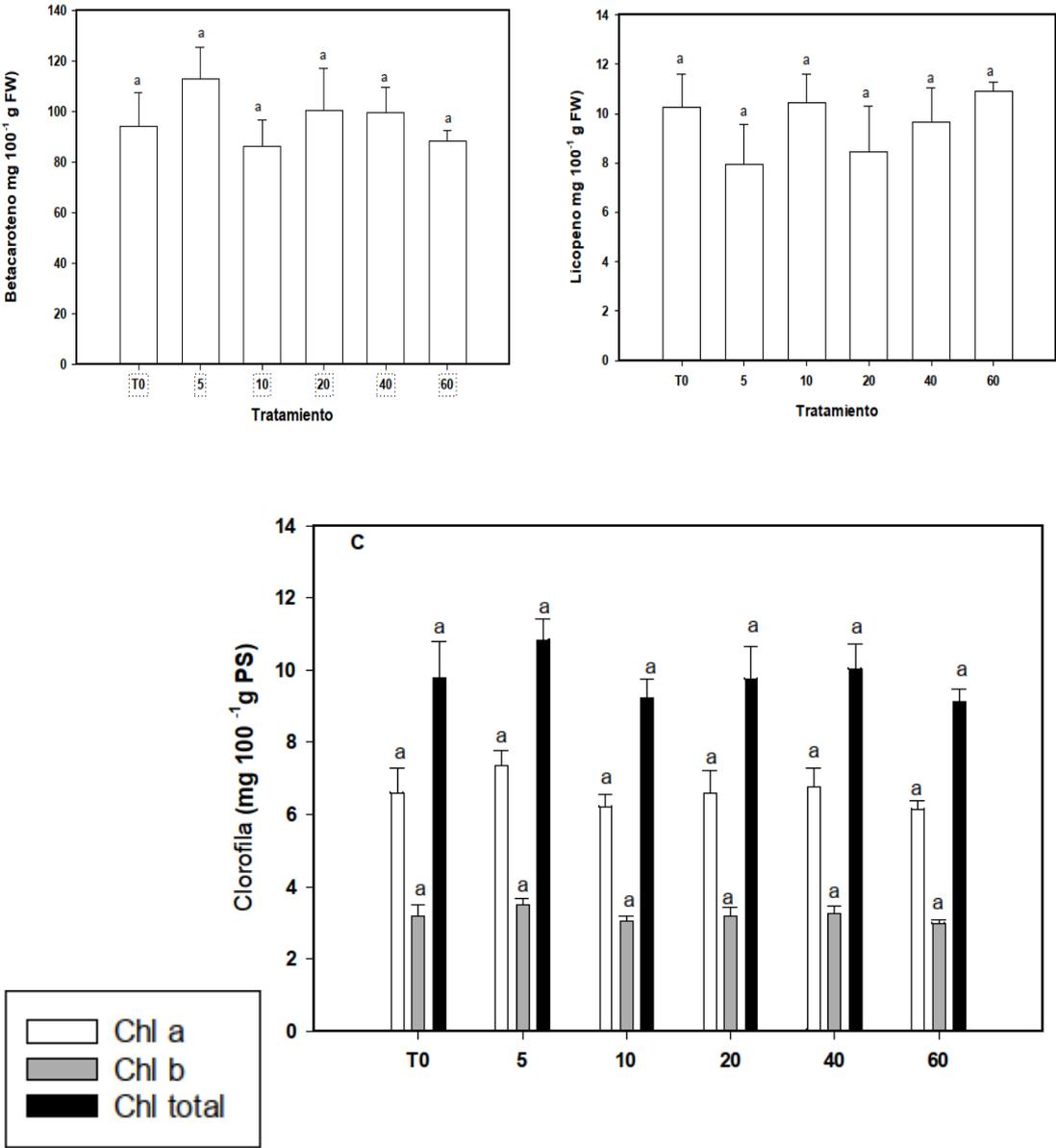
**Figura 4.** (A) Flavonoides, (B) Fenoles, (C) Vitamina C. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=0.05$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar.

En betacaroteno, no se obtuvieron diferencias entre tratamientos, siendo el T5 el mayor y el T10 el menor, con una diferencia del 28.29 %, y el T5 del control obtuvo una diferencia del 19.91 % (Figura 5A).

En licopeno, no se obtuvieron diferencias significativas, siendo el T60 con el resultado mayor y el T20 el menor, con una diferencia de 28.79 %, con una diferencia del T60 del control de 6.03 % (Figura 5B).

Para la Clorofila, no se observaron diferencias entre tratamientos, para la clorofila a, el de mayor resultado fue el T5, y la de menor el T60, con una diferencia de 18.36 %

entre ambos y del 11.53 % de diferencia del T5 del control. Para la clorofila b, no se observaron diferencias entre tratamientos, siendo el T5 el del mayor resultado y el T60 el del menor, con una diferencia del 15.98 % y del T5 al control con una diferencia del 9.40 % (Figura 5C).



**Figura 5.** (A) Betacaroteno, (B) Licopeno, (C) Clorofilas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según Fisher ( $\alpha=05$ ).  $n = 6 \pm$  error estándar.

## V DISCUSIÓN

En aspectos agronómicos estudios como el de Flint en 2019 en plantas de lechuga, la UV-A estimuló la producción de biomasa, en sus tres tratamientos, que consistían en irradiar con 3 diferentes intensidades, de UVA-10, UVA-20 y UVA-30, en la que en los tres casos, aumentó el 27 %, 29 % y 15 %, en comparación con el control, así como el área foliar se incrementó un 31 %, 32 % y 14 %, otro estudio realizado por Kang et al., en 2018 demostraron que la radiación UV-A, puede afectar cualitativamente el crecimiento de las plantas, se irradió con UV-A de  $2.28W \cdot m$ , en diferentes lapsos de tiempos, que van de 0, 4, 8, 16 horas. En este experimento no se observaron diferencias significativas respecto a la biomasa tanto de peso aéreo como de raíz, para la raíz, es el control el que obtiene el mayor valor y el T60 el segundo, con una diferencia del 8.98 %, y para la parte aérea, el control supera al T60 por 6.26 %, (figura 2A) lo cual hace referencia a que los resultados respecto a la biomasa son muy variables de acuerdo con la especie, la etapa fenológica, las condiciones, el tiempo y los nanómetros al irradiar.

Las plantas son capaces de identificar diversos tipos de fotones UV, y producir diferentes vías de transducción de señales, lo que puede dar lugar a diferentes efectos en los metabolismos secundarios de las plantas, lo que da como resultado la acumulación de sustancias químicas que tendrán diferentes efectos dependiendo la necesidad de la planta (Jiao et al., 2018).

En este caso, al someterse a radiación UV-A, a 385 nanómetros, se detectó la tendencia a incrementar metabolitos antioxidantes, como la vitamina C (Figura 4C), en la que se observó diferencias significativas, siendo el T20 mayor que el control, que difieren por 13.73 % entre dichos tratamientos. Debido a que en el T40 se produjo mayor cantidad de antioxidantes, se puede decir que es el tratamiento que presentó una mejor defensa para contrarrestar los daños por las especies reactivas de oxígeno o ROS, provocados por el estrés oxidativo. De acuerdo con Lee et al., 2019, la

irradiación a corto plazo de luz LED UV-A con diferentes longitudes que van de 370 a 185 nanómetros, aumentó los niveles de ROS en las plantas de repollo, lo que estimuló la producción de metabolitos secundarios, es decir, que la capacidad antioxidante aumentó en respuesta a la exposición de LED UV-A. En cuanto a otros antioxidantes como los fenoles y los flavonoides, (Figura 4A y 4B) no hubo diferencia significativa, y el control obtuvo los valores más altos, a diferencia de los resultados obtenidos por Flint en 2019 en plantas de lechuga, las cuales fueron irradiadas con UV-A10, UV-A20 y UV-A30, a los 3, 10 y 15 días de su germinación, en donde sus niveles de fenoles y flavonoides aumentaron más en UV-A20 y UV-A30, en comparación con el control y que en UV-A10. De igual manera sucedió con la vitamina C, que fue mayor de entre un 60 y 80 % mayor que el del control, en los 3 diferentes tratamientos.

En cuanto a los pigmentos (Betacaroteno, Licopeno y clorofila) (Figura 5A, 5B, 5C), no se encontraron diferencias significativas, aunque en betacaroteno, el T5 era ligeramente mayor que el control, con una diferencia del 19.91 %, en el licopeno, el T60, era ligeramente mayor que el control, con una diferencia del 6.03 %, y finalmente, la clorofila de igual manera fue ligeramente mayor el T5 que el control, con una diferencia del 11.53 % para la clorofila a y del 9.40 % de la clorofila b. De acuerdo con Flint en 2019, en su trabajo en lechugas también coincidió que no se detectaron diferencias significativas para los contenidos de clorofila y en carotenoides, en los cuales, aunque no hubo diferencia entre tratamientos, los valores más altos eran en los tratamientos UV-A20 y UV-A30.

De acuerdo con Qian et al., en 2020 para saber si la exposición a UV-A causa problemas en plantas no disminuyó su rendimiento fotosintético, realizó un experimento en plántulas de pepino, en el cual no hubo diferencias significativas entre sus tratamientos, que implicaban irradiar con UV-A  $150-200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  durante 16 y 4 horas al día. En primera estancia, el estudio realizado para determinar la fotosíntesis neta (Figura 3A), dio como resultado dos diferencias, en las cuales el control tenía los valores más altos, y el T60, los más bajos, con una diferencia del 6.24 %, y al ser analizado cercano a la fecha de irradiación, nos mostró que el T60 estresó a las plantas, expresándose en la disminución de la tasa fotosintética, a diferencia de la

segunda fecha en que se realizó el estudio, en la que no se encontraron diferencias, ya que se homogeneizaron los resultados. Para el resto de las variables, como transpiración, conductancia estomática y concentración intracelular (Figura 3B, 3C y 3D) no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, lo que quiere decir que no existen diferencias en los parámetros que aseguran la eficiencia fotosintética.

Las plantas, se clasifican de acuerdo al metabolismo con el que fijan el CO<sub>2</sub> y su capacidad para tener un uso eficiente del agua, en este caso el tomate es una planta C3, quienes comparadas con las rutas metabólicas C4 y CAM, tienen los rendimientos más bajos. Se obtuvieron diferentes resultados en cuanto al uso eficiente del agua (Figura 4E), en la primera fecha, el tratamiento con mejores resultados fue el T20, y el menor el T60, con una diferencia del 19.43 %, para la segunda fecha, el de mayor valor fue el T5 y el menor el T10, con una diferencia del 34.04 %, esto quiere decir que con la irradiación de UV-A, el T5 mejoró la eficiencia del uso del agua con una diferencia del 21.68 % del control.

Azcón-Bieto y Talón en 2013, indican que las plantas al ser seres inmóviles tienen que responder al entorno adverso de manera diferente a como lo hacen los animales, una de las respuestas ante el estrés es deshacerse de estructuras y órganos no esenciales, para recuperar nutrientes y ahorrar energía, para dirigir toda la energía y los nutrientes a la reproducción. Como es en el caso del número de hojas (Figura 1B), donde se observan dos diferencias significativas, en la planta control tiene mayor número de hojas, caso contrario al T10, con una diferencia del 8.25 %, ahora bien, para el número de flores (Figura 1D) donde existen dos diferencias significativas, la mayor se obtiene del T40 y la menor, del T5, con una diferencia del 31.4 % entre dichos tratamientos y una diferencia del T40 del control, de 3.28 %, en donde ligeramente se puede notar que por el estrés se disminuye el tamaño de la planta para aumentar el número de flores, como medida para preservar su especie. Finalmente para el número de racimos se puede observar dos diferencias significativas, en la que el control obtiene el mayor número de racimos que el T5, con una diferencia de 25.40 %.

## **VI CONCLUSIÓN**

Irradiar plántulas de tomate con UV-A, a una longitud de onda de 385 nanómetros, permitió la acumulación de la vitamina C, para combatir el estrés oxidativo, causado por las ROS, por lo tanto, el uso de radiación UV-A puede ser una alternativa para el desarrollo de los cultivos, sobre todo en condiciones de estrés como la menor disponibilidad del agua. Además, se puede aumentar la cantidad de antioxidantes y pigmentos que mejora el sistema de defensa antioxidante. Aunque se observó que existe una tendencia de incrementar, parece ser que el tiempo de irradiación no fue suficiente para aumentar los niveles de otros metabolitos secundarios, por lo que es muy probable que un mayor tiempo de irradiación pueda inducir mejores efectos.

## VII LITERATURA CITADA

- Agroalimentario, P., & FIRA. (2017). Tomate Rojo 2017. 2, 3. file:///C:/Users/user/Downloads/Panorama Agroalimentario Tomate Rojo 2017.pdf
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). Standardisation d'un extrait de propolis et identification des principaux constituants. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49(6), 462–468.
- Azcón-Bieto, J., y Talón, M. (2013). Fundamentos de fisiología Vegetal.
- Ballesteros Benavides, H. O. (2010). Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico. *Ideam-Meteo*.
- Blackhall, V. (2018). Estrés por alta Radiación solar en plantas de manzano (*Malus domestica* Borkh.): Estudio del proceso de fotoquímica, estrés fotooxidativo y la influencia del estatus nutricional.
- Carrasco Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *IDESIA*, 27(3), 59–76.
- CEDRSSA. (2018). La producción y el comercio del tomate en México. 1–13.
- Darras, A. I., Tsikaloudakis, G., Lycoskoufis, I., Dimitriadis, C., & Karamousantas, D. (2020). Low doses of UV-C irradiation affects growth, fruit yield and photosynthetic activity of tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 267 (March), 109357. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109357>
- Derebe, A. D., Gobena Roro, A., Tessfaye Asfaw, B., Worku Ayele, W., & Hvoslef-Eide, A. K. (2019). Effects of solar UV-B radiation exclusion on physiology, growth and yields of taro (*Colocasia esculenta* (L.)) at different altitudes in tropical environments of Southern Ethiopia. *Scientia Horticulturae*, 256(June), 108563. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108563>

- Díaz-Leyva, C. E., Bacópulos-Mejía, E., Ruiz-Torres, N. A., Ibarra-Jiménez, L., & Benavides-Mendoza, A. (2017). Irradiación de semillas de tomate con UV-B y UV-C: Impacto sobre germinación, vigor y crecimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 105–118. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.75>
- Flint, S. D. (2019). UVA Radiation is beneficial for yield and quality of indoor cultivated lettuce. 10(December), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01563>
- Flores-Luna, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J., & Pinzón-López, L. (2012). Effect of water stress on growth and water use efficiency of tree seedlings of three deciduous species. *Terra Latinoamericana*, 30, 343–353.
- Hung, C. Y., & Yen, G. C. (2002). Antioxidant activity of phenolic compounds isolated from *Mesona procumbens* Hemsl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 2993–2997. <https://doi.org/10.1021/jf011454y>
- Kang, S., Zhang, Y., Zhang, Y., Zou, J., & Yang, Q. (2018). Ultraviolet-A radiation stimulates growth of indoor cultivated tomato (*Solanum lycopersicum*) Seedlings. 53(2017), 1429–1433. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13347-18>
- Lee, J. H., Oh, M. M., & Son, K. H. (2019). Short-Term Ultraviolet (UV)-A Light-Emitting Diode (LED) Radiation improves biomass and bioactive compounds of kale. *Frontiers in Plant Science*, 10(August), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01042>
- Liu, L., Johnson, R. M., Travers, J. B., Liu, L., Awoyemi, A. A., Fahy, K. E., Thapa, P., Borchers, C., Wu, B. Y., Mcglone, C. L., Schmeusser, B., Sattouf, Z., Rohan, C. A., Williams, A. R., Cates, E. E., Knisely, C., Kelly, L. E., Bihl, J. C., Cool, D. R., ... Travers, J. B. (2021). Keratinocyte-derived microvesicle particles mediate ultraviolet B radiation – induced systemic immunosuppression Keratinocyte-derived microvesicle particles mediate ultraviolet B radiation – induced systemic immunosuppression. 131(10).
- Maharaj, R., Arul, J., & Nadeau, P. (2010). UV-C irradiation of tomato and its effects on color and pigments. *Advances in Environmental Biology*, 4(2), 308–315.
- Mariz-Ponte, N., Mendes, R. J., Sario, S., Melo, P., & Santos, C. (2018). Moderate UV-A supplementation benefits tomato seed and seedling invigoration: a contribution

to the use of UV in seed technology. *Scientia Horticulturae* 235(March), 357–366.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.025>

Méndez Espinoza, C., & Vallejo Reyna, M. Á. (2019). Perspectiva de las especies forestales Response mechanisms to abiotic stress: towards a forest species perspective Introducción El estrés abiótico se refiere a los factores ambientales que alteran los procesos fisiológicos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56).

Montaño Méndez, I. E., Valenzuela Patrón, I. N., & Villavicencio López, K. V. (2021). Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1185–1197.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>

Mukhopadhyay, S., Ukuku, D. O., Juneja, V., & Fan, X. (2014). Effects of UV-C treatment on inactivation of *Salmonella* enterica and *Escherichia coli* O157: H7 on grape tomato surface and stem scars, microbial loads, and quality. *Food Control*, 44(2014), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.03.027>

Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Japan Society for Food Science and Technology*, 39, 925–928

Narváez, J. A. N. (2017). Agrícola Nacional JITOMATE. Planeación Agrícola Naional 2017-2030, 2–20.

Qian, M., Rosenqvist, E., Flygare, A., Kalbina, I., Teng, Y., Jansen, M. A. K., & Strid, Å. (2020). UV-A light induces a robust and dwarfed phenotype in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) without affecting fruit yield. *Scientia Horticulturae*, 263(August 2019), 109110. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109110>

Sol, M. (2019). Respuestas de las Plantas Frente a la Radiación UV -B : Reparación del daño al ADN, regulación de la expresión génica y de la progresión del ciclo celular. 1–186.

Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and soil*, 15(2), 134-154.

Thomas T.T., D., & Puthur, J. T. (2017). UV radiation priming: A means of amplifying

the inherent potential for abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental and Experimental Botany*, 138, 57–66.  
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.003>

Vargas, C. M. (2014). Efecto del incremento en la radiación UV-B y la temperatura en variedades comerciales y accesiones nativas del banco germoplasma chileno de papa.

Verdaguer, D., Jansen, M. A. K., Llorens, L., Morales, L. O., & Neugart, S. (2017). UV-A radiation effects on higher plants: Exploring the known unknown. *Plant Science*, 255, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.014>

Yu, Z., & Dahlgren, R. A. (2000). Polyphenols in Conifer Foliage. *Journal of Chemical Ecology*, 26(9), 2119–2140.