



# UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

**Efecto de la suplementación con luz UV-A sobre el rendimiento, calidad microbiológica y compuestos funcionales de micro-hortalizas de mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*)**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

**CRISTÓBAL ANDRÉS ESTÉVEZ GARAY**

Directores de Tesis

**VÍCTOR HUGO ESCALONA CONTRERAS**

**RICARDO PERTUZÉ CONCHA**

Profesores consejeros

**CECILIA BAGINSKY GUERRERO**

**ÁLVARO PEÑA NEIRA**

Santiago - Chile

2021

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

Efecto de la suplementación con luz UV-A sobre el rendimiento, calidad microbiológica y compuestos funcionales de micro-hortalizas de mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*)

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

**CRISTÓBAL ANDRÉS ESTÉVEZ GARAY**

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)
<b>DIRECTOR DE TESIS/AFE</b>		
Víctor Hugo Escalona Contreras Ingeniero Agrónomo, Dr.	6.5	6.5
Ricardo Pertuzé Concha Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	6.7	6.7
<b>PROFESORES CONSEJEROS</b>		
Cecilia Baginsky Guerrero Ingeniero Agrónomo, Dr.	5.8	5.8
Álvaro Peña Neira Ingeniero Agrónomo, Dr.	6.0	6.0

Santiago, Chile  
2021

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mi familia y amigos que me han apoyado a lo largo de mi carrera y en la realización de la presente tesis. Otorgándome ánimos y el hombro en los momentos de mayor dificultad.

Agradecer a los directores Srs. Víctor Hugo Escalona y Ricardo Pertuzé Concha por colaborar y sacar lo mejor de mí. Como también entregarme la oportunidad de realizar la presente tesis, posterior a la dificultad de la tesis en Aysén.

A su vez, agradecer al personal y amigos del laboratorio CEPOC que me permitieron desarrollar mi tesis y estuvieron ahí siempre para ayudarme en los ensayos y toma de datos. En especial a mi amigo Benjamín que me apoyó y ayudó a montar los ensayos, además de enseñarme como escribir una tesis.

Finalmente me gustaría agradecer a los proyectos de Transferencia Producción de micro-hortalizas IV gama (FIC 40008902-0, Región de O'Higgins) y REDES 190057 (ANID, Chile) que me permitieron realizar la tesis en algo innovador, lo cual considero el futuro de la horticultura.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	2
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
Micro-hortalizas	3
Respuestas y usos de la radiación UV-A	4
Hipótesis	5
Objetivos	5
General	5
Específicos	5
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	6
Ubicación del estudio	6
Material biológico	6
Diseño experimental y tratamientos	6
Condiciones de crecimiento	7
Evaluaciones	9
Evaluaciones físicas	9
Evaluaciones químicas	10
Evaluaciones microbiológicas	12
Análisis estadístico	12
<b>RESULTADOS</b>	13
Evaluaciones físicas	13
Peso fresco	13
Porcentaje de materia seca	13
Largo del hipocótilo	13
Área de cotiledón	14
Textura	14
Color	14
Evaluaciones químicas	16
Antocianinas totales	16
Clorofilas totales	16
Carotenoides totales	16
Fenoles totales	16
Capacidad antioxidante	16
Recuentos microbiológicos	18
Bacterias mesófilas	18
Bacterias psicrofilas	18
Bacterias coliformes	18

<b>DISCUSIÓN</b>	19
Evaluaciones físicas	19
Peso fresco	10
Porcentaje de materia seca	20
Largo del hipocótilo	20
Área de cotiledón	21
Textura	21
Color	22
Evaluaciones químicas	22
Antocianinas totales	22
Clorofilas totales	23
Carotenoides totales	23
Fenoles totales	24
Capacidad antioxidante	24
Evaluaciones microbiológicas	25
<b>CONCLUSIONES</b>	26
<b>LITERATURA CITADA</b>	27
<b>APÉNDICE</b>	31
<b>ANEXO</b>	38

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en micro-hortalizas de mizuna variedades roja y verde sometidas a cuatro intensidades de radiación UV-A.	7
Cuadro 2. Respuesta de variedades de mizuna sometidas a cuatro intensidades de radiación UV-A y respuesta de las intensidades en dos variedades.	15
Cuadro 3. Parámetros físicos con interacciones entre variedades de mizuna e intensidad de radiación UV-A.	15
Cuadro 4. Respuesta de variedades de mizuna sometidas a cuatro intensidades de radiación UV-A y respuesta de las intensidades en dos variedades.	17
Cuadro 5. Respuesta de variedades de mizuna sometidas a cuatro intensidades de radiación UV-A y respuesta de las intensidades en dos variedades.	18

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. 1) Montaje de sustrato al interior de las macetas de plástico. 2) Siembra de cama de semillas de mizuna en el sustrato. 3) Montaje de macetas sobre estantes metálicos. 4) Montaje de luces led azul/rojo/rojo lejano y tubos fluorescentes de radiación UV-A, se observa el sensor puntual de radiación UV-A. 8
- Figura 2. 1) Macetas de micro-hortalizas de mizuna roja. 2) Macetas de micro-hortalizas de mizuna verde. 3) Macetas de micro-hortalizas de mizuna al inicio del tratamiento de radiación UV-A. 9
- Figura 3. Variación de la capacidad antioxidante (DPPH) entre variedades de mizuna e intensidades de radiación UV-A. 17

## RESUMEN

Las micro-hortalizas son un nuevo formato de hortalizas tiernas e inmaduras, las cuales han tomado relevancia en el mercado debido a su atractiva apariencia y alto contenido de compuestos funcionales, vitaminas y minerales, en comparación a su contraparte en estado maduro. Durante el crecimiento, la radiación lumínica es absorbida y censada por la planta para modificar su desarrollo y responder al estrés ambiental. Las respuestas de las plantas a la radiación UV-A son múltiples, demostrando principalmente un aumento significativo en la acumulación de compuestos funcionales (flavonoides, antocianinas, fenoles, clorofila y ácido ascórbico). Dado lo anterior, se realizó un ensayo que consistió en la suplementación de distintas intensidades de radiación UV-A sobre un cultivo de micro-hortalizas de mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*) variedades verde y roja. Las plántulas fueron cultivadas en macetas plásticas sobre estantes, al interior de una cámara de cultivo bajo lámparas de crecimiento azul/rojo/rojo lejano. Se evaluó los efectos de la radiación UV-A en las variables de crecimiento, acumulación de compuestos funcionales y calidad microbiológica. Se apreció una falta de significancia de las dosis de radiación UV-A utilizadas en las variables de crecimiento, acumulación de compuestos funcionales y carga microbiológica de micro-hortalizas de mizuna. Se observó un aumento significativo en el largo del hypocótilo en intensidades de radiación UV-A de  $13 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para mizuna verde y roja.

**Palabras clave.** Brassicaceae, cámara de cultivos, flavonoides, radiación lumínica

## ABSTRACT

Microgreens are a new format of tender and immature vegetables, which have gained relevance in the market due to their attractive appearance and high content of functional compounds, vitamins and minerals, compared to their counterpart in a mature state. Light radiation is absorbed and sensed by the plant to modify its development and respond to environmental stress. The responses of plants to UV-A radiation are multiple, mainly demonstrating a significant increase in the accumulation of functional compounds (flavonoids, anthocyanins, phenols, chlorophyll and ascorbic acid). For that reason, an essay was performed that consisted in the supplementation of different intensities of UV-A radiation on microgreens crops of green and red varieties of mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*). The seedlings were grown in plastic pots on shelves, inside a crop chamber under blue/red/far red grow lamps. The effects of UV-A radiation on the variables of growth, accumulation of functional compounds and microbiological quality were evaluated. The lack of significance of UV-A radiation treatments in mizuna microgreens on growth variables, accumulation of functional compounds and microbiological load was appreciated. A significant increase in hypocotyl length was observed at UV-A radiation intensities of  $13 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  for green and red mizuna.

**Key words.** Brassicaceae, culture chamber, flavonoids, light radiation

## INTRODUCCIÓN

### Micro-hortalizas

Las micro-hortalizas o microgreens corresponden a vegetales tiernos e inmaduros, las cuales se obtienen de semillas de diversas especies hortícolas, florales y plantas comestibles silvestres, lo que permite encontrar una alta variedad de sabores, colores y texturas (Paradiso *et al.*, 2018; Xiao *et al.*, 2012). Este nuevo formato de hortalizas es cosechado cuando los cotiledones están completamente expandidos y antes que el primer par de primeras hojas verdaderas esté totalmente expandido (Sun *et al.*, 2013). En general, para alcanzar este estado se requiere entre siembra a cosecha de aproximadamente 7 a 20 días (Shabir *et al.*, 2016; Xiao *et al.*, 2012).

Actualmente, las micro-hortalizas han tomado relevancia en el mercado debido a su alto contenido de fenoles totales, antocianinas, glucosinolatos, carotenos,  $\alpha$ -tocoferol,  $\beta$ -caroteno, ácido ascórbico, filoquinona y minerales como Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se y Mo (Paradiso *et al.*, 2018; Xiao *et al.*, 2012; Sharma *et al.*, 2012), los cuales permiten promover la salud y prevenir ciertas enfermedades del tipo cardiovasculares y cáncer (Terry *et al.*, 2012). Por lo mencionado anteriormente, las micro-hortalizas son ampliamente llamados “alimentos funcionales” o “súper alimentos” (Paradiso *et al.*, 2018).

Hoy en día existen alrededor de 80 a 100 cultivos que podrían ser utilizados para micro-hortalizas, siendo los más usados los de repollo, acelga, radicchio, amaranto, beterraga, kale, colirrábano, mizuna y mostaza (Brazaitytė *et al.*, 2015). Las principales especies que se cultivan pertenecen a la familia *Brassicaceae* (Sun *et al.*, 2013), ya que son una fuente de altas concentraciones de ácido ascórbico, glucosinolatos, polifenoles y tocoferoles (Terry *et al.*, 2012). La mayoría de las variedades provienen de Asia y pertenecen a las especies *Brassica oleracea* y *Brassica rapa*. Estas hortalizas son plantas bienales de invierno, las cuales requieren temperaturas óptimas de germinación entre 10 a 16°C, con una mínima de 4°C, y de crecimiento entre 13 a 24°C, con una temperatura base de 4°C (Da luz *et al.*, 2012; Russo *et al.*, 2010). No existe un fotoperiodo óptimo de crecimiento para las primeras tres semanas (a intensidades de 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), puesto que cuanto mayor es el número de horas de luz, no necesariamente la acumulación de materia fresca aumenta significativamente (Palmer *et al.*, 2018).

Las micro-hortalizas son producidas sobre bandejas en sistemas de suelo o hidropónico, en invernadero o cámara de cultivo, con una humedad relativa entre 40 a 65% (Samuoliene *et al.*, 2017; Brazaitytė *et al.*, 2015; Vaštakait *et al.*, 2015). El medio de cultivo más utilizado es la turba, la cual se origina de la descomposición de vegetales en turberas y está altamente asociado al aumento de la carga microbiológica y el desarrollo de bacterias coliformes (Di Gioia *et al.*, 2017). Las micro-hortalizas pueden ser cultivadas durante todo el año gracias a la suplementación o complementación de radiación artificial a través de lámparas de crecimiento de radiación PAR (400 – 700 nm) (Anexo I), siendo vitales para el crecimiento los espectros azules (380 – 500 nm) y rojos (630 – 700 nm). Estas lámparas son utilizadas

para producir o mejorar la fotosíntesis o generar flavonoides (Samuoliene *et al.*, 2017; Vaštakait *et al.*, 2017).

### Respuestas y usos de la radiación UV-A

La radiación lumínica es absorbida por las plantas y utilizada para iniciar el proceso de fotosíntesis (Franklin *et al.*, 2005). Por otro lado, la radiación lumínica al ser absorbida es censada por las plantas modificando su desarrollo, a través de la discriminación de la calidad e intensidad radiactiva a la cual son expuestas. De esta forma las plantas perciben información sobre el largo del día (estacionalidad y ciclo circadiano) y dirección de la radiación, permitiendo respuestas de desarrollo como la germinación, formación de hojas y reproducción. Además, al censar la radiación lumínica son también capaces de estimular procesos adaptativos en entornos adversos como radiación alta, competencia, depredación, sequía, salinidad, calor o frío (D'Amico-Damião y Carvalho, 2018; Mawphlang y Kharsgiing, 2017; De Wit *et al.*, 2016; Ballaré, 2014). Estos procesos de adaptación estimulan respuestas en la planta, generando modificaciones en su crecimiento, desarrollo o aumentando la concentración de compuestos funcionales (Huché-Théliér *et al.*, 2016).

La respuesta a la radiación UV-A (315 – 400 nm) se relaciona directamente con el proceso de desarrollo de la planta en estado de semilla, germinación y establecimiento, y a la síntesis y acumulación de flavonoides (D'Amico-Damião y Carvalho, 2018; Huché-Théliér *et al.*, 2016; Lariguet y Fankhauser, 2004). Existen variadas respuestas a la radiación UV-A reportadas en diferentes cultivos realizados en el interior de túneles y al aire libre. Estos estudios muestran modificaciones en la altura de brote, tallo y área foliar, resistencia a patógenos, acumulación de  $\beta$ -caroteno, carotenoides, antocianinas, flavonoides y fenoles (Anexo II). En lechuga (*Lactuca sativa*) se ha visto un aumento significativo en la concentración de antocianinas, flavonoides y fenoles totales bajo tratamientos de bloqueo de radiación UV y suplementación de radiación UV-A en intensidades de  $18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Tsormpatsidis *et al.*, 2010; Li y Kubota, 2009; Tsormpatsidis *et al.*, 2008). Por otro lado, la suplementación con radiación UV-A también se ha aplicado en micro-hortalizas al interior de cámaras de cultivo (Brazaitytė *et al.*, 2016).

A pesar de existir gran interés por desarrollar técnicas que permitan mejorar las variables nutricionales de las plantas, la información respecto a este tipo de tratamientos es reducida (Huché-Théliér *et al.*, 2016). Además, las respuestas de crecimiento y concentración de compuestos funcionales varían dependiendo del espectro, la intensidad, la especie y la variedad (Anexo II), observándose una mayor acumulación de antocianinas y fenoles totales en variedades rojas y verdes respectivamente (Brazaitytė *et al.*, 2015; Vaštakaitė *et al.*, 2015).

En un estudio llevado a cabo por Brazaitytė *et al.* (2016), el incremento más significativo en crecimiento y compuestos funcionales fue producido en longitudes entre 366 y 390 nm. En dichas longitudes, los tratamientos suplementados con radiación UV-A entre 6,2 y  $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y luces de colores verde (520 nm), amarillo (595 nm) y anaranjado (622 nm) a  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , en un fotoperiodo de 16/8 horas día/noche, resultaron en un incremento del área del cotiledón, capacidad antioxidante (DPPH), fenoles totales, antocianinas, ácido ascórbico,

índice de clorofila y  $\alpha$ -tocoferol en micro-hortalizas de pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) y beterraga (*Beta vulgaris*). Por otro lado, no existen estudios previos que demuestren los efectos de la suplementación con radiación UV-A con espectro de luz PAR para el cultivo de mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*) en condiciones de confinamiento (“indoor”).

### **Hipótesis**

La aplicación de radiación UV-A sobre micro-hortalizas de mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*) complementada con radiación PAR azul (448 nm), rojo (630 nm) y rojo lejano (738 nm) al interior de una cámara de cultivo, aumenta la concentración de compuestos funcionales sin alterar las variables de crecimiento.

### **Objetivo General**

Determinar la dosis de UV-A que permita aumentar la concentración de compuestos funcionales y favorezca el rendimiento de micro-hortalizas de mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*) variedades de color roja y verde, complementadas con radiación PAR azul (448 nm), rojo (630 nm) y rojo lejano (738 nm) al interior de una cámara de cultivo.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar la concentración de compuestos funcionales (capacidad antioxidante, fenoles totales, antocianinas totales e índice de clorofilas) de las micro-hortalizas de mizuna variedades roja y verde sometidas a distintas dosis de radiación UV-A complementadas con radiación PAR azul (448 nm), rojo (630 nm) y rojo lejano (738 nm) al interior de una cámara de cultivo.
- Estimar el rendimiento de una bandeja de cultivo y el peso seco de las micro-hortalizas de mizuna variedades roja y verde sometidas a distintas dosis de radiación UV-A complementadas con radiación PAR azul (448 nm), rojo (630 nm) y rojo lejano (738 nm) al interior de una cámara de cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Ubicación del estudio

El estudio se realizó al interior de una cámara de cultivo en el laboratorio CEPOC (Centro de Estudio Postcosecha), ubicado en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

### Material biológico

Se utilizaron dos variedades de mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*), una variedad roja (proveedor: Euro Seme) y una verde (proveedor: Semencoop).

### Diseño experimental y tratamientos

Se aplicaron ocho tratamientos sobre micro-hortalizas en macetas plásticas, consistiendo en dos variedades de mizuna (roja y verde) y a la suplementación de cuatro intensidades de radiación UV-A (0, 6, 13 y 26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Cuadro 1). Siendo la unidad experimental y muestral una maceta de plástico de micro-hortalizas. De esta manera se realizó un diseño completamente aleatorizado con estructura de parcelas divididas (DPD) con 4 repeticiones, en donde los factores a estudiar correspondieron a la variedad, la suplementación de radiación UV-A y a la interacción entre la variedad e intensidad de radiación UV-A.

En donde la ecuación correspondiente a este modelo se denota de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + V_j + (LV)_{ij} + PP_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde  $Y_{ijk}$  representa a la observación en el  $j$ -ésimo nivel del factor aplicado a la subparcela de la  $i$ -ésima parcela principal,  $\mu$  corresponde a la media muestral,  $R_i$  es el  $i$ -ésimo nivel del factor radiación UV-A aplicado a la parcela principal,  $V_j$  es el  $j$ -ésimo nivel del factor variedad aplicado a la subparcela,  $(LV)_{ij}$  corresponde a la interacción entre la  $i$ -ésima y el  $j$ -ésimo nivel de la parcela principal (radiación UV-A) y la subparcela (variedad) respectivamente,  $PP_k$  es el efecto de la parcela principal y, por último,  $\varepsilon_{ijk}$  representa el error experimental de la subparcela.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en micro-hortalizas de mizuna variedades roja y verde sometidas a cuatro intensidades de radiación UV-A.

Tratamientos	Variedad	Intensidad UV-A
		$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Vx0	Verde	0
Vx6	Verde	6
Vx13	Verde	13
Vx26	Verde	26
Rx0	Roja	0
Rx6	Roja	6
Rx13	Roja	13
Rx26	Roja	26

### Condiciones de crecimiento

Se sembraron semillas de mizuna en macetas plásticas de 24 x 16 x 6 cm, con sustrato de turba (Kekkilä, DSM 2 W, Finlandia) (CE: 0,3 dS  $\text{m}^{-1}$ ) más perlita expandida (1:1) previamente autoclavados y humedecidos. La siembra se realizó con una densidad aproximada de dos plantas  $\text{cm}^{-2}$ , equivalentes a 1,41 y 2,15 g de semillas por maceta de mizuna variedad roja y verde, respectivamente. Las macetas se colocaron sobre estantes de 170 x 45 x 180 cm que estuvieron dispuestos al interior de una cámara de cultivo de 350 x 260 x 280 cm.

Las plantas fueron cultivadas bajo lámparas de crecimiento de 25 x 25 cm (Lámpara de crecimiento, Asycar, Chile) con un máximo en azul (448 nm), rojo (630 nm) y rojo lejano (738 nm), que irradia un área de 1.600  $\text{cm}^2$ , con una densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) de 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (azul 26%, rojo 68% y rojo lejano 1,2%) a una altura de 20 cm sobre las plantas. La radiación fue medida a través del sensor puntual (Lighting Passport, Asensetek, Taiwan) de un radiómetro (DELTA OHM, HD9021, Italia). El fotoperiodo de las lámparas de crecimiento fue de 16/8 horas (día/noche), a una temperatura de 20/18°C y una humedad relativa de 60 a 73% (Cuadro 1, Apéndice I), según ensayos de suplementación en micro-hortalizas descritos en la revisión bibliográfica (Anexo II). La temperatura y humedad relativa fueron monitoreados con un datalogger (EXTECH instruments, RHT10, Estados Unidos).

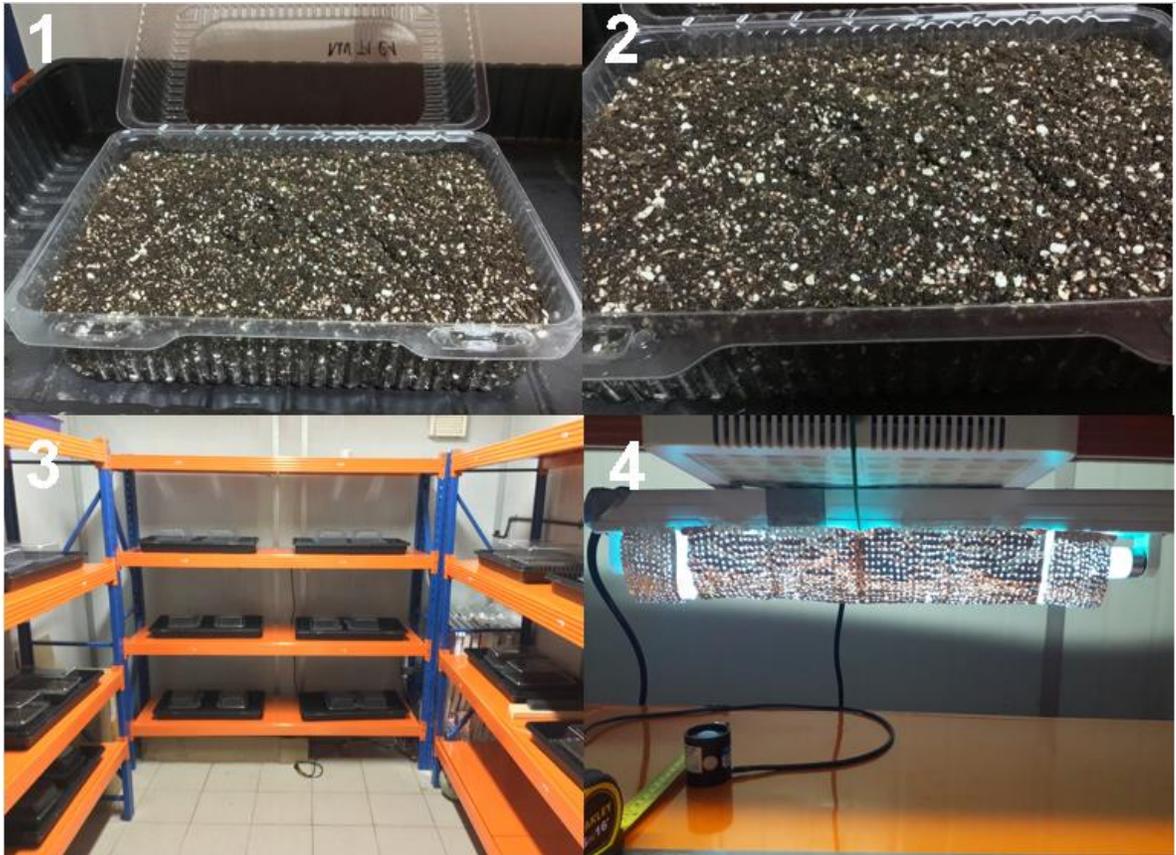


Figura 1. 1) Montaje de sustrato al interior de las macetas de plástico. 2) Siembra de cama de semillas de mizuna en el sustrato. 3) Montaje de macetas sobre estantes metálicos. 4) Montaje de luces led azul/rojo/rojo lejano y tubos fluorescentes de radiación UV-A, se observa el sensor puntual de radiación UV-A.

Para la aplicación de radiación UV-A, se utilizaron paneles de 57 x 17 cm (modelo: Actinic BL TL-D TL-D 15W/10 Secura 1SL/25, Philips, Países Bajos) con un máximo en 370 nm, que irradia un área de 6.000 cm<sup>2</sup>, Estos estaban ubicados a una altura de 16 cm sobre la bandeja y al centro de la lámpara de crecimiento, el cual fue aplicado en tres distintas intensidades ( $6\pm 2$ ,  $13\pm 2$  y  $26\pm 3\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) mediante al uso de papel aluminio, el cual se utilizó para recubrir el tubo y lograr la intensidad deseada, previamente cuantificada con un sensor puntual (Solar light, PMA 2110, EE.UU.) de un radiómetro (Solar light, PMA 2200, EE.UU.). El fotoperiodo de la radiación UV-A correspondió al mismo que fue utilizado para las lámparas de crecimiento, 16/8 horas (día/noche).

Las micro-hortalizas fueron regadas con agua potable (sin fertilizantes, CE: 1,45 dS m<sup>-1</sup>) por ascenso capilar, asegurando la humedad necesaria para el crecimiento del cultivo. Inicialmente se homogenizó la germinación y el crecimiento dejando las macetas dos días en plena oscuridad y dos días bajo las lámparas de crecimiento antes de ser aplicados los tratamientos con radiación UV-A. Posteriormente las plántulas tratadas fueron cosechadas a los 8 y 10 días para los cultivos de mizuna verde y roja, respectivamente. El momento de cosecha fue cuando el 80% del cultivo presentó el estado de primera hoja verdadera, y se cortaron con tijeras a 1 cm sobre el sustrato para para que este último no contamine al cultivo.

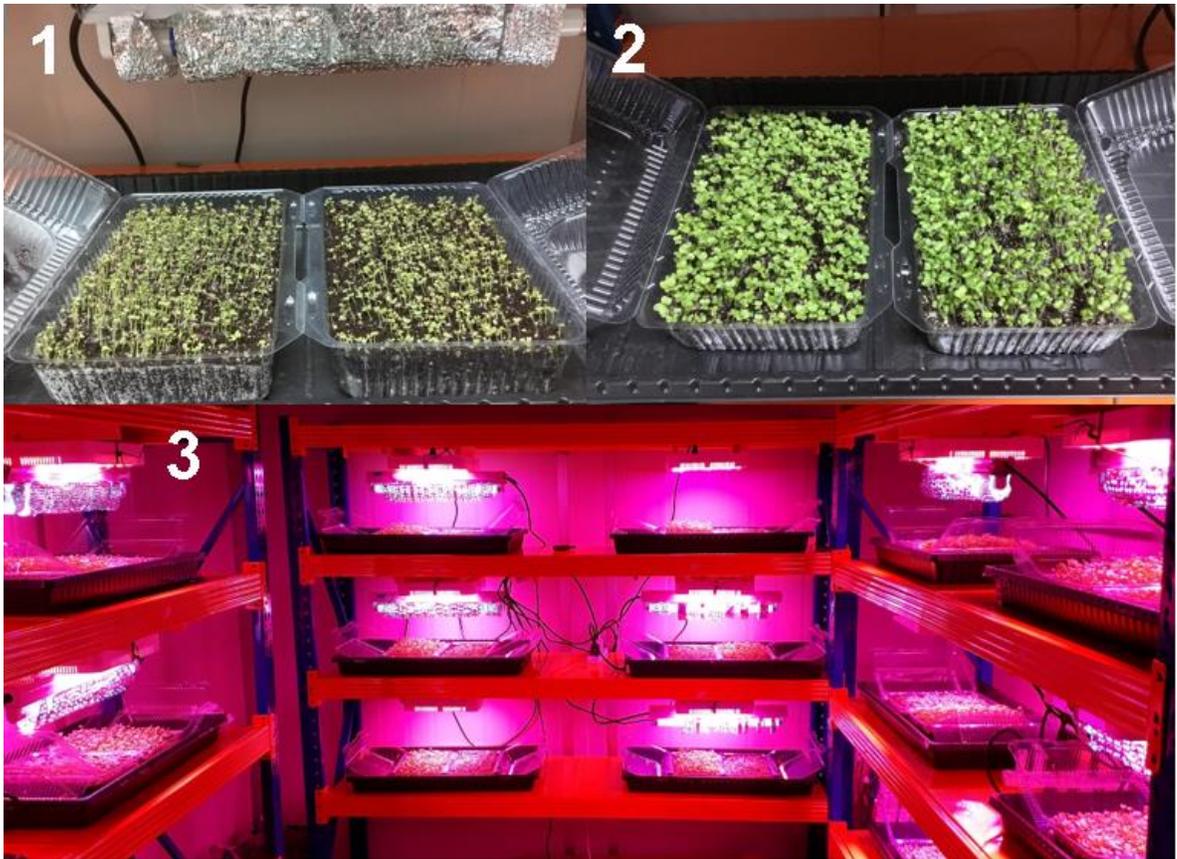


Figura 2. 1) Macetas de micro-hortalizas de mizuna roja. 2) Macetas de micro-hortalizas de mizuna verde. 3) Macetas de micro-hortalizas de mizuna al inicio del tratamiento de radiación UV-A.

## Evaluaciones

### Evaluaciones físicas

**Peso fresco (g):** Se midió la masa total de micro-hortalizas de mizuna cosechadas por bandeja a través de una balanza de precisión (Radwag, AS 100/C/2, Polonia). El resultado fue expresado en gramos de materia fresca por bandeja.

**Porcentaje de materia seca (%):** Se midió la materia seca de 5 g de micro-hortalizas frescas cosechadas por bandeja, los cuales se secaron en una estufa (LabTech, LFO-250F, Corea) a 60°C hasta peso constante. Posteriormente se pesó a través de una balanza semi analítica (Kern, CMN3000-1, Alemania) y se presentó el resultado como porcentaje del peso seco en gramos de materia seca por 100 g de materia fresca de micro-hortalizas.

**Área del cotiledón** (cm<sup>2</sup>): El área fue medida a través del uso de imágenes digitales (fotografías) del cotiledón, a través del programa ImageJ (versión 1.52q48). Se utilizaron 20 micro-hortalizas elegidas al azar de cada repetición.

**Largo del hipocótilo** (cm): Se midió el largo del hipocótilo de las micro-hortalizas a través del uso de imágenes digitales (fotografías). Se utilizaron 20 micro-hortalizas elegidas al azar de cada repetición.

**Color:** Se midió el tono (Hue), saturación (C) y luminosidad (L) del cotiledón a través del uso de un colorímetro compacto triestímulo (modelo: Minolta Chroma meter, CM – 2500d, Japón). Se utilizaron 20 micro-hortalizas elegidas al azar de cada repetición, de las cuales se extrajeron sus cotiledones y fueron colocados sobre una cinta adhesiva, midiendo sobre 5 puntos al azar de la cinta.

**Textura** (N): Se midió la textura del hipocótilo de las micro-hortalizas a través de un analizador de textura (Stable Micro Systems, TA.XT Express enhanced, Inglaterra), el cual fue adaptado a una sonda HDP/BSG: (“Blade set with guillotine”). La medición se ejecutó a una velocidad de 2 mm s<sup>-1</sup> hasta una profundidad de corte de 5 mm. Se utilizaron cinco micro-hortalizas elegidas al azar de cada repetición. Los datos se analizaron mediante el Software Exponent Lite Express Versión 6.1 y los resultados se expresaron como la fuerza máxima de corte (N).

## Evaluaciones químicas

Previo a los análisis se realizó una extracción de 10 g de micro-hortalizas (previamente congeladas a - 80°C posterior a la cosecha, modelo: SANYO, MDF – U33V, Japón), que fueron obtenidas de manera aleatoria por repetición a través de un liofilizador (modelo: ilShinBioBase, FD5508, Corea) por 48 h, hasta obtener un peso constante. Posterior al deshidratado se trituró a través de un molinillo y mortero, dejando la muestra lo más fina posible. Luego se extrajo el triturado con 10 mL de metanol 80:20 y 0,2 g de la muestra seca de micro-hortalizas. Estos fueron depositados en un tubo falcón de 15 mL y colocados en un vortex (modelo: Scilogex, MX-S, EE. UU.) por 1 min, luego en un sonicador (modelo: Branson, B-220, EE. UU) por 15 min (cada 5 min se agitaron las muestras) y por último se centrifugaron en una centrifuga (modelo: HERMLE Labortechnik, Z326K, Alemania) por 15 min a 6.037 g<sub>n</sub>. Finalmente, el sobrenadante fue filtrado con un filtro de pirinola de 0,22 µm al interior de un tubo eppendorf de 1,5 mL.

La capacidad antioxidante se llevó a cabo mediante los protocolos de medición DPPH y FRAP.

**Capacidad de reducción radical (DPPH):** El protocolo de medición de DPPH (1, 1 – difenil 2 – picrihidracril) se llevó a cabo mediante el método propuesto por Brand – Williams *et al.* (1995), para el cual se agregaron 250 µL de extracto en un tubo eppendorf y se adicionó 1 mL de reactivo DPPH. Luego se dejó reposar 30 min dejando la solución reaccionar completamente, alcanzado un color rosado. Posteriormente se extrajo 200 µL

de muestra del tubo eppendorf y se colocaron en cada pocillo de una placa de 96 pocillos para medir su absorbancia a 517 nm en un espectrofotómetro (ASYS, UVM340, Austria).

**Poder antioxidante reductor del hierro (FRAP):** El protocolo FRAP (“Ferric reducing/antioxidant power”) se llevó a cabo según el método propuesto por Benzie y Strain (1996). En una primera instancia se preparó el reactivo FRAP, mediante la adición de buffer acetato 300 mmol L<sup>-1</sup> (pH 3,5), solución acuosa de cloruro férrico hexohidrato 200 mmol L<sup>-1</sup> y TPTZ (2, 4, 6 – tripyridyl-s-triazine) 10 mmol L<sup>-1</sup> en HCl 40 mmol, en una proporción de 10:1:1, respectivamente. Posteriormente se adicionó 20 µL de extracto y 600 µL de reactivo FRAP en un tubo eppendorf, de donde se extrajo 200 µL de muestra (luego de que se estabilizó la reacción) para colocarlos en cada pocillo de una placa de 96 pocillos y realizar mediciones cada 30 min por 2 h a 593 nm en un espectrofotómetro (ASYS, UVM340, Austria).

La capacidad antioxidante fue calculada por medio de una curva de calibración realizada con trolox. Los resultados fueron expresados como mg kg<sup>-1</sup> de materia fresca (MF).

**Concentración de compuestos fenólicos totales (µg eq EAG g<sup>-1</sup>):** Se llevó a cabo según el método propuesto por Singleton y Rossi (1965), para ello se agregaron 100 µL de extracto y 200 µL del reactivo Folin – Ciocalteu en un tubo eppendorf de 2 mL y se dejó reaccionar por 5 min. Posteriormente se agregaron 800 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> para dejar reaccionar durante 1 h. Luego de transcurrido el tiempo de reacción, el tubo se llevó a la centrifuga (HERMLE Labortechnik, Z326k, Alemania) por 2 min a 6.037 g<sub>n</sub>. El sobrenadante fue extraído y se le agregaron 200 µL de muestra en cada pocillo de una placa de 96 pocillos midiéndose la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro (ASYS, UVM340, Austria). La concentración de compuestos fenólicos totales se calculó por medio de una curva de calibración realizada con ácido gálico. Los resultados fueron expresados como mg de fenoles totales kg<sup>-1</sup> de materia fresca (MF).

**Concentración de antocianinas totales (mg kg<sup>-1</sup>):** Se llevó a cabo la medición de antocianinas con el método pH diferencial propuesto por Giusti y Wrolstad (2001) y solo fue realizado para la variedad roja. Las antocianinas experimentan una transformación reversible con los cambios de pH manifestado por un llamativo cambio en la absorbancia, siendo la forma oxonium predominante a pH 1 y hemiacetal a pH 4,5. Por lo cual se procedió a medir la absorbancia de dos soluciones de la extracción con buffer de 0,025 M clorato de potasio (pH: 1,0) y 0,4 M acetato de sodio (pH: 4,5), a 520 y 700 nm con la ayuda de un espectrofotómetro (ASYS, UVM340, Austria). Las antocianinas fueron expresadas como cianidina 3-glucósido equivalente, usando un coeficiente de extinción molar (ε) de 26,9 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> y un peso molecular de 449,68 g mol<sup>-1</sup>. Los resultados fueron descritos en mg de antocianinas totales por kg<sup>-1</sup> de materia fresca (MF).

**Concentración de clorofilas totales y carotenoides totales (mg kg<sup>-1</sup>):** Se llevó a cabo a través de espectrofotometría con el método de Lichtenthaler y Buschmann (2001). Se utilizaron 0,2 g de micro-hortalizas, anteriormente trituradas con un molinillo, y se le añadieron 10 mL de acetona al interior de un tubo falcón, el cual se agitó por 10 minutos mediante una centrifuga (modelo: HERMLE Labortechnik, Z326K, Alemania) a 12.000 g<sub>n</sub> a una temperatura de 4°C. La mezcla fue filtrada con un filtro de pirinola de 0,22 µm al interior

de un tubo eppendorf de 1,5 mL. La absorbancia fue medida a los 646, 663 y 470 nm con un espectrofotómetro (ASYS, UVM340, Austria). La clorofila total fue calculada como la suma de clorofila a y b. Los resultados fueron expresados como mg de clorofilas totales kg<sup>-1</sup> de materia fresca (MF) y mg de carotenoides totales kg<sup>-1</sup> de materia fresca (MF).

### **Evaluaciones microbiológicas**

**Recuento de las unidades formadoras de colonias de bacterias:** Se evaluaron a través de una muestra de 10 g de micro-hortalizas, por tratamiento y repetición. Se utilizó el medio “Plate count agar” (PC) para la siembra de bacterias mesófilas y psicrófilas y “Bile red violet agar” (BRV) para la siembra de bacterias coliformes (enterobacterias).

Se realizaron dos diluciones (-1 y -2), la dilución -1 correspondió a la bolsa con las muestras de micro-hortalizas y turba con 90 mL de agua peptonada, la cual fue homogenizadas con un homogeneizador (modelo: Masticator Classic, IUL, España) durante 60 s. En tanto, la dilución -2 se generó tomando 1 mL de la dilución -1 y se agregó en un tubo falcón con 9 mL de agua peptonada, la cual se agitó en un vortex (modelo: Scilogex, MX-S, EE.UU.) por 30 s. Para la siembra en profundidad se tomó 1 mL de dilución de -1 y fue agregado a la placa petri estéril, repitiendo el procedimiento para cada muestra y dilución -2. Posterior a la aplicación de la dilución en cada placa se agregó el medio de cultivo correspondiente. Posteriormente fueron mantenidas en un refrigerador a 5°C para obtener el recuento de bacterias psicrófilas (González-Tejedor *et al.*, 2017) y en una estufa a 37°C, para las muestras de bacterias mesófilas y coliformes (Di Gioia *et al.*, 2017).

Finalmente, el conteo de colonias se realizó transcurrido dos días de inoculación para bacterias mesófilas y coliformes y a los siete días para bacterias psicrófilas. Los recuentos totales, fueron expresados como el logaritmo de la unidad formadora de colonias por gramo (log UFC g<sup>-1</sup>).

### **Análisis estadístico**

Para cada una de las variables evaluadas se realizó un ajuste a través de modelos lineales mixto con 4 repeticiones por tratamiento aplicado, considerando el factor radiación UV-A y variedades como efecto fijo y su interacción como aleatorio. Al encontrarse interacción entre los factores éstos fueron analizados como el efecto en conjunto, y en caso contrario de no presentarse interacción, los efectos de los factores fueron analizados de manera independiente. En el caso de encontrar diferencias estadísticamente significativas, se realizó la prueba LSD de Fisher con un nivel de significancia de un 5% ( $\alpha=0,05$ ).

Los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat versión 2016.

## RESULTADOS

### Evaluaciones físicas

Posterior a la cosecha de los tratamientos, no se observó una interacción entre los factores variedad de mizuna y radiación UV-A para los parámetros físicos, exceptuando el largo de hipocótilo y la luminosidad del cotiledón.

#### Peso fresco

En relación con las variedades de mizuna se presentó un mayor peso fresco significativo en macetas con mizuna verde en comparación a macetas con la variedad roja (Cuadro 2). En donde, por metro cuadrado el peso fresco de la variedad verde fue de  $1.368,5 \text{ g m}^{-2}$  siendo superior en un 32,91% en relación con la variedad roja, la cual obtuvo  $918,2 \text{ g m}^{-2}$ . En cuanto a las intensidades de radiación UV-A aplicadas, se apreció un peso fresco significativamente mayor para las macetas con intensidad de  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en comparación a las macetas con intensidades de 0, 13 y  $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  las que obtuvieron los pesos frescos promedio menores sin diferencias significativas entre ellos (Cuadro 2). El peso fresco promedio por metro cuadrado en una intensidad de  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  fue de  $1.267,2 \text{ g m}^{-2}$ , siendo un 11,99% mayor en relación a la no aplicación de radiación UV-A, con  $1.131,8 \text{ g m}^{-2}$ , y un 16,09% mayor a la máxima intensidad de  $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  con un peso fresco de  $1.063,3 \text{ g m}^{-2}$ .

#### Porcentaje de materia seca

Al comparar las variedades de mizuna se apreció un porcentaje de materia seca significativamente mayor en las macetas de variedad roja en relación con las de variedad verde (Cuadro 2), siendo la variedad roja un 4,7% mayor que la verde. En relación a las intensidades de radiación UV-A aplicadas, se observó un porcentaje de materia seca significativamente mayores en un 1,19 y 1,72% en las macetas con 13 y  $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente, respecto de la intensidad de  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Cuadro 2).

#### Área de cotiledón

Solo se apreciaron diferencias significativas entre las variedades. El área de cotiledones promedio para las macetas de mizuna verde fue significativamente superior a la variedad roja (Cuadro 2). De esta manera el área promedio en mizuna verde fue un 12,66% mayor que la variedad roja.

## Textura

Solo se apreciaron diferencias significativas entre variedades. Una resistencia al corte promedio en los hipocótilos fue significativamente mayor en las macetas de mizuna verde, siendo un 21,74% mayor que la variedad roja (Cuadro 2).

## Largo del hipocótilo

Se obtuvo una interacción entre los factores variedad de mizuna y radiación UV-A. En donde la altura fue significativamente mayor para las macetas de mizuna roja e intensidades de 6 y 13  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Rx6 y Rx13) con una altura promedio de 2,59 cm (Cuadro 3). De esta manera Rx6 y Rx13 obtuvieron en promedio un 58,03% y 11,97% más que los tratamientos de mizuna verde con intensidad de 26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Vx26) y mizuna roja con intensidades de 0 y 26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Rx0 y Rx26), respectivamente. En relación con la variedad de mizuna verde, el tratamiento con intensidad de 13  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Vx13) fue significativamente mayor (entre un 18,58% y 66,37% superior) en comparación con los tratamientos Vx0, Vx6 y Vx26.

## Color

**Tono y Saturación.** Solo se apreciaron diferencias significativas entre las variedades. En donde mizuna verde presentó un tono y saturación significativamente mayor, siendo un 44,70% y 52,45% superior a las macetas de variedad roja, respectivamente (Cuadro 2). Se identificó un color verde más intenso para la variedad verde y un rojo-amarillo más débil para la variedad roja.

**Luminosidad.** Los factores variedad e intensidad de UV-A presentaron una interacción significativa para luminosidad, sin embargo, la luminosidad de todas las macetas con los tratamientos de mizuna verde e intensidad de radiación UV-A (Vx0 a Vx26) fueron significativamente superiores a los tratamientos de mizuna roja (Rx0 a Rx26) con un promedio de luminosidad de 44,39 (Cuadro 3), siendo la variedad verde un 71,23 y 59,38% mayor a los tratamientos Rx0 y Rx6, Rx13 y Rx26, respectivamente. En relación con los tratamientos de mizuna roja Rx0 fue un 29,17% significativamente menor comparado a los otros tratamientos promedio (Rx6, Rx13 y Rx26).

Cuadro 2. Respuesta de variedades de mizuna sometidas a cuatro intensidades de radiación UV-A y respuesta de las intensidades en dos variedades.

Factor	PF	PMS	AC	Text	Color	
	g <sup>1</sup>	%	cm <sup>2</sup>	N	Hue	C
Variedad						
Verde	52,55	9,69	0,79	1,15	109,27	42,27
Roja	35,26	14,39	0,69	0,90	60,42	20,10
	*	*	*	*	*	*
Intensidad UV-A						
0	43,45 b	12,13 ab	0,91	1,52	109,71	39,61
6	48,66 a	11,04 b	1,00	1,32	108,78	42,18
13	42,68 b	12,23 a	0,89	1,04	109,06	42,46
26	40,83 b	12,76 a	0,88	1,05	109,57	41,37
	*	*	ns	ns	ns	ns

PF: peso fresco, PMS: porcentaje materia seca, AC: área de cotiledón, Text: textura, Hue: tono del color, C: saturación del color, \*: diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los niveles de cada factor (variedad, intensidad de radiación) según el test de Fisher (p-valor<0,05), ns: no significativo, <sup>1</sup> gramos por maceta.

Cuadro 3. Parámetros físicos con interacciones entre variedades de mizuna e intensidad de radiación UV-A.

Tratamiento	Largo hipocótilo	Color	
	cm	Luminosidad	
Vx0	1,76 c	44,94	a
Vx6	1,91 c	43,40	a
Vx13	2,26 b	44,06	a
Vx26	1,50 d	45,16	a
Rx0	2,29 b	12,77	c
Rx6	2,60 a	17,40	b
Rx13	2,57 a	19,23	b
Rx26	2,27 b	17,46	b

V: mizuna verde, R: mizuna roja, 0/6/13/26: intensidad de radiación UV-A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Promedios unidos con letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según el test de Fisher (p-valor<0,05).

## Evaluaciones químicas

Posterior a los análisis no se observó una interacción entre los factores variedad de mizuna y radiación UV-A para los parámetros químicos, exceptuando la capacidad antioxidante por DPPH.

### Antocianinas totales

Se apreció la falta de significancia entre las distintas intensidades de radiación UV-A para la variedad de mizuna roja. Los valores estuvieron en el rango entre  $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  hasta  $0,09 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Cuadro 4).

### Clorofilas totales

No se presentaron diferencias significativas entre los niveles de cada factor obteniéndose un valor promedio para las variedades de  $0,165 \text{ mg kg}^{-1}$  y para las distintas intensidades de radiación UV-A de  $0,163 \text{ mg kg}^{-1}$  (Cuadro 4).

### Carotenoides totales

Las variedades presentaron diferencias significativas siendo la roja la que obtuvo una concentración de carotenoides significativamente mayor de 14,82% respecto a la variedad verde (Cuadro 4).

### Fenoles totales

Se apreciaron diferencias significativas entre las variedades donde la variedad roja obtuvo una concentración de fenoles totales 63,95% superior a la variedad verde (Cuadro 4).

### Capacidad antioxidante

**FRAP.** Se apreciaron diferencias significativas entre variedad. La variedad roja obtuvo una significativamente mayor capacidad antioxidante que la verde, siendo un  $48,84 \text{ mg kg}^{-1}$  superior respecto a la verde (Cuadro 4).

**DPPH.** Se apreció una interacción significativa entre los tratamientos de variedad e intensidades de radiación UV-A (Figura 3). Los tratamientos de mizuna verde Vx0, Vx6 y Vx26 presentaron una capacidad antioxidante significativamente mayor en un 11,62% en comparación a Vx13. De esta forma, los tratamientos de mizuna roja Rx0, Rx6 y Rx13 presentaron una capacidad antioxidante significativamente mayor en un 42,03% en relación con Rx26.

Cuadro 4. Respuesta de variedades de mizuna sometidas a cuatro intensidades de radiación UV-A y respuesta de las intensidades en dos variedades.

Factor	Antocianinas	Clorofila	Carotenoides	Fenoles	FRAP
	Totales	Totales	Totales	Totales	
mg kg <sup>-1</sup>					
Variedad					
Verde	-	0,16	0,04	25,92	78,85
Roja	0,08	0,17	0,05	71,92	127,69
	ns	ns	*	*	*
Intensidad UV-A					
0	0,09	0,16	0,05	47,82	107,93
6	0,08	0,17	0,05	46,09	93,92
13	0,06	0,15	0,05	45,96	100,56
26	0,08	0,17	0,05	55,82	110,67
	ns	ns	ns	ns	ns

\* diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los tratamientos o factores según un test Fisher (p-valor<0,05). ns: no significativo.

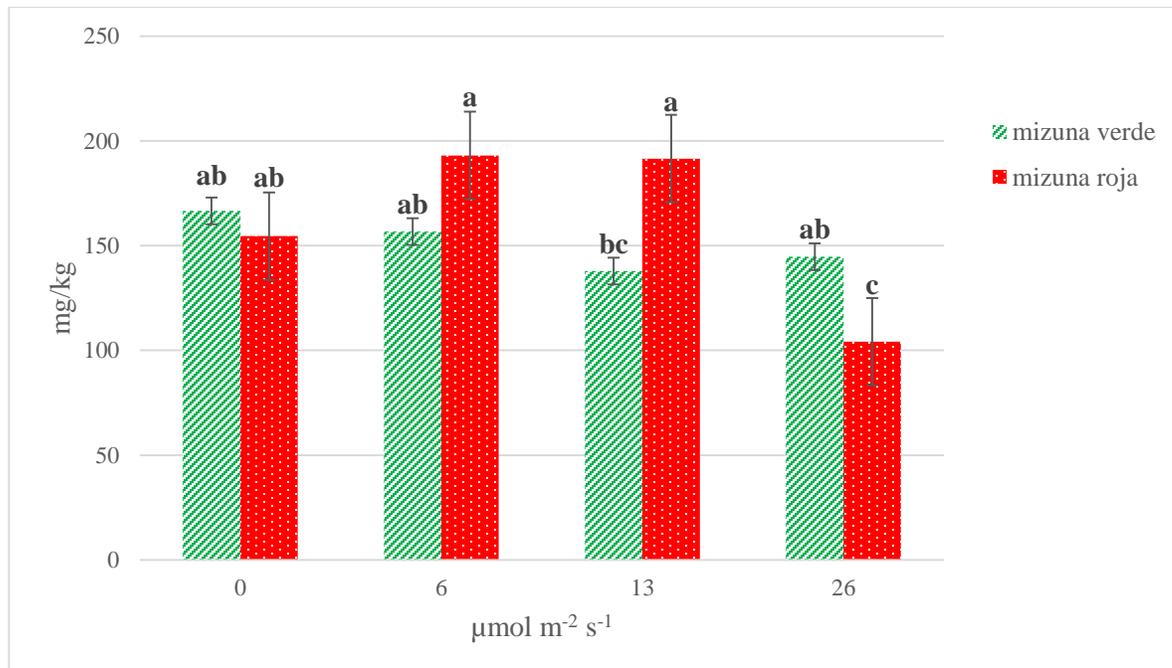


Figura 3. Variación de la capacidad antioxidante (DPPH) entre variedades de mizuna e intensidades de radiación UV-A. Columnas unidas con letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos según un test Fisher (p-valor<0,05).

## Recuentos microbiológicos

Respecto al recuento de bacterias no se observó una interacción entre los factores variedad de mizuna y radiación UV-A.

### Bacterias mesófilas

Se observaron diferencias significativas de los factores variedad e intensidad de radiación UV-A. La variedad mizuna verde tuvo un recuento significativamente mayor respecto a la variedad roja (Cuadro 5), siendo un 7,73% superior. La radiación UV-A presentó recuentos significativamente mayores en las intensidades de 6, 13 y 26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Cuadro 6), con un promedio de 3,71 log UFC  $\text{g}^{-1}$ , siendo un 11,59% mayor en comparación a las macetas sin aplicación de radiación UV-A.

### Bacterias psicrófilas

Se observó que el factor variedad afectó significativamente los recuentos, siendo significativamente mayores en 17,03% para la variedad verde respecto a la roja (Cuadro 5).

### Bacterias coliformes

No se observaron diferencias significativas entre los niveles de cada factor alcanzándose un valor promedio de recuentos para las variedades y las distintas intensidades de radiación UV-A de 1,15 log UFC  $\text{g}^{-1}$  en cada factor (Cuadro 5).

Cuadro 5. Respuesta de las variedades de mizuna sometidas a cuatro intensidades de radiación UV-A.

Factor	Bacterias		
	Mesófilas log UFC $\text{g}^{-1}$	Psicrófilas log UFC $\text{g}^{-1}$	Coliformes log UFC $\text{g}^{-1}$
<b>Variedad</b>			
Verde	3,75	4,58	1,37
Roja	3,46	3,80	<1
	*	*	ns
<b>Intensidad UV-A</b>			
0	3,28 b	4,19	<1
6	3,78 a	4,22	<1
13	3,73 a	4,20	1,21
26	3,63 a	4,14	1,62
	*	ns	ns

\* Indican diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los tratamientos o factores según un test Fisher ( $p\text{-valor}<0,05$ ). ns: no significativo.

## DISCUSIÓN

### Evaluaciones físicas

#### Peso fresco

Los tratamientos con variedad verde presentaron un mayor peso fresco que los tratamientos de la variedad roja (Cuadro 2). Este mismo efecto se puede apreciar en estudios realizados con pak choi verde y rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis*) y en lechugas baby rojas (*Lactuca sativa* L. cv. Batavia Diablotin) y verdes (*Lactuca sativa* L. cv. Batavia Lettony), en los cuales se obtuvieron mayores pesos frescos en las variedades verdes que en las rojas (Camejo *et al.*, 2020; Mao *et al.*, 2020).

En relación a las radiaciones UV-A aplicadas se alcanzó un mayor peso fresco bajo una menor intensidad de  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , y este peso fue disminuyendo en la medida que se aumentó la intensidad de radiación UV-A (Cuadro 2). Esta tendencia también fue descrita en otros ensayos realizados en micro-hortalizas con suplementación de radiación UV-A (Anexo II). Brazaitytė *et al.* (2015) mostraron un aumento de un 43% en el peso fresco de micro-hortalizas de albahaca (*Ocimum basilicum* L. cv. Sweet Genovese) a una intensidad de radiación UV-A de  $6,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y longitud de 366 nm. A su vez el mismo autor observó una disminución de un 20% en el peso fresco en micro-hortalizas de beterraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) a una intensidad de radiación UV-A de  $6,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y longitud de 390 nm.

Este aumento en peso fresco a una baja intensidad de radiación UV-A se podría deber a que los fotoreceptores de criptocromo de las plantas permiten que la UV-A participe en la fotosíntesis de manera indirecta a través de la inducción de respuestas de apertura o cierre estomático en las plantas (D'Amico-Damião y Carvalho, 2018; Huché-Thélier *et al.*, 2016). De esta manera es probable que a intensidades de radiación UV-A de  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  las micro-hortalizas de mizuna presenten una mayor apertura estomática, mejorando el intercambio de gases y haciendo más eficiente la ganancia de peso fresco por la fotosíntesis. Por otro lado, diferentes estudios explican que la disminución del crecimiento por parte de la radiación UV-A en diferentes especies se debe a la mayor utilización de los fotosintatos para la producción de compuestos funcionales y a daños que se producen sobre el aparato fotosintético de las plantas a través del daño en el fotosistema II, disminuyendo a la vez las reacciones de fotosíntesis y por ende el crecimiento (Mao *et al.*, 2020; Turcsányi and Vass, 2000; Krzek *et al.*, 1998). Por tanto, una intensidad de radiación UV-A por sobre  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  causaría una disminución en el peso fresco. Pese a esto, en el presente ensayo no se apreció una variación en la concentración de compuestos funcionales (Cuadro 4) producida por la aplicación de radiación UV-A, por lo que la disminución del peso fresco bajo las dosis de radiación UV-A sobre  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  no es producto de un aumento en las concentraciones de compuestos funcionales.

### Porcentaje de materia seca

En este estudio se encontró un mayor porcentaje de materia seca en la variedad roja respecto a la verde (Cuadro 2), aunque este comportamiento no ha sido reportado en otros estudios que emplearon pak choi verde y rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis*) (Anexo II) y hojas baby de lechuga verdes (*Lactuca sativa* L. cv. Batavia Lettony) y rojas (*Lactuca sativa* L. cv. Batavia Diablotin), en donde las variedades verdes obtuvieron un mayor porcentaje de materia seca en relación a las rojas (Camejo *et al.*, 2020; Mao *et al.*, 2020).

En relación con la radiación UV-A aplicada, se obtuvo un mayor porcentaje de materia seca en el control y en las intensidades de 13 y 26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Cuadro 2). Si bien no existen otros estudios comparables sobre la modificación del porcentaje de materia seca al aplicar radiaciones UV-A se podría relacionar que a intensidad de 6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  disminuiría el porcentaje de materia seca en micro-hortalizas de mizuna.

### Largo del hipocótilo

A la cosecha se observó que el largo del hipocótilo en las micro-hortalizas de mizuna roja presentaron la mayor longitud y por otro lado que las intensidades UV-A más altas en micro-hortalizas verde (Vx26) resultaron ser menor y en rojas (Rx26) igual al control (Cuadro 3). Diferentes autores que trabajaron con radiación UV-A obtuvieron respuestas distintas en el crecimiento según la especie vegetal, longitud de onda e intensidad UV-A (Anexo II). Brazaitytė *et al.* (2015) encontró crecimientos de un 26% en los hipocótilos de micro-hortalizas de albahaca (*Ocimum basilicum* L. cv. Sweet Genovese) en longitudes de UV-A de 390 e intensidades de 6,2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Kong *et al.* (2019) presento un aumento de un 70 y 56% en micro-hortalizas de kale (*Brassica napus* cv. Red Russian) en intensidad UV-A de 3,75 y 7,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, en longitudes de 380 nm. Por otro lado, los mismos autores señalaron una disminución de un 16% en micro-hortalizas de mostaza (*Brassica juncea* cv. Ruby Streaks) en longitud UV-A de 380 nm e intensidad de 3,75  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Vaštakaitė *et al.* (2015), al igual que los autores anterior, presentan una disminución promedio de un 25% en micro-hortalizas de albahaca verde (*Ocimum basilicum* L. cv. Sweet Genovese) y roja (*Ocimum basilicum* L. cv. Dark Opal) en longitudes UV-A de 390 nm e intensidad de 13  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Por último Sakalauskiene *et al.* (2014) obtuvieron una disminución promedio de un 19% en micro-hortalizas de betarraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) en longitudes UV-A entre 366 y 390 nm e intensidad de 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Una menor elongación del hipocótilo podría relacionarse con la activación del fotoreceptor de criptocromo por la luz UV-A, la cual inhibe el crecimiento (Huché-Thélier *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2005).

En el presente estudio se observó un aumento en el largo de hipocótilo de mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*) tal como en micro-hortalizas de kale (*Brassica napus* cv. Red Russian) influenciados por una baja intensidad UV-A (Kong *et al.*, 2019). En este estudio el aumento de la radiación UV-A disminuye el alargamiento del hipocótilo, observándose este efecto en mizuna a la intensidad de 26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Por otro lado, al comparar con otras especies de Brassicaceas se aprecia que la micro-hortaliza de mizuna soportarían intensidades mayores de radiación UV-A antes de inhibir el crecimiento del hipocótilo, ya que se

registraron mayores crecimientos en intensidad de  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Kong *et al.*, 2019; Brazaitytė *et al.*, 2015).

### Área de cotiledón

El área foliar de los cultivos, similar a lo descrito en el largo de hipocótilo, se ve inhibida o reducida en presencia de radiación UV-A por la activación del criptocromo (D'Amico-Damião y Carvalho, 2018; Huché-Théliér *et al.*, 2016), pero este efecto varía dependiendo de la especie vegetal, longitud de onda e intensidad de UV-A (Anexo II). En donde Vaštakaitė *et al.* (2015) presentaron una disminución en el área de hipocótilo promedio de 20% en micro-hortalizas de albahaca verde (*Ocimum basilicum* L. cv. Sweet Genovese) y roja (*Ocimum basilicum* L. cv. Dark Opal) tratadas con UV-A de longitudes de 390 nm e intensidades  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Kong *et al.* (2019) aplicaron radiación UV-A en longitudes de 380 nm junto con pura luz azul, presentaron una disminución en el área de cotiledón en un 20% en micro-hortalizas de kale (*Brassica napus* cv. Red Russian) y repollo (*Brassica oleracea*) en intensidad de  $3,75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A su vez observaron disminuciones en el área de los cotiledones entre 21 y 28% en micro-hortalizas de mostaza (*Brassica juncea* cv. Ruby Streaks) y arugula (*Brassica eruca* cv. Rocket) en intensidades de  $7,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Al contrario, Brazaitytė *et al.* (2015) observaron un aumento en el área de cotiledón de un 51% en micro-hortalizas de betarraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) a una longitud de UV-A de 366 nm e intensidad de  $6,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Los mismos autores encontraron un aumento de un 36% en micro-hortalizas de albahaca (*Ocimum basilicum* L. cv. Sweet Genovese) a una longitud de UV-A de 366 nm e intensidad de  $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Estos autores también observaron que a igual intensidades UV-A aumenta el área de los cotiledones en promedio un 59% en micro-hortalizas de pak choi rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis* cv. Rubi) en longitudes UV-A de 366 y 390 nm. Resultados similares reportaron Sakalauskiene *et al.* (2014) en micro-hortalizas de betarraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) aumentando el área de cotiledón entre 52 y 29% en longitudes de UV-A de 366 y 390 nm, respectivamente, e intensidad de  $6,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De esta manera se encontró una disminución en el área de cotiledón al aplicar radiaciones bases inferiores a  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y un mayor aumento en el área foliar de brassicas en intensidades UV-A de  $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y longitudes entre 366 y 390 nm, lo cual no fue observado en mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*) durante este estudio.

### Textura

De acuerdo con los resultados de esta investigación la textura en el hipocótilo fue significativamente mayor en mizuna verde respecto a la roja. Si bien, no existen otros estudios en micro-hortalizas que evalúen este parámetro en variedades de diferente color o frente a aplicaciones de radiación UV-A, en hojas de lechuga tipo baby cultivar verde (*Lactuca sativa* L. cv. Batavia Lettony) y roja (*Lactuca sativa* L. cv. Batavia Diablotin) se reportó una textura de 17 y 44% mayor en las verdes respecto a las rojas (Camejo *et al.*, 2020). Por otro lado la textura posee una correlación con la crocancia del cultivo (Evans *et al.*, 2010), lo que nos permitiría inferir que la UV-A no afecta la calidad organoléptica del producto en cuanto crocancia.

## Color

Las aplicaciones de radiación UV-A no afectaron el color de mizuna verde y roja (Cuadro 3) lo que podría explicarse porque las intensidades estudiadas no serían suficiente para cambiar el color de las hojas (Kong *et al.*, 2019). Resulta lógico que las diferencias se produzcan entre variedades debido a su color natural rojo y verde tal cual lo señalan Mamphol *et al.* (2016) en lechuga, donde las variedades verdes presentaron un mayor tono, saturación y luminosidad que las rojas. Igualmente, Colonna *et al.* (2015) encontraron similares diferencias al comparar hojas de lechuga baby verde y roja.

En el presente estudio en micro-hortalizas de mizuna roja se apreció un cambio de luminosidad al aplicar UV-A (Cuadro 3), sin embargo, Kong *et al.* (2019) (Anexo II) no encontró este comportamiento en micro-hortalizas de kale rojas (*Brassica napus* cv. Red Russian) tratadas con UV-A a longitudes de 380 nm e intensidades de 3,75 y 7,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Según estos autores la luminosidad mostró ser igual a los tratamientos aplicados de luz azul pura (450 nm) y azul/rojo lejano (450/730 nm) y menor al tratamiento de luz roja pura (660 nm). Padmaja y Dey (2015) encontraron luminosidades menores producto de un aumento en la concentración de clorofila. En este estudio no existen diferencias significativas en la concentración de clorofila, pero sí en la concentración de carotenoides entre mizuna verde y roja concordando con Kong *et al.* (2019) quienes observaron que una diferencia en los carotenoides produciría una modificación en la luminosidad.

## Evaluaciones químicas

### Antocianinas totales

La radiación UV-A participa directamente en la síntesis de antocianinas, a través de la vía del criptocromo, respondiendo al estrés por radiación y generando flavonoides (D'Amico-Damião y Carvalho, 2018; Huché-Thélier *et al.*, 2016). Sin embargo, en este estudio no se encontró efecto significativo en la concentración de antocianinas totales (Cuadro 4), contrario a estudios realizados por diversos autores con radiación UV-A (Anexo II). Tsormpatsidis *et al.* (2008) y Tsormpatsidis *et al.* (2010) expusieron un aumento entre 675 y 800% en la concentración de antocianinas totales en lechuga (*Lactuca sativa* cv. Lollo Rosso Revolution) al interior de túneles con translucidez de radiación UV-A. De igual manera Li y Kubota (2009) presentaron un aumento del 11% en lechugas baby (*Lactuca sativa* L. cv. Red Cross) al ser tratado con UV-A en longitud de 373 nm e intensidad de 18  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Mao *et al.* (2020) mostraron un aumento entre 131% y 129% en cultivos de pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) verde y rojo, respectivamente, tratados con UV-A a una longitud de 380 e intensidad de 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Así las plantas tratadas con UV-A expresaron un mayor aumento en la concentración de antocianinas por la alta radiación base utilizada, entre 400 a 1.000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Mawphlang y Kharsgiing, 2017). Otros autores que utilizaron micro-hortalizas con radiación base de 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  presentaron efectos en la concentración de antocianinas. En donde Brazaitytè *et al.* (2015) observaron una disminución de un 11% en albahaca (*Ocimum basilicum* L. cv. Sweet Genovese) en una longitud UV-A de 390 nm e intensidad de 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Los mismos autores presentaron un aumento de un 30% y

14% en pak choi rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis* cv. Rubi) en longitudes UV-A de 366 y 390 nm, respectivamente, e intensidad de  $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A su vez mostraron un aumento de un 43% en betarraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) en una longitud UV-A de 390 nm e intensidad de  $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De igual forma Sakalauskiene *et al.* (2014) exponen un aumento de un 22% en betarraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) en una longitud UV-A de 366 nm e intensidad de  $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Tal como lo muestran diferentes estudios existiría un efecto sinérgico de la radiación UV-A por sobre  $12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en la síntesis de antocianinas, aunque el efecto sería contrario en cultivos de albahaca (Brazaitytė *et al.* 2015) y no tendría efecto en mizuna. Variando la síntesis dependiendo de la longitud y de las especies en estudio.

### Clorofilas totales

Las clorofilas se acumulan en los fotosistemas al interior de los cloroplastos, su concentración se podría ver afectada producto del daño que podría producir la radiación UV-A sobre el fotosistema II, afectando la concentración de clorofila b (Mao *et al.*, 2020; Turcsányi and Vass, 2000; Krzek *et al.*, 1998). Este efecto no se observó en el presente ensayo ni en el de otros autores (Anexo II). Mao *et al.* (2020) mostraron un aumento de un 16% en pak choi rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis*) en una longitud UV-A de 380 nm e intensidad de  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . En ensayos en micro-hortalizas realizados por Brazaitytė *et al.* (2015) expusieron un aumento de un 21% y 28% en el índice de clorofila en pak choi rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis* cv. Rubi) en longitudes UV-A de 366 y 390, respectivamente, e intensidad de  $6,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y un aumento de un 18% en pak choi rojo en longitud de 390 nm e intensidad de  $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De esta forma se puede inferir bajo el presente ensayo y los realizados por diversos autores que la radiación UV-A no tiene un efecto negativo sobre la concentración de clorofila, ni el fotosistema II, en longitudes de onda entre 366 y 390 nm e intensidades que varían de 6,2 hasta  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

### Carotenoides totales

Los carotenoides participan directamente en la fotosíntesis absorbiendo fuertemente la luz azul, con máximas en longitudes de 448 a 452 nm (Huché-Thélier *et al.*, 2016). En el presente ensayo y en el reportado por otros autores se observa la falta de efecto que tiene la radiación UV-A sobre la concentración de carotenoides totales (Anexo II). Observando Mao *et al.* (2020) en cultivos de pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) que al aplicar una radiación de longitud 400 nm e intensidad de  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  aumento un 7% la concentración de carotenoides. Apreciándose un aumento en la concentración de carotenos totales cuando la longitud de onda de la radiación aplicada es más cercana al azul ( $\geq 400$  nm) y donde la intensidad de radiación azul aplicada es mayor y una falta de significancia en la concentración de carotenoides en hortalizas en longitudes de onda de radiación UV-A ( $< 400$  nm) (Samuoliene *et al.*, 2017; Huché-Thélier *et al.*, 2016). De estos estudios se infiere que la radiación UV-A no tiene relevancia en la modificación en la concentración de carotenoides totales a pesar de que la vía de producción de estos es por la vía del criptocromo (D'Amico-Damião y Carvalho, 2018; Huché-Thélier *et al.*, 2016).

## Fenoles totales

La radiación UV-A, como se mencionó anteriormente, participa directamente en la síntesis de fenoles vía criptocromo (D'Amico-Damião y Carvalho, 2018; Huché-Thélier *et al.*, 2016). Sin embargo, en el presente estudio no se encontró efecto significativo en la concentración de fenoles totales (Cuadro 4), contrario a estudios realizados por diversos autores con radiación UV-A en micro-hortalizas (Anexo II). Vaštakaitė *et al.* (2015) presentaron una disminución de un 8% en albahaca roja (*Ocimum basilicum* L. cv. Dark Opal) en longitud UV-A de 366 nm e intensidad de 13  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . En estudios realizados en micro-hortalizas con radiación base de 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , Sakalauskiėnė *et al.* (2014) y Brazaitytė *et al.* (2015) observaron una disminución de un 8% en betarraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) e intensidad de 6,2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A su vez estos autores presentaron una disminución de un 17% en betarraga en longitud UV-A de 390 nm e intensidad de 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Por otro lado, Brazaitytė *et al.* (2015) mostraron un aumento de un 5% y 7% en albahaca (*Ocimum basilicum* L. cv. Sweet Genovese) en longitud UV-A de 366 y 390 nm, respectivamente, e intensidad de 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Además se presentó un aumento de un 21% y 18% en pak choi rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis* cv. Rubi) en longitud UV-A de 366 nm e intensidad de 6,2 y 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. En otros estudios las micro-hortalizas de pak choi rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis* cv. Rubi) presentaron las mayores concentraciones de compuestos fenólicos en longitudes UV-A de 366 nm (Brazaitytė *et al.*, 2015) aunque en mizuna no se observó dado que se debe considerar también la intensidad y variedad a la cual se le aplica. Además la concentración de fenoles totales fue mayor en mizuna roja en relación a la verde debido a la presencia de antocianinas y carotenoides.

## Capacidad antioxidante

**DPPH.** La capacidad antioxidante por DPPH en mizuna mostró diferencias significativas tras la aplicación de UV-A (Figura 3) al igual que otros autores (Anexo II). Mao *et al.* (2020) registraron un aumento de un 32% y 36% en pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) verde y rojo, respectivamente, en longitud UV-A de 380 nm e intensidad de 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . En estudios realizados con radiación base de 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sobre micro-hortalizas, Sakalauskiėnė *et al.* (2014) presentaron un aumento de un 425% y 275% en betarraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) en longitudes UV-A de 366 y 390 nm, respectivamente, e intensidad de 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Brazaitytė *et al.* (2015) a su vez mostraron un aumento de un 2% y 5% en betarraga (*Beta vulgaris* L. cv. Bulls Blood) en longitudes UV-A de 366 y 390 nm, respectivamente, e intensidad de 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Los mismos autores encontraron un aumento de un 6% en albahaca (*Ocimum basilicum* L. cv. Sweet Genovese) en longitud UV-A de 366 nm e intensidad de 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Además registraron un aumento de un 10% en pak choi rojo (*Brassica rapa* var. *chinensis* cv. Rubi) en longitud UV-A de 366 nm e intensidad de 12,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Asimismo encontraron aumentos en pak choi rojo de 24% y 23% en longitudes UV-A de 366 y 390 nm, respectivamente, e intensidad de 6,2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

**FRAP.** La capacidad antioxidante por FRAP en mizuna no mostró diferencias significativas tras la aplicación de UV-A, pero sí entre las variedades de mizuna (Cuadro 4). Esto coincide con la mayor concentración de fenoles totales que posee mizuna roja. En

otros estudios realizados (Anexo II) Mao *et al.* (2020) trataron con UV-A pak choi (*Brassica rapa* var. *chinensis*) verde y rojo mostrando aumentos entre 15% y 7%, respectivamente, en longitud de 380 e intensidades de  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y observaron que al igual que en el presente ensayo una mayor capacidad antioxidante en la variedad roja.

### **Evaluaciones microbiológicas**

Se observó la falta de efecto sobre las unidades formadoras de colonias de bacterias mesófilas, psicrófilas y coliformes de los tratamientos de radiación UV-A en micro-hortalizas de mizuna, pero si es apreciable un efecto sinérgico leve en la concentración de bacterias mesófilas cuando se utiliza radiación UV-A (Cuadro 5). Distintos autores al aplicar UV-A en post-cosecha para disminuir la carga microbiológica no han observado un efecto sobre el crecimiento de bacterias mesófilas y coliformes. En este sentido, De Olivera *et al.* (2018) al aplicar UV-A, en longitudes ente 320–400 nm a  $31,28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  por 5 minutos, sobre cultivos en post-cosecha de espinaca (*Spinacia oleracea*), lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) y tomate (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) no encontraron efecto sobre el crecimiento de *Listeria innocua* y *Escherichia coli*. Jeon y Ha (2019) tampoco encontraron efecto de la UV-A de 356 nm a  $1,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  por un tiempo de 30 min en el crecimiento de *Salmonella Typhimurium*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* en jugo de manzana.

## CONCLUSIONES

La aplicación de la radiación UV-A sobre micro-hortalizas de mizuna variedades verde y roja no aumenta la concentración de compuestos funcionales.

La aplicación de la radiación UV-A sobre micro-hortalizas de mizuna variedades verde y roja no afecta el rendimiento y crecimiento, con excepción del largo del hypocótilo en intensidad UV-A de  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en la variedad de mizuna verde y roja.

La aplicación de radiación UV-A sobre micro-hortalizas de mizuna no afecta el crecimiento de bacterias mesófilas, psicrófilas y coliformes.

Se debería explorar nuevos rangos e intensidades de UV-A y su aplicación sobre micro-hortalizas de mizuna para promover el aumento de compuestos funcionales.

**LITERATURA CITADA**

- Ballaré C. 2014. Light regulation of plant defense. *Annual Review of Plant Biology* 65: 15.1-15.29.
- Benzie, I. F. and J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a canopy structure in wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild oat (*Avena fatua* L.) exposed to enhanced ultraviolet – B radiation. *Functional Ecology* 2: 319-330.
- Brand – Williams, W.; M. E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology* 28: 25-30.
- Brazaitytė, A., A. Viršilė, J. Jankauskienė, S. Sakalauskienė, G. Samuolienė, R. Sirtautas, A. Novičkovas, L. Dabašinskas, J. Miliauskienė, V. Vaštakaitė, A. Bagdonavičienė and P. Duchovskis. 2015. Effect of supplemental UV-A irradiation in solid-state lighting on the growth and phytochemical content of microgreens. *International Agrophysics* 29: 13-22.
- Brazaitytė, A., A. Viršilė, G. Samuolienė, J. Jankauskienė, S. Sakalauskienė, R. Sirtautas, A. Novičkovas, L. Dabašinskas, V. Vaštakaitė, J. Miliauskienė and P. Duchovskis. 2016. Light quality: growth and nutritional value of microgreens under indoor and greenhouse conditions. *Acta Horticulturae* 1134: 277-284.
- Camejo, D., A. Frutos, T. C. Mestre, M. Piñero, R. Rivera and V. Martínez. 2020. Artificial light impacts the physical and nutritional quality of lettuce plants. *Horticulture, Environment and Biotechnology* 61: 69-82.
- Colonna, E., Y. Rouphael, G. Barbieri and S. De Pascale. 2015. Nutritional quality of ten leafy vegetables harvested at two light intensities. *Food Chemistry* 199(2016): 702–710.
- Da Luz, G. L., S. L. P. Medeiros, G. O. Tomm, A. Bialozor, A. D. do Amaral and D. Pivoto. 2012. Baseline temperature and cycle of canola hybrids. *Ciencia Rural* 42(9): 1549-1555.
- D’Amico-Damião, V. and R. F. Carvalho. 2018. Cryptochrome-related abiotic stress responses in plants. *Frontiers in Plant Science* 9: 1897.
- De Olivera, E. F., R. Tikekar and N. Nitini. 2018. Combination of aerosolized curcumin and UV-A light for the inactivation of bacteria on fresh produce surfaces. *Food Research International* 114(2018): 133–139.
- De Wit, M., V. Costa Galvao and C. Fankhauser. 2016. Light-mediated hormonal regulation of plant growth and development. *Annual Review of Plant Biology* 67: 22.1-22.25.

- Di Gioia, F., P. De Bellis, C. Mininni, P. Santamaria and F. Serio. 2017. Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (*Brassica rapa* L.) microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97: 1212-1219.
- Evans, K., L. Brucher, B. Konishi and B. Barritt. 2010. Correlation of sensory analysis with physical textural data from a computerized penetrometer in the Washington state University Apple breeding program. *HortTechnology* 20(6): 1026-1029.
- Franklin, K., V. Lerner and G. Whitelam. 2005. The signal transducing photoreceptors of plants. *International Journal of Developmental Biology* 49: 653-664.
- Giusti, M. y R. Wrolstad. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* F1.2.1- F1.2.13.
- Huché-Thélier, L., L. Crespel, J. Le Gourrierec, P. Morel, S. Sakr and N. Leduc. 2016. Light signaling and plant responses to blue and UV radiations- Perspectives for applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany* 121: 22-38.
- Jeon, M. J. and J. W. Ha. 2019. Inactivating foodborne pathogens in apple juice by combined treatment with fumaric acid and ultraviolet-A light, and mechanisms of their synergistic bactericidal action. *Food Microbiology* 87: 103387.
- Keller, M., S. Y. Rogiers and H. R. Schultz. 2003. Nitrogen and ultraviolet radiation modify grapevines' susceptibility to powdery mildew. *Vitis* 42: 87-94.
- Krizek D.T., S.J. Britz, and R.M., Mirecki. 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. new Red Fire lettuce. *Physiologia Plantarum* 103: 1-7.
- Krizek, D.T., R. M. Mirecki and S. J. Britz. 1997. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cucumber. *Physiologia Plantarum* 100: 886-893.
- Kong, Y., K. Schiestel and Y. Zheng. 2019. Pure blue light effects on growth and morphology are slightly changed by adding low-level UVA or far-red light: A comparison with red light in four microgreen species. *Environmental and Experimental Botany* 157: 58-68.
- Kotilainen, T., R. Tegelberg, R. Julkunen-Tiitto, A. Lindfors and P. J. Aphalo. 2008. Metabolite specific effects of solar UV-A and UV-B on alder and birch leaf phenolics. *Global Change Biology* 14(6): 1294-1304.
- Lariguet, P. and C. Fankhauser. 2004. Hypocotyl growth orientation in blue light is determined by phytochrome A inhibition of gravitropism and phototropin promotion of phototropism. *Plant Journal* 40: 826-834.

- Lichtenthaler, H. K. and C. Buschmann. 2001. Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* 1(1): F4.2.1-F4.2.6.
- Mao, P., F. Duan, Y. Zheng and Q. Yang. 2020. Blue and UV-A light wavelengths positively affected accumulation profiles of healthy compounds in pak-choi. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 101(4): 1676-1684.
- Mamphol Bevely M., M. Maboko Martin, Puffy Soundy and Dharini Sivakumar. 2016. Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system. *Journal of Food Quality* 39(2016): 805–815.
- Mawphlang, O. and E. Kharsgiing. 2017. Photoreceptor mediated plant growth responses: Implications for photoreceptor engineering toward improved performance in crops. *Front. Plant Science* 8: 1181.
- Padmaja, V. and M.A.K. Dey. 2015. Evaluation of leaf chlorophyll content by a non-invasive approach. *Evaluation* 3: 7–10.
- Palmer S., E. Stallknecht and M. W. van Iersel. 2018. Effects of different photoperiods with constant daily light integral on growth and photosynthesis of mizuna, lettuce, and basil. *Hortscience* 53(9): 90-91.
- Paradiso, V.M., M. Carellino, M. Renna, C. E. Gattullo, M. Calasso, R. Terzano, I. Allegetta, B. Leoni, F. Caponio and P. Santamaria. 2018. Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. *Royal Society of Chemistry, Food and Function* 9: 5629-5641.
- Russo, V. M., B. D. Bruton and C. E. Sams. 2010. Classification of temperature response in germination of Brassicas. *Industrial Crops and Products* 31(1): 48-51.
- Sakalauskiene S., A. Brazaityte, J. Jankauskiene, G. Samuolienė, A. Viršilė, R. Sirtautas, A. Novičkovas, L. Dabašinskas, J. Miliauskienė, V. Vaštakaitė and P. Duchovskis. 2014. The effect of UV-A LEDs irradiation intensity and photoperiod on growth and nutritional quality of beet microgreens. *Institute of Horticulture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry* 30: LT-54333.
- Samuoliene, G., A. Viršile, A. Brazaityte, J. Jankauskiene, S. Sakalauskiene, V. Vaštakaite, A. Novičkovas, A. Viškeliene, A. Sasnauskas and P. Duchovskis. 2017. Blue light dosage affects carotenoids and tocopherols in microgreens. *Food Chemistry* 228: 50-56.
- Shabir, A. M., A. S. Manzoor and M. M. Mohammad. 2016. Microgreens: Production, shelf life and bioactive components. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57(12): 2730-2736.
- Sharma, P., A. K. Ghimeray, A. Gurung, C. W. Jin, H. S. Rho and D. H. Cho. 2012. Phenolic contents, antioxidant and  $\alpha$ -glucosidase inhibition properties of Nepalese strain buckwheat vegetables. *African Journal of Biotechnology* 11(1): 184–190.

Silva N.C.B., A.F. Macedo, C.L.S. Lage, M.A. Esquibel, and A. Sato. 2005. Developmental effects of additional ultraviolet a radiation, growth regulators and tyrosine in *Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze cultured in vitro. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48(5): 779-786.

Singleton, S. and A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic – phosphotungstic and reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-157.

Sun, J., Z. Xiao, L. Lina, G. E. Lester, Q. Wang, J. M. Harnly and P. Chen. 2013. Profiling polyphenols in five Brassica species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(46): 10960-10970.

Terfa, M.T., A.G. Roro, J. E. Olsen and S. Torres. 2014. Effects of UV radiation on growth and postharvest characteristics of three pot rose cultivars grown at different altitudes. *Science Horticulture* 178: 184–191.

Terry, P., A. Wolk, I. Persson and C. Magnusson. 2001. Brassica vegetables and breast cancer risk. *Journal of the American Medical Association* 285: 2975–7.

Tsormpatsidis, E., R. G. C. Henbest, F. J. Davis, N. H. Battey and P. Hadley. 2010. The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system. *Annals of Applied Biology* 156: 357–366.

Tsormpatsidis, E., R. G. C. Henbest, F. J. Davis, N. H. Battey, P. Hadley and A. Wagstaffe. 2008. UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce ‘Revolution’ grown under polyethylene films. *Environmental and Experimental Botany* 63: 232–239.

Turcsányi E. and I. Vass. 2000. Inhibition of photosynthetic electron transport by UV-A radiation targets the photosystem II complex. *Photochemistry Photobiol* 72(4): 513-520.

Vaštakaitė, V., A. Viršilė, A. Brazaitytė, G. Samuolienė, J. Jankauskienė, R. Sirtautas and P. Duchovskis. 2015. The effect of UV-A supplemental lighting on antioxidant properties of *Ocimum basilicum* L. microgreens in greenhouse. *Rural Development* 1-7.

Xiao, Z., G.E. Lester, Y. Luo and Q. Wang. 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60: 7644-7651.

## APÉNDICE I

Cuadro 1. Temperatura y humedad relativa monitoreada al interior de la cámara de cultivo. La temperatura y humedad correspondieron al promedio de valores diarios obtenidos de 3 datalogger (EXTECH instruments, RHT10, Estados Unidos).

Día	Temperatura cámara	HR
	°C	%
2/12/2019	19,50	62,31
3/12/2019	19,81	70,39
4/12/2019	19,75	68,97
5/12/2019	19,75	72,52
6/12/2019	19,80	70,00
7/12/2019	19,85	69,41
8/12/2019	19,86	72,85
9/12/2019	19,88	72,28
10/12/2019	19,71	64,56
11/12/2019	19,88	68,06
12/12/2019	19,47	69,94
Promedio	19,75	69,21

## APÉNDICE II



Figura 1. Sustrato de turba y perlita utilizado en el ensayo.

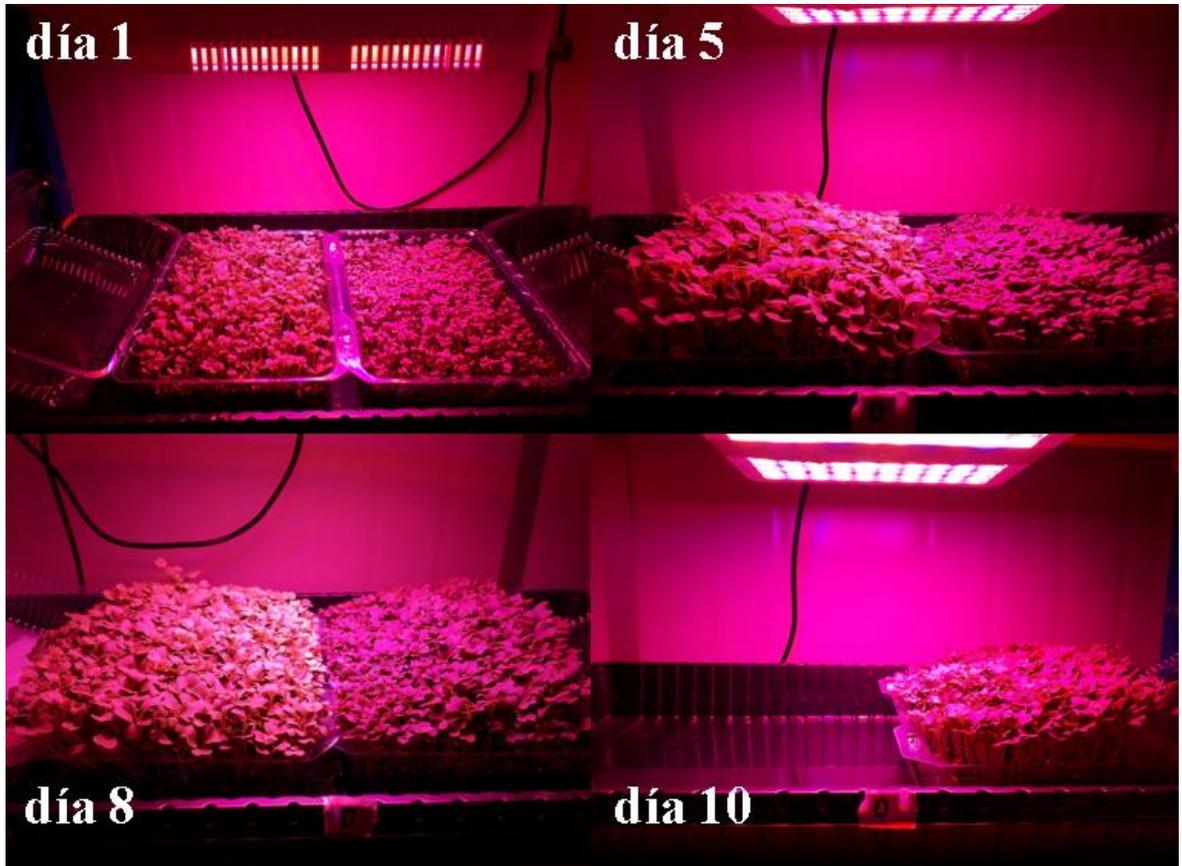


Figura 2. Tratamiento de micro-hortalizas de mizuna verde y roja sin aplicación de UV-A.

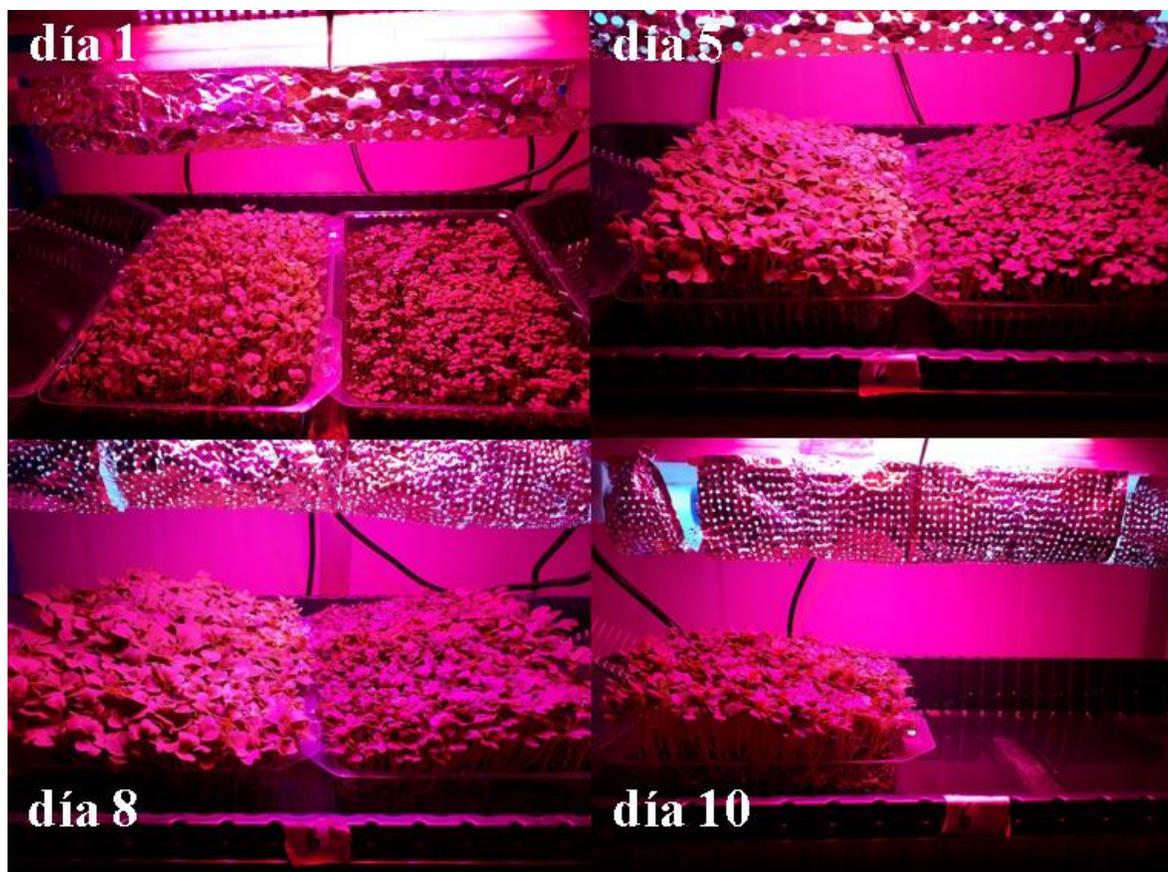


Figura 3. Tratamiento de micro-hortalizas de mizuna verde y roja a intensidad de  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

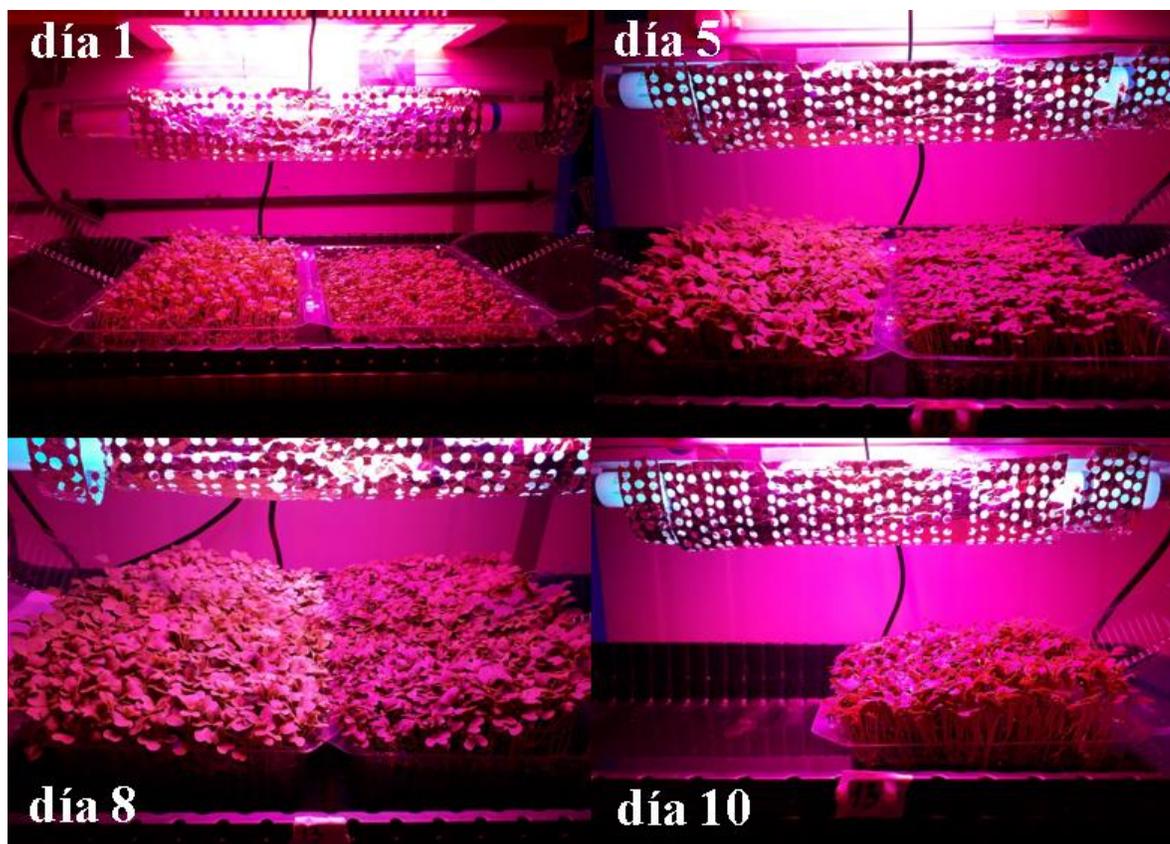


Figura 4. Tratamiento de micro-hortalizas de mizuna verde y roja a intensidad de  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

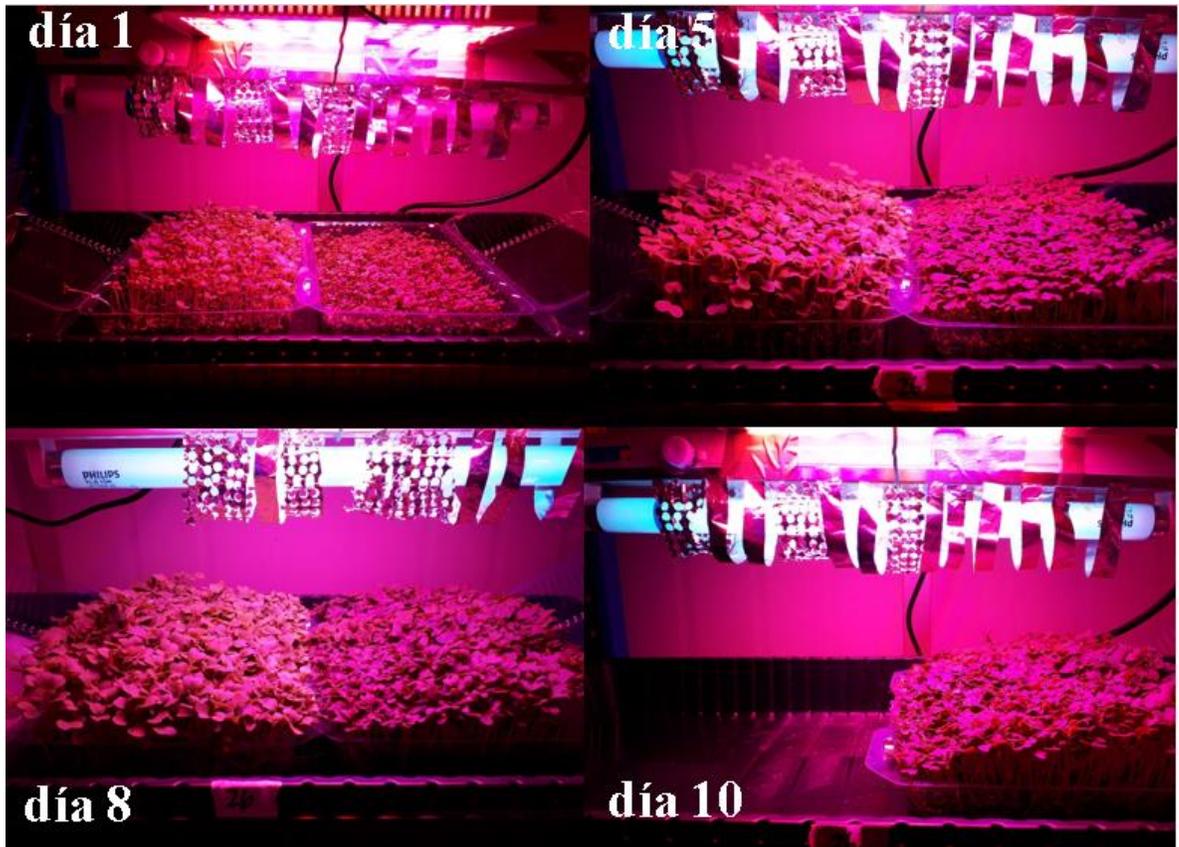


Figura 5. Tratamiento de micro-hortalizas de mizuna verde y roja a intensidad de  $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



Figura 6. Cosecha y medición de micro-hortalizas de mizuna

## ANEXO I

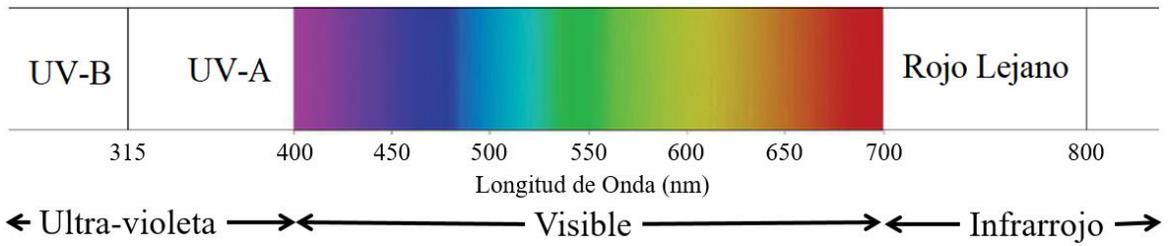


Figura 1. Espectro de luz activa en plantas. Fuente: Modificado de Huché-Thélier *et al.*, 2016.

## ANEXO II

Cuadro 1. Efecto de la radiación UV-A sobre el crecimiento, resistencia a patógenos y producción de metabolitos en cultivos. +: incremento significativo; -: disminución significativa; =: efecto no significativo. ND: información no disponible.

Variable	Efecto UV-A (%)	Especie / enfermedad	Condiciones de luz			Referencias
			Intensidad UV	Long. de onda UV (nm)	Condición de crecimiento	
Peso fresco	+28	Pak choi	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	380	Interior invernadero (PPFD 400 – 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ diarios) suplementación de 2 intensidades de UV-A, posterior de 30 días del cultivo trasplantado, cada 12 horas por 10 días vs control sin aplicación de UV-A.	Mao <i>et al.</i> , 2020
	+57	rojo		400		
	+23	Pak choi		380		
	+50	verde		400		
Peso seco	+19	Pak choi	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	380		Mao <i>et al.</i> , 2020
	+57	rojo		400		
	+26	Pak choi		380		
	+55	verde		400		
Altura de brote, tallo y área foliar	+22	Pepino	ND	ND	Radiación UV-A solar sin UV-B vs radiación UV no solar	Krizek <i>et al.</i> , 1997
	-20	Rosa	UV-A: 12 vs 1,7 UV-B: 0,88 vs 0,036 mW $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	UV-A: 315 – 400 UV-B: 280 - 315	Luz natural en alta altura (2800 m) vs cultivo bajo plástico que absorbe el 96 % de radiación UV	Terfa <i>et al.</i> , 2014
Resistencia a patógenos	+63	Vid / <i>Botrytis cinerea</i>	3 a 5 $\text{kJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$	UV-A: 315 – 400 UV-B: 280 – 315	Parcelas de campo reciben UV solar vs parcelas cubiertas con película de diacetato bloquean el 98% de radiaciones UV-A y UV-B	Keller <i>et al.</i> , 2003
Concentración de clorofilas	+16	Pak choi	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	380		Mao <i>et al.</i> , 2020
	+27	rojo		400		
	=	Pak choi		380		
	+7	verde		400		
Concentración de carotenoides	=	Pak choi	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	380		Mao <i>et al.</i> , 2020
	+7	rojo		400		
	=	Pak choi		380		
	=	verde		400		
Concentración de $\beta$ -carotenos	=	Lechuga	UV-A: 18 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	UV-A pick: 373	Luz blanca (300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ base) suplementado con luz UV-A vs solo luz blanca (300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), blanca con rojo (130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y blanca con rojo lejano (160 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Li y Kubota, 2009

Variable	Efecto UV-A (%)	Especie / enfermedad	Condiciones de luz			Referencias
			Intensidad UV	Long. de onda UV (nm)	Condición de crecimiento	
Concentración de antocianinas	+800	Lechuga	ND	UV: 280 – 400	Túneles cubiertos con película de polietileno transparente al UV vs película de polietileno que bloquea UV-B (Inglaterra, Shinfield en estación de verano)	Tsormpatsidis <i>et al.</i> , 2008
	+11	Lechuga	UV-A: 18 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	UV-A pick: 373	Luz blanca suplementado con luz UV-A vs solo luz blanca	Li y Kubota, 2009
	+675	Lechuga	ND	UV: 280 – 400	Túneles cubiertos con película de polietileno transparente al UV (81% de transmisión) vs película de polietileno que bloquea UV-B (3,5% de transmisión). Plantas trasladadas a los túneles luego de 6 y 14 días antes de cosecha vs no trasladadas	Tsormpatsidis <i>et al.</i> , 2010
	+129	Pak choi	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	380	Túneles cubiertos con película de polietileno transparente al UV vs película de polietileno que bloquea UV-B	Mao <i>et al.</i> , 2020
	+84	rojo		400		
+131	Pak choi	380				
+85	verde	400				
Concentración de flavonoides	+ ND	Lechuga	ND	UV: 280 – 400		
	-27	<i>Alnus incana</i>	ND	ND	Condiciones de campo. Parcelas cubiertas con película de plástico transparente al UV vs película de plástico que bloquea UV-B	Kotilainen <i>et al.</i> , 2008
	-10	<i>Betula pubescens</i>				
	+9	Pak choi	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	380	Túneles cubiertos con película de polietileno transparente al UV vs película de polietileno que bloquea UV-B	Mao <i>et al.</i> , 2020
	+34	rojo		400		
=	Pak choi	380				
+31	verde	400				
Concentración de fenoles o ácidos fenólicos	+ ND	Lechuga	ND	UV: 280 – 400		
	=	<i>Alnus incana</i>	ND	ND	Condiciones de campo. Parcelas cubiertas con película de plástico transparente al UV vs película de plástico que bloquea UV-B	Kotilainen <i>et al.</i> , 2008
	=			380		Mao <i>et al.</i> , 2020

Variable	Efecto UV-A (%)	Especie / enfermedad	Condiciones de luz			Referencias
			Intensidad UV	Long. de onda UV (nm)	Condición de crecimiento	
	+27	Pak choi rojo	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	400		
	=	Pak choi verde		380		
	+30			400		
DPPH	+36	Pak choi rojo	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	380	Mao <i>et al.</i> , 2020	
	+13			400		
	+32	Pak choi verde		380		
	+20			400		
FRAP	+7	Pak choi rojo	100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	380	Mao <i>et al.</i> , 2020	
	+28			400		
	+15	Pak choi verde		380		
	+21			400		

Cuadro 2. Efectos de la radiación UV-A en el crecimiento, resistencia a patógenos y producción de metabolitos en cultivos de micro-hortalizas. +: incremento significativo; -: disminución significativa.

Variable	Efecto UV-A (%)	Especie	Condiciones de luz			Referencia	
			Intensidad UV-A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Long. de onda UV (nm)	Condición de crecimiento		
Altura	+18	Albahaca	6,2	402	Interior de cámara (PPFD $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , azul (447 nm), rojo (638 nm), rojo cercano (665 nm) y rojo lejano (731 nm) a intensidades de 21, 122, 155 y $2,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, fotoperiodo 16 h). Suplementación de radiación UV-A (366, 390 y 402 nm) en intensidades de 6,2 y $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ vs luz r/a sin luz UV-A.	Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016	
	+14	Betarraga		366			
	+17			402			
	+6	Pak choi rojo	12,4	402			
	+15	Albahaca		402			
	+10	Pak choi rojo	12,4	390			
	-25			Albahaca purpura		13	390
	-18	Albahaca verde		390		Interior de cámara (PPFD $125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz blanca, fotoperiodo 16 h). Aplicación de luz blanca con suplementación de radiación UV-A en 3 periodos de aplicación antes de la cosecha (1, 7 y 14 días) vs luz blanca sin luz UV-A.*	
	+14	Betarraga	6,2	366		Interior de cámara (PPFD $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , azul (447 nm), rojo (638 nm), rojo cercano (665 nm) y rojo lejano (731 nm) a intensidades de 21, 122, 155 y $2,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, 2 fotoperiodos 10 y 16 h). Suplementado con radiación UV-A (2 intensidades 6,2 y $12,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 3 long. de onda) vs control sin aplicación de UV-A.	Sakalauskienė <i>et al.</i> , 2014
	+16	Betarraga		390			
+17	Betarraga	402					
-11	Betarraga	12,4	366				
-10	Betarraga		402				
Largo del hipocótilo	+26	Albahaca	6,2	390	Interior de cámara (PPFD 50 y $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de luz azul, fotoperiodo 24 h). Aplicación de luz azul con suplementación de luz UV-A (7,5% de PPFD) vs Aplicaciones de luz roja		Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016
	+38			402			
	+32	Betarraga		402			
	+6	Pak choi rojo		402			
	-28	Albahaca purpura	13	390			Vaštakaitė <i>et al.</i> , 2015
	-22	Albahaca verde		390			
	+56	Kale	7,5	380		Kong <i>et al.</i> , 2019	
	+70	Kale	3,75	380			
	-16	Mostaza		380			

Variable	Efecto UV-A (%)	Especie	Condiciones de luz		Referencia	
			Intensidad UV-A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Long. de onda UV (nm)		
					(660 nm), azul (450 nm) o azul con suplementación de rojo lejano (730 nm) (10% de PPFD)	
	+32	Betarraga	6,2	402	Sakalauskienė <i>et al.</i> , 2014	
	-24	Betarraga		366		
	-13	Betarraga	12,4	390		
	-18	Betarraga		402		
Área foliar cotiledón	+5	Albahaca		366	Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016	
	+51	Betarraga	6,2	366		
	+25	Pak choi rojo		402		
	+36	Albahaca		366		
	+47			402		
	+59	Pak choi rojo	12,4	366		
	+58			390		
	+47			402		
		-21	Albahaca purpura	13	390	Vaštakaitė <i>et al.</i> , 2015
		-18	Albahaca verde		390	
	-28	Arugula	7,5	380	Kong <i>et al.</i> , 2019	
	-21	Mostaza		380		
	-20	Repollo	3,75	380		
	-20	Kale		380		
	+52	Betarraga	6,2	366	Sakalauskienė <i>et al.</i> , 2014	
	+29	Betarraga		390		
Peso fresco	+43	Albahaca		366	Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016	
	+30			402		
	-20	Betarraga	6,2	390		
	-15			402		
Índice de clorofila	+21	Pak choi rojo		366	Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016	
	+28			390		
	+23			402		
	+18	Pak choi rojo	12,4	390		
Antocianinas totales	-11	Albahaca		390	Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016	
	-9			402		
	+43	Betarraga	12,4	390		
	+30	Pak choi		366		
	+14	Pak choi rojo		390		
	+22	Betarraga	12,4	366	Sakalauskienė <i>et al.</i> , 2014	
+87	Betarraga		402			
Fenoles totales	-8	Betarraga		366	Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016	
	+21	Pak choi rojo	6,2	366		
	+5	Albahaca		366		
	+7			390		
	+1			402		
	-16	Betarraga	12,4	390		
	+19			402		
	+18	Pak choi rojo		366		
	-8	Albahaca purpura	13	390	Vaštakaitė <i>et al.</i> , 2015	
	-8	Betarraga	6,2	366		

Variable	Efecto UV-A (%)	Especie	Condiciones de luz		Referencia	
			Intensidad UV-A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Long. de onda UV (nm) Condición de crecimiento		
	-17	Betarraga	12,4	390	Sakalauskiene <i>et al.</i> , 2014	
	+9	Betarraga		402		
Ácido Ascórbico	-36	Albahaca	6,2	366	Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016	
	+53	Betarraga		366		
	+52			402		
	+19	Pak choi rojo		366		
	-21			390		
	-29	Albahaca		402		
	-26			366		
	-25			366		
	+29	Betarraga		390		
	+77			402		
	+51	Pak choi rojo		366		
	+42			402		
	+18	Albahaca purpura		13		390
+8	Albahaca verde	390				
	+53	Betarraga	6,2	366	Sakalauskiene <i>et al.</i> , 2014	
	+52	Betarraga		402		
	+69	Betarraga		390		
	+34	Betarraga		12,4		402
	-42	Albahaca				366
-65	390					
-54	402					
-16	Betarraga		366			
-19			390			
-28			402			
-35	Pak choi rojo		366			
+39			390			
+61			402			
+21	Albahaca		366			
-14			390			
-39			402			
+91			366			
+38		Betarraga	12,4	390		
+65	402					
+105	366					
+68	Pak choi rojo	12,4	390			
+47			402			
	-16	Betarraga	6,2	366	Sakalauskiene <i>et al.</i> , 2014	
	-19	Betarraga		390		
	-27	Betarraga		402		
	+91	Betarraga		366		
	+37	Betarraga		12,4		390
	+65	Betarraga				402
	+4	Albahaca				402
+24	Pak choi rojo		6,2	366		
+23				390		
+21				402		
+6	Albahaca		12,4	366		
+2				366		
+5				Betarraga	390	
+1	Pak choi rojo		12,4	402		
+10				366		
+12				402		
DPPH	+4		Albahaca	6,2	402	Brazaitytė <i>et al.</i> , 2016
	+24		Pak choi rojo		366	
	+23				390	
	+21	402				
	+6	Albahaca	366			
	+2		366			
	+5		Betarraga		390	
	+1	Pak choi rojo	12,4		402	
	+10				366	
	+12				402	

Variable	Efecto UV-A (%)	Especie	Condiciones de luz		Referencia
			Intensidad UV-A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Long. de onda UV (nm) Condición de crecimiento	
	+425	Betarraga		366	Sakalauskiene <i>et al.</i> , 2014
	+275	Betarraga	12,4	390	
	-90	Betarraga		402	

\* Solo es presentado la suplementación de UV-A hasta la cosecha (14 días).