



Nutritional and nutraceutical quality of amaranth and chia microgreens in response to LED light exposure

Calidad nutricional y nutracéutica de microvegetales de amaranto y chía en respuesta a la exposición a luz led

Valeria Denniss'e Valdez-Rivas; María del Rosario García-Mateos;
Felipe Sánchez-del Castillo; J. Jesús Magdaleno-Villar*

Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, México.

*Corresponding author: jmagdalenovillar8@gmail.com

Abstract

There is evidence of the influence of light on morphogenesis, physiological metabolism, growth, development, and nutritional quality of plants. However, information on the use of artificial light in early phenological stages is limited. The objective of this study was to evaluate the effect of supplemental LED lighting on the nutritional and nutraceutical quality of chia (*Salvia hispanica* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) microgreens grown under hydroponic and greenhouse conditions. From sowing, four treatments were established: one without artificial light and three with LED lighting (white, blue, and red). White (4200 lm) and blue (4000 lm) light lamps were placed 45 and 30 cm above the plants, respectively, while red (1000 lm) light lamps were placed 10 cm above the plants. The photoperiod was 20 h (12 h of natural light and 8 h of LED light) for the supplemental light treatments and 12 h for the control. Morphological, nutritional, and nutraceutical variables were evaluated under a completely randomized experimental design with a factorial arrangement. Chia microgreens stood out for their nutraceutical quality, and amaranth microgreens for their nutritional quality. White light enhanced nutritional content, blue light increased nutraceutical content, and red light stimulated dry matter accumulation in both species. Treatment without artificial light showed little significant effect. Supplemental LED light modified the nutritional and nutraceutical properties of the microgreens evaluated.

Keywords: microgreens, *Salvia hispanica*, *Amaranthus hypochondriacus*, nutraceuticals, light intensity.

Resumen

Existe evidencia de la influencia de la luz sobre la morfogénesis, el metabolismo fisiológico, el crecimiento, el desarrollo y la calidad nutricional de las plantas. No obstante, la información del uso de luz artificial en etapas fenológicas tempranas es limitada. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la luz led suplementaria sobre la calidad nutricional y nutracéutica de microvegetales de chía (*Salvia hispanica* L.) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) cultivados en condiciones de hidroponía e invernadero. Desde la siembra, se establecieron cuatro tratamientos: uno sin luz artificial y tres con luz led (blanca, azul y roja). Las lámparas con luz blanca (4200 lm) y azul (4000 lm) se colocaron a 45 y 30 cm sobre las plantas, respectivamente, mientras que las lámparas con luz roja (1000 lm) se ubicaron 10 cm arriba de las plantas. El fotoperiodo fue de 20 h (12 h de luz natural y 8 h de luz led) para los tratamientos con luz suplementaria y de 12 h para el testigo. Se evaluaron variables morfológicas, nutricionales y nutracéuticas bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial. Los microvegetales de chía destacaron por su calidad nutracéutica, y los de amaranto, por su calidad nutricional. La luz blanca favoreció el contenido nutricional, la luz azul incrementó el contenido nutracéutico y la luz roja estimuló la acumulación de materia seca en ambas especies. El tratamiento sin luz artificial presentó efectos poco relevantes. La luz led suplementaria modificó las propiedades nutricionales y nutracéuticas de los microvegetales evaluados.

Palabras clave: microgreens, *Salvia hispanica*, *Amaranthus hypochondriacus*, nutraceuticos, intensidad lumínica.

Please cite this article as follows (APA 7): Valdez-Rivas, V. D., García-Mateos, M. R., Sánchez-del Castillo, F., & Magdaleno-Villar, J. J. (2025). Nutritional and nutraceutical quality of amaranth and chia microgreens in response to LED light exposure. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 31, e24014. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2024.10.014>



Revista Chapingo
Serie Horticultura

Introduction

Microgreens are immature plants whose aerial part (stem and leaves) is harvested at an early stage of development, between 10 and 20 days after emergence (Mir et al., 2016; Xiao et al., 2012). Its commercial production can be carried out with few inputs and without special facilities, which facilitates its cultivation in sites with natural light or artificial lighting (Castagnino et al., 2020). Therefore, they represent an alternative cultivation option in relatively short periods, with a low initial investment and a high potential for economic returns (Bautista-Olivas et al., 2023). In addition to their nutritional value, they contribute to agri-food sustainability due to their genetic diversity and their potential for generating functional and innovative foods with high added value (Castagnino et al., 2020).

Light is one of the most important parameters in the production of microgreens, since photosynthesis and photomorphogenesis depend, to a large extent, on the intensity, duration, and quality (wavelength) of the incident light (Alrifai et al., 2019; Casierra-Posada & Peña-Olmos, 2015). Morphogenesis in plants is regulated by photoreceptors sensitive to different wavelengths, mainly in the blue, red, and far-red regions of the visible light spectrum (Toscano et al., 2021). In this sense, lighting with light-emitting diodes (LEDs) offers the possibility of applying specific spectra, such as red or blue monochromatic light, which can influence the synthesis of photosynthetic pigments (chlorophyll a, b, total, and carotenoids), phenolic compounds, and other secondary metabolites (Mendoza-Paredes et al., 2021).

Several studies have investigated the regulation of the light spectrum in the production of microgreens from species of the Brassicaceae, Lamiaceae, Apiaceae, Boraginaceae, and Chenopodiaceae families, all of which have high nutritional value. These studies report that light can modify seedling growth and increase the content of bioactive compounds. However, they have been limited to the effect of monochromatic, blue, red, and red-blue light (Toscano et al., 2021), and there are little-studied species such as chia (*Salvia hispanica* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.).

Chia seeds are characterized by having a high content of omega-3 fatty acids, fiber, protein, antioxidants and other compounds recognized for their health benefits (González-Solano et al., 2019). These characteristics have increased commercial and industrial interest in the production of various food and medicinal products; however, its consumption as a microgreen is recent and has been associated with nutritional and antioxidant properties (Gómez-Favela et al.,

Introducción

Los microvegetales son plantas inmaduras cuya parte aérea (tallo y hojas) se cosecha en una etapa temprana del desarrollo, entre los 10 y 20 días después de la emergencia (Mir et al., 2016; Xiao et al., 2012). Su producción comercial se puede realizar con pocos insumos y sin instalaciones especiales, lo cual facilita su cultivo en sitios con luz natural o iluminación artificial (Castagnino et al., 2020). Por ello, representan una alternativa de cultivo en periodos relativamente cortos, con baja inversión inicial y alto potencial de retorno económico (Bautista-Olivas et al., 2023). Además de su aporte nutricional, contribuyen a la sostenibilidad agroalimentaria por su diversidad genética y su potencial en la generación de alimentos funcionales e innovadores con alto valor agregado (Castagnino et al., 2020).

La luz es uno de los parámetros de mayor importancia en la producción de microvegetales, ya que la fotosíntesis y la fotomorfogénesis dependen, en gran medida, de la intensidad, duración y calidad (longitud de onda) de la luz incidente (Alrifai et al., 2019; Casierra-Posada & Peña-Olmos, 2015). La morfogénesis en las plantas está regulada por fotorreceptores sensibles a distintas longitudes de onda, principalmente en las regiones azul, roja y roja lejana del espectro de luz visible (Toscano et al., 2021). En este sentido, la iluminación con diodos emisores de luz (LEDs, por sus siglas en inglés) ofrece la posibilidad de aplicar espectros específicos, como luz monocromática roja o azul, que pueden influir en la síntesis de pigmentos fotosintéticos (clorofila a, b, total y carotenoides), compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios (Mendoza-Paredes et al., 2021).

Diversos estudios han explorado la regulación del espectro de luz en la producción de microvegetales de especies de las familias Brassicaceae, Lamiaceae, Apiaceae, Boraginaceae y Chenopodiaceae, todas con alto valor nutricional. Esos trabajos reportan que la luz puede modificar el crecimiento de las plántulas e incrementar el contenido de compuestos bioactivos, aunque se han limitado al efecto de luz monocromática, azul, roja y roja-azul (Toscano et al., 2021), y existen especies poco estudiadas como la chía (*Salvia hispanica* L.) y el amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.).

Las semillas de chía se caracterizan por poseer un alto contenido de ácidos grasos omega-3, fibra, proteína, antioxidantes y otros compuestos reconocidos por sus beneficios para la salud (González-Solano et al., 2019). Estas características han incrementado el interés comercial e industrial para la producción de diferentes productos alimenticios y medicinales; sin embargo, su consumo como microvegetal es reciente y se ha asociado con propiedades nutritivas y antioxidantes

2017). Amaranth is an important source of protein, calcium, iron, amino acids (such as lysine and niacin) and vitamins (B and E) (Mapes-Sánchez, 2015). The consumption of this species at the microgreen stage has a nutritional and nutraceutical contribution; in addition, the tender and juicy young red amaranth leaves have a subtle nutty flavor, which makes them an ideal complement for sandwiches, salads, sauces and other dishes (Xiao et al., 2015).

Because the consumption of these microgreen species is emerging, there is little information on their bioactive compound content and their response to supplemental LED lighting. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of LED lighting on the nutritional and nutraceutical quality of chia and amaranth microgreens grown under hydroponic and greenhouse conditions.

Materials and methods

Experimental site

The field phase was carried out in a tunnel type greenhouse of 5 × 12 m and 4 m height, with manual lateral and frontal ventilation, thermal polyethylene cover, light diffuser and east-west orientation. The greenhouse is located at the Experimental Agricultural Field at the *Universidad Autónoma Chapingo*, Mexico (19° 29' 35" N and 98° 52' 19" W, at 2250 m a. s. l.).

Agronomic management

Chia seeds were purchased from Dinat® (AlBlanco Branding Co.) while amaranth seeds var. Nutrisol were provided by the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, Valle de México unit. Both seeds were harvested in the previous cycle and were not treated.

The seeds were sown in a mixture of peat and vermiculite (1:1, v/v) at a depth of 3 mm, in polystyrene trays with 200 cavities (25 mL volume per cavity), cut to 9 × 13 cavities and with a density of 292 plants per tray (2.5 seeds on average per cavity). The trays were maintained in a floating root hydroponic system in 30 × 50 cm polyethylene tubs containing a Nutrient Solution (NS). Steiner's (1984) SN was used diluted to 50% with the following concentrations (mg·L⁻¹): N = 168, P = 31, K = 273, Ca = 180, Mg = 48 and S = 130. Micronutrients were provided at the following concentrations (mg·L⁻¹): Fe = 3, Mn = 1, B = 0.5, Cu = 0.1 and Zn = 0.1 (Sánchez-del Castillo & Escalante-Rebolledo, 1988). The water used was purified by activated carbon filtration, softening, UV irradiation and ozonation (Aqua Clyva®).

(Gómez-Favela et al., 2017). Por su parte, el amaranto es una fuente importante de proteína, calcio, hierro, aminoácidos (como lisina y niacina) y vitaminas (B y E) (Mapes-Sánchez, 2015). El consumo de esta especie en etapa de microvegetal tiene un aporte nutricional y nutracéutico; además, las tiernas y jugosas hojas jóvenes de amaranto rojo tienen un sutil sabor a nuez, lo que las convierte en un complemento ideal para sándwiches, ensaladas, salsas y otros platillos (Xiao et al., 2015).

Debido a que el consumo de dichas especies de microvegetales es emergente, existe poca información sobre su contenido de compuestos bioactivos y su respuesta a la luz led suplementaria. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la luz led sobre la calidad nutricional y nutracéutica de microvegetales de chíá y amaranto cultivados en condiciones de hidroponía e invernadero.

Materiales y métodos

Sitio experimental

La fase de campo se realizó en un invernadero tipo túnel de 5 × 12 m y 4 m de altura, con ventilación lateral y frontal manual, cubierta de polietileno térmico, dispersor de luz y orientado en sentido este-oeste. El invernadero se encuentra en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México (19° 29' 35" N y 98° 52' 19" O, a 2250 m s. n. m.).

Manejo agronómico

Las semillas de chíá se adquirieron de la empresa Dinat® (AlBlanco Branding Co.) y las de amaranto var. Nutrisol fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias unidad Valle de México. Ambas semillas se cosecharon en el ciclo anterior y no fueron tratadas.

Las semillas se sembraron en una mezcla de turba con vermiculita (1:1, v/v) a una profundidad de 3 mm, en charolas de poliestireno con 200 cavidades (25 mL de volumen por cavidad), recortadas a 9 × 13 cavidades y con densidad de 292 plantas por charola (2.5 semillas en promedio por cavidad). Las charolas se mantuvieron en un sistema hidropónico de raíz flotante en tinas de polietileno de 30 × 50 cm que contenían una Solución Nutritiva (SN). Se utilizó la SN de Steiner (1984) diluida a 50 % con las siguientes concentraciones (mg·L⁻¹): N = 168, P = 31, K = 273, Ca = 180, Mg = 48 y S = 130. Los micronutrientes se aportaron en las siguientes concentraciones (mg·L⁻¹): Fe = 3, Mn = 1, B = 0.5, Cu = 0.1 y Zn = 0.1 (Sánchez-del Castillo & Escalante-Rebolledo, 1988). El agua empleada se purificó mediante filtración con carbón activado, ablandamiento, irradiación UV y ozonificación (Aqua Clyva®).

Artificial light management

Lamps sized 120 × 5 cm of 24, 20 and 18 W were used for white, blue and red light, respectively. The lamps were placed in pairs 15 cm apart, supported from the greenhouse structure. Red lamps (1 000 lm) were placed 10 cm above the plants, blue lamps (4 000 lm) were at 30 cm, and white lamps (4 200 lm) were at 40 cm.

Artificial lighting was activated by a timer from 7:00 PM to 3:00 AM. The photoperiod was 20 h of light and 4 h of darkness (12 h of natural light and 8 h of LED light), while the control period was 12 h of light and 12 h of darkness. Double-layer curtains (black/white) were placed at night to prevent light from entering between treatments; these, as well as the lamps, were removed during the day to prevent shadows.

Design and experimental unit

The experiment was conducted using a completely randomized design with a 2 × 4 factorial arrangement, corresponding to two species (chia and amaranth) and four light levels (no LED light, and with red, blue, and white LED light), with four replicates per treatment. The experimental unit consisted of a tray with 292 plants.

Response variables

Morphological variables

Plant height (from the stem base to the apex), fresh weight, and dry weight were measured 18 days after sowing (das). Ten plants, with full competence, were considered the sampling unit.

Nutritional quality

Mineral quantification. Ca, K, Mg, P, Fe, Mn, B, Na, Cu, and Zn contents were determined according to the method described by Alcántar-González and Sandoval-Villa (1999). A total of 0.25 g of dried, ground plant material was taken from each sample and subjected to wet digestion with a diacid mixture (H₂SO₄:HClO₄; 4:1, v/v) and hydrogen peroxide. Determinations were performed using an inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometer (ICP-AES) (Liberty II, Varian, USA).

Proximal analysis. The aerial parts (leaves and stems) of the microgreens were dried in a convection oven at 55 °C for 72 h (FE-291, Felisa®, Mexico). Moisture, lipid, and ash contents were determined according to the methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005). Results were expressed as percentages. Total

Manejo de luz artificial

Se emplearon lámparas de 120 × 5 cm de 24, 20 y 18 W para la luz blanca, azul y roja, respectivamente. Las lámparas se colocaron en pares con 15 cm de separación, sostenidas de la estructura del invernadero. Las lámparas rojas (1 000 lm) se colocaron 10 cm por encima de las plantas, las azules (4 000 lm) estuvieron a 30 cm, y las blancas (4 200 lm), a 40 cm.

La iluminación artificial se activó mediante un programador de las 19:00 a las 3:00. El fotoperiodo fue de 20 h luz y 4 h oscuridad (12 h de luz natural y 8 h de luz led), mientras que en el testigo fue de 12 h luz y 12 h oscuridad. Se colocaron cortinas bicapa (negro/blanco) durante la noche para evitar el paso de luz entre tratamientos; estas se retiraban durante el día, al igual que las lámparas, para evitar sombras.

Diseño y unidad experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 × 4, correspondiente a dos especies (chía y amaranto) y cuatro niveles de luz (sin luz led, y con luz led roja, azul y blanca), con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en una charola con 292 plantas.

Variables respuesta

Variables morfológicas

Se midió altura de planta (de la base del tallo al ápice), peso fresco y peso seco a los 18 días después de la siembra (dds). Se consideraron 10 plantas, con competencia completa, como unidad de muestreo.

Calidad nutricional

Cuantificación de minerales. Se determinó el contenido de Ca, K, Mg, P, Fe, Mn, B, Na, Cu y Zn de acuerdo con el método descrito por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999). Se tomaron 0.25 g de material vegetal seco y molido por muestra, se sometieron a digestión húmeda con una mezcla diácida (H₂SO₄:HClO₄; 4:1, v/v) y peróxido de hidrógeno. Las determinaciones se realizaron en un espectrofotómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES, por sus siglas en inglés) (Liberty II, Varian, EUA).

Análisis proximal. La parte aérea (hojas y tallo) de los microvegetales se secó en una estufa de convección a 55 °C por 72 h (FE-291, Felisa®, México). El contenido de humedad, lípidos y cenizas se determinó de acuerdo con los métodos de la *Association of Official Analytical Chemist* (AOAC, 2005). Los resultados se expresaron

carbohydrate (TC) content was calculated using the following formula (Audu & Aremu, 2011):

$$TC = 100 - (CP + L + A)$$

where *CP* is the crude protein content (%), *L* is the lipid content (%), and *A* is the ash content (%). The calorie content was calculated by multiplying the grams of carbohydrate and protein by four. Total nitrogen was determined by micro-Kjeldahl digestion (AOAC, 2005).

Nutraceutical quality

Chlorophyll (a, b) and carotenoids. Nutraceutical quality was determined by the method of Yang et al. (1998), with modifications. One hundred milligrams of fresh tissue were macerated with 10 mL of acetone-water (4:1, v/v), sonicated for 3 min, and centrifuged at $2100 \times g$ for 10 min. The supernatant was made up to 10 mL with 80 % acetone, and absorbance was measured at 664, 647, and 470 nm in a spectrophotometer (Genesys 10s, Thermo Scientific, USA). Results were expressed as milligrams per gram of fresh weight ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).

Bioactive compounds and antioxidant capacity

For the determination of these compounds, a methanolic extract was prepared. One gram of fresh plant material was mixed with 10 mL of 80 % (v/v) MeOH, vortexed, sonicated for 15 min at room temperature, allowed to stand for 24 h, and centrifuged for 10 min at $1461 \times g$ (Cruz-de la Cruz et al., 2021). The supernatant was used for the analyses, and all measurements were performed on a spectrophotometer (Genesys 10s, Thermo Scientific, USA).

Total phenols. They were quantified by the method described by Waterman and Mole (1994), with some modifications. First, 0.5 mL of the methanolic extract, 0.5 mL of the Folin-Ciocalteu reagent (0.2 N), and 4 mL of a 0.7 M Na_2CO_3 solution were mixed. The mixture was vortexed and incubated in the dark for 2 h. The absorbance was measured at 765 nm. The concentration was calculated from a standard curve of gallic acid: $y = 0.0079x + 0.0239$; $R^2 = 0.9966$. The results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents per 100 g fresh weight ($\text{mg}_{\text{GAE}}\cdot 100\text{ g}^{-1}$).

Total flavonoids. They were determined using the methodology proposed by Chang et al. (2002). First, 0.5 mL of the methanolic extract, 1.5 mL of methanol (95 %, v/v), 0.1 mL of an AlCl_3 solution (10 %, w/v), 0.1 mL of a 1 M potassium acetate solution, and 2.8 mL of distilled water were mixed. The solution was incubated for 30 min, and the absorbance was read at 415 nm. For quantification, a quercetin standard curve

en porcentaje. El contenido de carbohidratos totales (CT) se calculó mediante la siguiente fórmula (Audu & Aremu, 2011):

$$CT = 100 - (PC + L + C)$$

donde *PC* es el contenido de proteína cruda (%), *L* es el contenido de lípidos (%) y *C* es el contenido de cenizas (%). La cantidad de calorías se calculó multiplicando por cuatro los gramos de carbohidratos y proteínas. El nitrógeno total se determinó por digestión micro-Kjeldahl (AOAC, 2005).

Calidad nutraceutica

Clorofila (a, b) y carotenoides. La calidad nutraceutica se determinó por el método de Yang et al. (1998), con modificaciones. Se maceraron 100 mg de tejido fresco con 10 mL de acetona-agua (4:1, v/v), se sonicó por 3 min y se centrifugó a $2100 \times g$ durante 10 min. El sobrenadante se aforó a 10 mL con acetona a 80 % y se midió la absorbancia a 664, 647 y 470 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, EUA). Los resultados se expresaron en miligramos por gramo de peso fresco ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$).

Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

Para la determinación de estos compuestos se preparó extracto metanólico. Se mezcló 1 g de material vegetal fresco con 10 mL de MeOH a 80 % (v/v), se agitó en un vortex, se sonicó por 15 min a temperatura ambiente, se dejó reposar durante 24 h y se centrifugó por 10 min a $1461 \times g$ (Cruz-de la Cruz et al., 2021). El sobrenadante se utilizó para los análisis y todas las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, EUA).

Fenoles totales. Se cuantificaron por el método descrito por Waterman y Mole (1994), con algunas modificaciones. Se mezclaron 0.5 mL del extracto metanólico, 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (0.2 N) y 4 mL de una solución 0.7 M de Na_2CO_3 . La mezcla se agitó en un vortex y se incubó en oscuridad durante 2 h. La absorbancia se midió a 765 nm. La concentración se calculó a partir de una curva estándar de ácido gálico: $y = 0.0079x + 0.0239$; $R^2 = 0.9966$. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco ($\text{mg}_{\text{EAG}}\cdot 100\text{ g}^{-1}$).

Flavonoides totales. Se determinaron con la metodología propuesta por Chang et al. (2002). Se mezclaron 0.5 mL del extracto metanólico, 1.5 mL de metanol (95 %, v/v), 0.1 mL de una solución de AlCl_3 (10 %, p/v), 0.1 mL de solución 1 M de acetato de potasio y 2.8 mL de agua destilada. La solución se incubó por 30 min y se leyó la absorbancia a 415 nm.

was performed: $y = 0.0047x - 0.0023$; $R^2 = 0.9987$. The results were expressed as micrograms of quercetin equivalents per 100 g fresh weight ($\mu\text{g}_{\text{QE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Antioxidant capacity. It was quantified using the methodology described by Kuskoski et al. (2004). The $\text{ABTS}^{+\cdot}$ radical (2,2'-azinobis[3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid]) was obtained by the reaction of ABTS (7 mM) with potassium persulfate (2.45 mM, final concentration). The mixture was incubated at room temperature ($\pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$) in the dark for 16 h. Once the $\text{ABTS}^{+\cdot}$ radical was formed, it was diluted with ethanol until it reached an absorbance value of 0.70 ± 0.1 at 754 nm. On the other hand, 1 mL of the $\text{ABTS}^{+\cdot}$ solution was mixed with 10 μL of the methanolic extract and incubated in a water bath at $30 \text{ }^\circ\text{C}$ in the dark for 7 min. Absorbance was measured at 734 nm. Antioxidant activity was calculated using a Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) standard curve: $y = 38.975x + 2.5678$; $R^2 = 0.9963$. Results were expressed in millimoles Trolox equivalents per 100 g of fresh weight ($\text{mmol}_{\text{TE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). The percentage inhibition of the $\text{ABTS}^{+\cdot}$ free radical was calculated using the following formula:

$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{IA - FA}{IA} \times 100$$

where IA is the initial absorbance of the free radical at 734 nm and FA is the final absorbance of the reaction with the sample.

Data analysis

For morphological variables, four replicates were considered, and nutritional variables were expressed as the mean \pm standard error of three replicates. The results for all variables were subjected to analysis of variance and Tukey's mean comparison test ($\alpha = 0.05$) in SAS version 9.1 software (SAS Institute, 2002).

Results and discussion

The analysis of variance showed significant differences ($p \leq 0.05$) between species (amaranth and chia) in morphological, nutraceutical, and nutritional variables. The coefficients of variation were less than 10 %, except for lipid content (14.83 %). Furthermore, when analyzing the data for each species separately, no statistical differences were observed in the important variables (information not presented).

Morphological characteristics

Significant differences ($p \leq 0.05$) were found in the three morphological variables among the species harvested at the microgreens stage (Table 1). Amaranth was 45 % taller than chia; however, chia microgreens had higher fresh (21 %) and dry (33 %) weight than

Para la cuantificación se realizó una curva estándar de quercetina: $y = 0.0047x - 0.0023$; $R^2 = 0.9987$. Los resultados se expresaron en microgramos equivalentes de quercetina por 100 g de peso fresco ($\mu\text{g}_{\text{EQ}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Capacidad antioxidante. Se cuantificó a partir de la metodología descrita por Kuskoski et al. (2004). El radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$ (ácido 2,2'-azinobis[3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico]) se obtuvo mediante la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato potásico (2.45 mM, concentración final). La mezcla se incubó a temperatura ambiente ($\pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$) en oscuridad durante 16 h. Una vez formado el radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$, este se diluyó con etanol hasta alcanzar un valor de absorbancia de 0.70 ± 0.1 a 754 nm. Por otra parte, se mezcló 1 mL de la solución $\text{ABTS}^{+\cdot}$ con 10 μL del extracto metanólico y se incubó a baño maría a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ en oscuridad por 7 min. La absorbancia se midió a 734 nm. La actividad antioxidante se calculó a través de una curva estándar a base de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico): $y = 38.975x + 2.5678$; $R^2 = 0.9963$. Los resultados se expresaron en milimoles equivalentes de Trolox por cada 100 g de peso fresco ($\text{mmol}_{\text{ET}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). El porcentaje de inhibición del radical libre $\text{ABTS}^{+\cdot}$ se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Inhibición (\%)} = \frac{AI - AF}{AI} \times 100$$

donde AI es la absorbancia inicial del radical libre a 734 nm y AF es la absorbancia final de la reacción con la muestra.

Análisis de datos

Para las variables morfológicas se consideraron cuatro repeticiones, y las variables nutricionales se expresaron como la media \pm error estándar de tres repeticiones. Los resultados de todas las variables se sometieron a análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) en el programa SAS ver. 9.1 (SAS Institute, 2002).

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las especies (amaranto y chí) en las variables morfológicas, nutraceuticas y nutrimentales. Los coeficientes de variación fueron menores a 10 %, excepto en el contenido de lípidos (14.83 %). Por otro lado, al analizar los datos para cada especie por separado, no se observaron diferencia estadística en las variables de importancia (información no presentada).

Características morfológicas

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las tres variables morfológicas entre las especies cosechadas en estado de microvegetales (Cuadro 1). El amaranto presentó una altura 45 % mayor que la chí;

Table 1. Mean comparison of morphological variables of chia and amaranth microgreens in response to different LED light treatments.**Cuadro 1. Comparación de medias de las variables morfológicas de microvegetales de chíá y amaranto en respuesta a distintos tratamientos de luz led.**

Treatment / Tratamiento	Plant height (cm) / Altura de la planta (cm)	Fresh weight per plant (g) / Peso fresco por planta (g)	Dry weight per plant (g) / Peso seco por planta (g)
----- Specie / Especie -----			
Chia	4.16 b	0.126 a	0.019 a
Amaranth / Amaranto	6.04 a	0.104 b	0.014 b
HSD/DMSH	0.082	0.007	0.004
----- Light / Luz -----			
Control / Testigo	5.10 a	0.10 a	0.014 b
Red / Roja	5.05 a	0.12 a	0.016 a
Blue / Azul	5.10 a	0.11 a	0.016 ab
White / Blanca	5.16 a	0.11 a	0.015 ab
HSD/DMSH	0.15	0.01	0.002

HSD: honestly significant difference. Means with the same letters within each column for each parameter do not differ statistically (Tukey, $p \geq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales dentro de cada columna para cada parámetro no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$).

amaranth microgreens. The height and fresh weight per plant of amaranth microgreens (6.04 cm and 0.104 g, respectively) were higher than the values reported by Toscano et al. (2021), who obtained 3.9 ± 0.2 cm and 0.0185 g, respectively. In contrast, the height of chia microgreens (4.16 cm) was lower than that obtained by Junpatiw and Sangpituk (2019), who documented values between 5.67 and 7.62 cm; However, the fresh weight of chia (0.126 g) exceeded that reported by these authors (0.009 to 0.018 g).

Regarding the supplementary LED light treatments (Table 1), significant differences ($p \leq 0.05$) were only observed in dry weight between the control and the red-light treatment in both species. The red-light treatment (0.016 g) was statistically superior to the control (0.014 g), but without significant differences with the blue and white light treatments. This result suggests a positive effect of red light on biomass accumulation. The observed effect contrasts with that reported by Lau et al. (2019) and Toscano et al. (2021), who point out that plants grown under monochromatic red light have lower biomass content compared to white light. However, Toscano et al. (2021), when calculating the height/biomass ratio, observed that in amaranth, the red-light treatment presented a better ratio than that with white and blue light due to the observed increase in height under red light.

Mineral concentration

Statistically significant differences were detected in the concentrations of most of the minerals evaluated, both between species and between light treatments (Tables 2 and 3). Amaranth microgreens showed the highest concentrations of all minerals except Mn compared to

sin embargo, los microvegetales de chíá tuvieron más peso fresco (21 %) y seco (33 %) que los de amaranto. La altura y el peso fresco por planta de los microvegetales de amaranto (6.04 cm y 0.104 g, respectivamente) fueron superiores a los valores reportados por Toscano et al. (2021), quienes obtuvieron 3.9 ± 0.2 cm y 0.0185 g, respectivamente. En contraste, la altura de los microvegetales de chíá (4.16 cm) fue inferior a la obtenida por Junpatiw y Sangpituk (2019), quienes documentaron valores entre 5.67 y 7.62 cm; no obstante, el peso fresco de la chíá (0.126 g) superó al reportado por dichos autores (0.009 a 0.018 g).

En relación con los tratamientos de luz led suplementaria (Cuadro 1), únicamente se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el peso seco entre el testigo y el tratamiento con luz roja, en ambas especies. El tratamiento con luz roja (0.016 g) fue estadísticamente superior al testigo (0.014 g), pero sin diferencias significativas con los tratamientos de luz azul y blanca. Este resultado sugiere un efecto positivo de la luz roja en la acumulación de biomasa. El efecto observado contrasta con lo reportado por Lau et al. (2019) y Toscano et al. (2021), quienes señalan que las plantas desarrolladas bajo luz roja monocromática presentan menor contenido de biomasa en comparación con la luz blanca. No obstante, Toscano et al. (2021), al calcular la relación altura/biomasa, observaron que en amaranto el tratamiento con luz roja presentó una mejor relación que con luz blanca y azul debido al incremento observado en la altura bajo la luz roja.

Concentración de minerales

Se detectaron diferencias estadísticas significativas en la concentración de la mayoría de los minerales evaluados,

Table 2. Mean comparison of macronutrient contents (mg·1 000 g⁻¹) in dry matter of chia and amaranth microgreens in response to different LED light treatments.

Cuadro 2. Comparación de medias del contenido de macronutrientes (mg·1 000 g⁻¹) en materia seca de microvegetales de chíya y amaranto en respuesta a distintos tratamientos de luz led.

Treatment / Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
----- Specie / Especie -----					
Chia	37200 b	9.91 b	133.77 b	40.64 b	40.55 b
Amaranth / Amaranto	44300 a	10.32 a	253.11 a	59.47 a	83.93 a
HSD/DMSH	700	0.27	5.427	0.665	12.78
----- Light / Luz -----					
Control / Testigo	41200 ab	9.62 b	221.94 a	48.51 c	62.23 b
Red / Roja	40400 ab	9.89 b	193.02 b	49.73 bc	60.65 b
Blue / Azul	41400 a	10.40 a	184.32 bc	50.76 ab	61.44 b
White / Blanca	39900 b	10.56 a	174.50 c	51.20 a	64.65 a
HSD/DMSH	1300	4.29	10.26	1.26	2.42

HSD: honestly significant difference. Means with the same letters within each column for each parameter do not differ statistically (Tukey, $p \geq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales dentro de cada columna para cada parámetro no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$).

Table 3. Mean comparison of macronutrient contents (mg·1 000 g⁻¹) in dry matter of chia and amaranth microgreens in response to different LED light treatments.

Cuadro 3. Comparación de medias del contenido de micronutrientes (mg·1 000 g⁻¹) en materia seca de microvegetales de chíya y amaranto en respuesta a distintos tratamientos de luz led.

Treatment / Tratamiento	B	Cu	Fe	Mn	Na	Zn
----- Specie / Especie -----						
Chia	0.34 b	0.06 b	1.69 b	1.75 a	9.81 b	0.26 b
Amaranth / Amaranto	0.35 a	0.09 a	1.81 a	1.29 b	14.65 a	0.34 a
HSD/DMSH	0.01	0.00	0.04	0.02	0.26	0.09
----- Light / Luz -----						
Control / Testigo	0.36 a	0.07 a	1.73 a	1.48 c	11.84 b	0.29 b
Red / Roja	0.35 a	0.08 a	1.80 a	1.44 c	12.91 a	0.29 b
Blue / Azul	0.34 b	0.08 a	1.75 a	1.56 b	12.11 b	0.28 b
White / Blanca	0.33 b	0.08 a	1.72 a	1.62 a	12.06 b	0.33 a
HSD/DMSH	0.01	0.01	0.08	0.04	0.48	0.02

HSD: honestly significant difference. Means with the same letters within each column for each parameter do not differ statistically (Tukey, $p \geq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales dentro de cada columna para cada parámetro no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$).

chia microgreens. These differences can be attributed to the genetic variability between the two species.

Toscano et al. (2021), in their study of microgreens of other amaranth species (*A. tricolor*), reported higher contents of P, K, Ca, Mg, Cu, Na and Zn, but lower contents of Fe and Mn, than those found in this work. It is important to note that, to the best of our knowledge, there are no studies on the mineral content of *A. hypochondriacus* microgreens. Likewise, no N and B concentrations have been reported in microgreens of any species, which positions this research as an initial reference for these parameters, particularly for chia microgreens.

tanto entre especies como entre tratamientos lumínicos (Cuadros 2 y 3). Los microvegetales de amaranto mostraron las concentraciones más altas en todos los minerales excepto de Mn en comparación con los de chíya. Estas diferencias que se pueden atribuir a la variabilidad genética entre ambas especies.

Toscano et al. (2021), en su estudio de microvegetales de otra especie de amaranto (*A. tricolor*), reportaron contenidos superiores de P, K, Ca, Mg, Cu, Na y Zn, pero menores de Fe y Mn, a los encontrados en este trabajo. Es importante señalar que, hasta donde se tiene conocimiento, no existen estudios sobre el contenido de minerales en microvegetales de *A. hypochondriacus*.

The mineral composition of microgreens depends on both the species and the availability of minerals in the culture medium and the nutrient solution. Di Gioia and Santamaria (2015) and Ghoora et al. (2020a) point out that microgreens with high contents of essential macro and microelements, or low contents of undesirable elements (nitrates and sodium), can be obtained by modifying the culture system and the formulation of the nutrient solution.

Supplementary light significantly influenced ($p \leq 0.05$) the concentrations of some elements (such as N, P, K, Ca, Mg, B, Mn, Na and Zn) in both species (Tables 2 and 3). White light increased the concentrations of P, Ca, Mg, Mn and Zn, while the control favored the levels of K and B. Blue light promoted an increase in the concentration of N, and red light favored the Na content. No significant differences ($p \geq 0.05$) were observed in the concentrations of Cu and Fe.

The observed differences in mineral absorption could be due to specific factors such as transpiration, stomatal aperture, growth rate and biomass accumulation at different stages of plant development (Pennisi et al., 2019). Also, mineral absorption and accumulation in plants may be modulated by factors such as species, light, temperature, CO₂ level, water stress, phytohormones, and interaction with other nutrients (Sakuraba & Yanagisawa, 2018).

There is scarce information on the effect of different wavelengths of LED light on the dynamics of nutrient absorption, particularly during the commercial maturity stage of microgreens. In this sense, the present research provides novel information on the effect of different types of LED light on young seedlings (microgreens) of chia and amaranth.

Proximal analysis

The results of the proximal analysis varied among species, except for lipid content (Table 4). Amaranth microgreens had the highest percentages of protein, ash, and moisture content, but lower carbohydrate and calorie content than chia.

Due to the limited availability of proximal analysis data on microgreens of the studied species, the results were compared with studies conducted on their respective seeds. In the case of chia, the protein content in microgreens (23.20 g·100 g⁻¹) was similar to that reported for seeds (23.17 g·100 g⁻¹) by Scapin et al. (2016). In contrast, amaranth microgreens had a considerably higher protein content (27.70 g·100 g⁻¹) than that reported for their seeds (1.40 g·100 g⁻¹) by Trino et al. (2017).

Asimismo, no se han reportado concentraciones de N y B en microvegetales de ninguna especie, lo cual posiciona a esta investigación como un referente inicial en estos parámetros, en particular para microvegetales de chía.

La composición mineral de los microvegetales depende tanto de la especie como de la disponibilidad de minerales en el medio de cultivo y en la solución nutritiva. Di Gioia y Santamaria (2015) y Ghoora et al. (2020a) señalan que es posible obtener microvegetales con alto contenido de macro y microelementos esenciales, o bajo contenido de elementos no deseados (nitratos y sodio), al modificar el sistema de cultivo y la formulación de la solución nutritiva.

La luz suplementaria influyó significativamente ($p \leq 0.05$) en las concentraciones de algunos elementos (como N, P, K, Ca, Mg, B, Mn, Na y Zn) en ambas especies (Cuadros 2 y 3). La luz blanca incrementó las concentraciones de P, Ca, Mg, Mn y Zn, mientras que el testigo favoreció los niveles de K y B. La luz azul promovió un aumento en la concentración de N, y la luz roja favoreció el contenido de Na. No se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la concentración de Cu y Fe.

Las diferencias observadas en la absorción de minerales se podrían deber a factores específicos como la transpiración, la apertura estomática, la tasa de crecimiento y la acumulación de biomasa en las diferentes etapas de desarrollo de la planta (Pennisi et al., 2019). Asimismo, la absorción y acumulación de minerales en las plantas puede estar modulada por factores como la especie, la luz, la temperatura, el nivel de CO₂, el estrés hídrico, las fitohormonas y la interacción con otros nutrientes (Sakuraba & Yanagisawa, 2018).

Existe poca información sobre el efecto de diferentes longitudes de onda de la luz led en la dinámica de absorción de nutrientes, en particular durante la etapa de madurez comercial de los microvegetales. En este sentido, la presente investigación aporta información novedosa sobre el efecto de diferentes tipos de luz led en plántulas jóvenes (microvegetales) de chía y amaranto.

Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal fueron diferentes entre especies, con excepción del contenido de lípidos (Cuadro 4). Los microvegetales de amaranto presentaron los porcentajes más altos de proteína, cenizas y contenido de humedad, pero menor contenido de carbohidratos y calorías que la chía.

Debido a la limitada disponibilidad de datos sobre análisis proximal en microvegetales de las especies estudiadas, los resultados se compararon con estudios realizados en sus

Table 4. Mean comparison of the proximal analysis in dry matter of chia and amaranth microgreens in response to different LED light treatments.**Cuadro 4. Comparación de medias del análisis proximal en materia seca de microvegetales de chíá y amaranto en respuesta a distintos tratamientos de luz led.**

Treatment/ Tratamiento	Protein (%)/ Proteína (%)	Lipids (%)/ Lípidos (%)	Ash (%)/ Cenizas (%)	Carbohydrates (%)/ Carbohidratos (%)	Moisture (%)/ Humedad (%)	Calories (Kcal·100 g ⁻¹)/ Calorías (Kcal·100 g ⁻¹)
----- Specie/Especie -----						
Chia	23.20 b	3.28 a	10.25 b	63.21 a	85.45 b	345.85 a
Amaranth/Amaranto	27.70 a	3.20 a	17.94 a	51.15 b	86.48 a	315.43 b
HSD/DMSH	0.44	0.35	0.55	0.84	0.30	2.37
----- Light/Luz -----						
Control/Testigo	25.70 ab	3.84 a	14.98 a	55.41 c	85.68 b	324.67 c
Red /Roja	25.30 ab	3.77 a	13.84 b	57.08 b	86.33 a	329.53 b
Blue /Azul	25.90 a	2.82 b	14.11 ab	57.15 b	85.82 ab	332.25 a
White /Blanca	24.90 b	2.52 b	13.44 b	59.07 a	86.03 ab	336.12 a
HSD/DMSH	0.84	0.66	1.04	1.59	0.57	4.48

HSD: honestly significant difference. Means with the same letters within each column for each parameter do not differ statistically (Tukey, $p > 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales dentro de cada columna para cada parámetro no difieren estadísticamente (Tukey, $p > 0.05$).

Regarding the lipid content in chia microgreens (3.28 g·100 g⁻¹) and amaranth (3.20 g·100 g⁻¹) it was lower than that observed in seeds (28.35 and 4.2 g·100 g⁻¹, respectively) by Scapin et al. (2016) and Trino et al. (2017). The carbohydrate concentration also showed important variations, since the value of this metabolite in chia microgreens was higher (63.1 g·100 g⁻¹) than that reported in seeds (8.6 g·100 g⁻¹) by Jiménez et al. (2013). In contrast, amaranth microgreens had a lower carbohydrate content (51.1 g·100 g⁻¹) than that observed in seeds (74.4 g·100 g⁻¹) by Trino et al. (2017). Finally, the caloric energy observed in amaranth microgreens was lower (315 Kcal·100 g⁻¹) than the value found in seeds (386 Kcal·100 g⁻¹) by Trino et al. (2017).

The observed differences may be related to the fact that seeds contain reserve substances for germination and seedling development, which are transformed and translocated to generate new and diverse metabolites according to the demands of the new plant. Therefore, the content of primary metabolites (carbohydrates, proteins, and lipids) tends to decrease with plant growth (Ghoora & Srividya, 2017).

LED light treatments significantly influenced ($p \leq 0.05$) all variables in the proximate analysis in both species (Table 4). Control microgreens (without artificial light) showed higher concentrations of lipids and ash in both species. The blue light treatment maximized protein content, possibly due to the higher amount of N. Red light resulted in a higher percentage of moisture, which was reflected in lower plant dry weight.

respectivas semillas. En el caso de la chíá, el contenido de proteína en los microvegetales (23.20 g·100 g⁻¹) fue similar al reportado en semillas (23.17 g·100 g⁻¹) por Scapin et al. (2016). Por el contrario, los microvegetales de amaranto tuvieron un contenido proteico considerablemente mayor (27.70 g·100 g⁻¹) que el reportado en sus semillas (1.40 g·100 g⁻¹) por Trino et al. (2017).

En cuanto al contenido de lípidos, los microvegetales de chíá (3.28 g·100 g⁻¹) y de amaranto (3.20 g·100 g⁻¹) tuvieron un valor inferior al observado en las semillas (28.35 y 4.2 g·100 g⁻¹, respectivamente) por Scapin et al. (2016) y Trino et al. (2017). La concentración de carbohidratos también presentó variaciones importantes, ya que el valor de este metabolito en los microvegetales de chíá fue superior (63.1 g·100 g⁻¹) al reportado en semillas (8.6 g·100 g⁻¹) por Jiménez et al. (2013). En contraste, los microvegetales de amaranto tuvieron un contenido de carbohidratos inferior (51.1 g·100 g⁻¹) al observado en semillas (74.4 g·100 g⁻¹) por Trino et al. (2017). Finalmente, la energía calórica observada en los microvegetales de amaranto fue inferior (315 Kcal·100 g⁻¹) al valor encontrado en semillas (386 Kcal·100 g⁻¹) por Trino et al. (2017).

Las diferencias observadas se podrían deber a que las semillas contienen sustancias de reserva para la germinación y el desarrollo de la plántula, las cuales se transforman y translocan para generar nuevos y diversos metabolitos de acuerdo con las demandas de la nueva planta. Por ello, el contenido de metabolitos primarios (carbohidratos, proteínas y lípidos) tiende a

Finally, white light promoted carbohydrate content and, consequently, caloric value, since high light intensity favors the accumulation of carbohydrates in chloroplasts and the cytoplasm. Azcón-Bieto and Talón (2013) emphasize that the light environment during plant growth determines their photosynthetic, morphological, and physiological characteristics.

Nutraceutical composition and antioxidant activity

Amaranth microgreens showed higher chlorophyll a content, while chia microgreens were characterized by a higher accumulation of chlorophyll b (Table 5). The concentrations of chlorophylls a and b in both species were higher than those reported by Ghora et al. (2020b) in species of the Lamiaceae and Amaranthaceae families, to which chia and amaranth belong, respectively. Likewise, Toscano et al. (2021) obtained lower concentrations of these pigments in *A. tricolor*.

From a nutraceutical perspective, chlorophyll consumption provides health benefits. Additionally, high levels of these pigments intensify the green color of leaves, which can improve consumer acceptance of the product (Ghora et al., 2020b).

Regarding LED light treatments, no significant differences ($p \geq 0.05$) were observed in chlorophyll b content, but differences were observed in chlorophyll a content (Table 5), where treatment with blue light

disminuir con el crecimiento de la planta (Ghóra & Srividya, 2017).

Los tratamientos con luz led influyeron significativamente ($p \leq 0.05$) en todas las variables del análisis proximal en ambas especies (Cuadro 4). Los microvegetales del testigo (sin luz artificial) presentaron mayor concentración de lípidos y cenizas en ambas especies. El tratamiento con luz azul maximizó el contenido de proteína, posiblemente debido a la mayor cantidad de N. La luz roja repercutió en un mayor porcentaje de humedad, lo cual se reflejó en un menor peso seco en las plantas. Por último, la luz blanca promovió el contenido de carbohidratos y, en consecuencia, el valor calórico, ya que la alta intensidad lumínica favorece la acumulación de carbohidratos en los cloroplastos y el citoplasma. Azcón-Bieto y Talón (2013) destacan que el ambiente lumínico durante el crecimiento de las plantas condiciona sus características fotosintéticas, morfológicas y fisiológicas.

Composición nutraceutica y actividad antioxidante

Los microvegetales de amaranto presentaron un mayor contenido de clorofila a, mientras que los de chia se caracterizaron por una mayor acumulación de clorofila b (Cuadro 5). La concentración de clorofilas a y b en ambas especies fueron superiores las reportadas por Ghóra et al. (2020b) en especies de las familias Lamiaceae y Amaranthaceae, a las cuales pertenecen la

Table 5. Mean comparison for the values of nutraceutical and antioxidant variables in fresh weight of chia and amaranth microgreens in response to LED light treatments.

Cuadro 5. Comparación de medias de variables nutraceuticas y antioxidantes en peso fresco de microvegetales de chia y amaranto como respuesta a tratamientos con luz led.

Treatment / Tratamiento	Chlorophyll a (mg·g ⁻¹) / Clorofila a (mg·g ⁻¹)	Chlorophyll b (mg·g ⁻¹) / Clorofila b (mg·g ⁻¹)	Carotenoids (mg·g ⁻¹) / Carotenoides (mg·g ⁻¹)	Phenols (mg _{GAE} ·100 g ⁻¹) / Fenoles (mg _{EAG} ·100 g ⁻¹)	Flavonoids (μg _{QE} ·100 g ⁻¹) / Flavonoides (μg _{EQ} ·100 g ⁻¹)	Antioxidant activity (mmol _{TE} ·100 g ⁻¹) / Actividad antioxidante (mmol _{ET} ·100 g ⁻¹)
----- Specie / Especie -----						
Chia	1.20 b	0.44 a	0.44 a	126.60 a	256.22 a	2.71 a
Amaranth / Amaranto	1.31 a	0.31 b	0.40 b	114.20 b	119.03 b	1.01 b
HSD/DMSH	0.05	0.02	0.02	1.71	6.41	0.01
----- Light / Luz -----						
Control/Testigo	1.20 b	0.37 a	0.41 b	119.40 b	179.10 b	1.84 b
Red / Roja	1.29 ab	0.38 a	0.45 a	119.60 b	179.40 b	1.84 b
Blue / Azul	1.32 a	0.38 a	0.42 ab	124.10 a	208.70 a	1.93 a
White / Blanca	1.21 a	0.35 a	0.40 b	118.60 b	183.06 b	1.82 c
HSD/DMSH	0.10	0.04	0.10	3.24	12.12	0.01

HSD: honestly significant difference. Means with the same letters within each column for each parameter do not differ statistically (Tukey, $p \geq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales dentro de cada columna para cada parámetro no difieren estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$).

caused an increase in this pigment. Toscano et al. (2021) obtained similar results in amaranth under blue LED light. On the other hand, in treatments without LED light, significant differences ($p \leq 0.05$) were found in the carotenoid content between species (Table 5), which was higher than the values reported by Toscano et al. (2021). Treatments with red and blue light promoted a greater accumulation of these pigments compared to white light. In this sense, Toscano et al. (2021) observed that blue light promotes carotenoid biosynthesis ($\approx 30\%$ more). The increase in photosynthetic pigments in microgreens is closely related to the species, the interaction between chlorophyll and carotenoid biosynthesis, as well as the duration and intensity of light (Mlinarić et al., 2020).

The content of phenolic compounds showed different behavior between species and light treatments (Table 5). The highest concentration of these metabolites was recorded in chia microgreens and was higher than that obtained by Ghoola et al. (2020b) in 10 species ($14.06 - 73.6 \text{ mg}_{\text{GAE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), including one species from the Lamiaceae family and another from Amaranthaceae. On the other hand, the content of phenolic compounds ($124.8 \text{ mg}_{\text{GAE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) in another amaranth species (*A. tricolor*) (Toscano et al., 2021) was higher than that obtained in amaranth microgreens (*A. hypochondriacus*) in the present investigation. These differences could be due to factors such as genetic variability, cultivation conditions or composition of the nutrient solution.

In both species, the content of phenolic compounds increased with blue light, which coincides with that reported by Toscano et al. (2021) in amaranth and turnip. Exposure of plants to blue light has been associated with the activity of the enzyme phenylalanine ammonia lyase (PAL), which is decisive in the biosynthesis of phenols through the shikimic acid metabolic pathway (Cuong et al., 2019). This enzyme is activated by abiotic stress and the accumulation of reactive oxygen species (ROS) (Eloy et al., 2018).

A similar trend was observed among species and light treatments in flavonoid concentrations (Table 5). Chia microgreens had higher flavonoid concentrations than amaranth microgreens (0.256 and $0.11 \text{ mg}_{\text{QE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, respectively), similar to that observed for phenolic compounds. These values are lower than those reported by Ghoola et al. (2020b) in 10 species of microgreens (1.1 to $6.5 \text{ mg}_{\text{QE}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

There are intrinsic and extrinsic factors that can affect the content of phenolic compounds and flavonoids, such as the species, growth conditions, maturity stage at harvest, abiotic stress, and sample preparation (Eloy et al., 2018; Podsędek, 2007). The reported flavonoid content in microgreens is scarce; however, some research has shown that blue light promotes their

chía y el amaranto, respetivamente. Asimismo, Toscano et al. (2021) obtuvieron menores concentraciones de estos pigmentos en *A. tricolor*.

Desde un punto de vista nutracéutico, el consumo de clorofila aporta beneficios a la salud. Adicionalmente, niveles elevados de estos pigmentos intensifican el color verde de las hojas, lo cual puede mejorar la aceptación del producto por parte del consumidor (Ghoola et al., 2020b).

Respecto a los tratamientos con luz led, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de clorofila b, pero sí se observaron diferencias en el contenido de clorofila a (Cuadro 5), donde el tratamiento con luz azul provocó un aumento de este pigmento. Toscano et al. (2021) obtuvieron resultados similares en amaranto bajo luz led azul. Por su parte, en los tratamientos sin luz led se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de carotenoides entre especies (Cuadro 5), el cual fue superior a los valores reportados por Toscano et al. (2021). Los tratamientos con luz roja y azul promovieron una mayor acumulación de estos pigmentos en comparación con la luz blanca. En este sentido, Toscano et al. (2021) observaron que la luz azul promueve la biosíntesis de carotenoides ($\approx 30\%$ más). El aumento de pigmentos fotosintéticos en los microvegetales está estrechamente relacionado con la especie, la interacción entre la biosíntesis de clorofila y carotenoides, así como la duración e intensidad de la luz (Mlinarić et al., 2020).

El contenido de compuestos fenólicos presentó un comportamiento diferente entre especies y tratamientos de luz (Cuadro 5). La mayor concentración de estos metabolitos se registró en los microvegetales de chía, y fue superior a la obtenida por Ghoola et al. (2020b) en 10 especies ($14.06 - 73.6 \text{ mg}_{\text{EAG}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), incluida una especie de la familia Lamiaceae y otra de Amaranthaceae. Por otro lado, el contenido de compuestos fenólicos ($124.8 \text{ mg}_{\text{EAG}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) en otra especie de amaranto (*A. tricolor*) (Toscano et al., 2021) fue superior al obtenido en los microvegetales de amaranto (*A. hypochondriacus*) de la presente investigación. Estas diferencias se podrían deber a factores como variabilidad genética, condiciones de cultivo o composición de la solución nutritiva.

En ambas especies, el contenido de compuestos fenólicos aumentó con la luz azul, lo cual coincide con lo reportado por Toscano et al. (2021) en amaranto y nabo. La exposición de las plantas a la luz azul se ha asociado con la actividad de la enzima fenilalanina-amonio-liasa (PAL, por sus siglas en inglés), determinante en la biosíntesis de fenoles a través de la ruta metabólica del ácido siquímico (Cuong, et al., 2019). Esta enzima se activa por el estrés abiótico y la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) (Eloy et al., 2018).

accumulation to a greater extent than white or red light (Nam et al., 2018). This effect has been linked to the expression of genes encoding enzymes responsible for the synthesis of some flavonoids, such as 4-cinnamic acid hydroxylase, chalcone isomerase, flavonol synthase II, anthocyanidin synthase (Thwe et al., 2014), flavonoid 3-hydroxylase and flavonol synthase (Kim et al., 2015).

Regarding antioxidant activity, the results followed a similar trend to that of phenolic and flavonoid compounds, highlighting chia microgreens and blue light treatment in both species (Table 5). The antioxidant activity in chia microgreens ($27.1 \mu\text{mol}_{\text{TE}} \cdot \text{g}^{-1}$) was higher than the range reported by Ghoora et al. (2020b) (10.9 to $22.8 \mu\text{mol}_{\text{TE}} \cdot \text{g}^{-1}$) in 10 species evaluated. In contrast, amaranth microgreens had lower antioxidant activity ($10.06 \mu\text{mol}_{\text{TE}} \cdot \text{g}^{-1}$) compared to the mentioned range. The observed differences can be attributed to the defense mechanisms induced by lighting, which activate different metabolic pathways that favor the synthesis of antioxidant compounds, particularly phenolic ones (Toscano et al., 2021). According to the results, antioxidant activity is related to the concentrations of phenols, flavonoids, and carotenoids, which act as potent ROS neutralizing agents.

Conclusions

The chia microgreens stood out for their nutraceutical quality, evidenced by the higher concentration of carotenoids, phenols, flavonoids, and high antioxidant activity. The amaranth microgreens, meanwhile, stood out for their nutritional quality, presenting higher macro and micronutrient (except Mn) and protein contents.

Among the supplemental LED light treatments, white light improved nutritional content, while blue light increased the content of nutraceutical variables. Red light promoted dry matter accumulation in both species, while the treatment without light had little significant effect. Supplemental LED light generated changes in the nutritional and nutraceutical properties of the microgreens of both species evaluated.

End of English version

References / Referencias

- Alcántar-González, G., & Sandoval-Villa, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal: guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Alrifai, O., Hao, X., Marcone, M. F., & Tsao, R. (2019). Current review of the modulatory effects of LED lights on photosynthesis of secondary metabolites and future perspectives of

Se observó una tendencia similar entre especies y entre tratamientos con luz en las concentraciones de flavonoides (Cuadro 5). Los microvegetales de chíá presentaron una mayor concentración de flavonoides que los de amaranto (0.256 y $0.11 \text{ mg}_{\text{EQ}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente), comportamiento similar al observado en los compuestos fenólicos. Dichos valores son inferiores a los reportados por Ghoora et al. (2020b) en 10 especies de microvegetales (1.1 a $6.5 \text{ mg}_{\text{EQ}} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Existen factores intrínsecos y extrínsecos que pueden afectar el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, como la especie, las condiciones de crecimiento, el estado de madurez en la cosecha, el estrés abiótico y la preparación de la muestra (Eloy et al., 2018; Podszędek, 2007). El contenido de flavonoides reportado en microvegetales es escaso; sin embargo, algunas investigaciones han demostrado que la luz azul promueve su acumulación en mayor medida que la luz blanca o roja (Nam et al., 2018). Este efecto se ha relacionado con la expresión de genes que codifican a enzimas responsables de la síntesis de algunos flavonoides, como la ácido 4-cinámico hidroxilasa, chalcona isomerasa, flavonol sintasa II, antocianidina sintasa (Thwe et al., 2014), flavonoide 3-hidroxilasa y flavonol sintasa (Kim et al., 2015).

En cuanto a la actividad antioxidante, los resultados siguieron una tendencia similar a la de los compuestos fenólicos y flavonoides, al destacar los microvegetales de chíá y el tratamiento con luz azul en ambas especies (Cuadro 5). La actividad antioxidante en los microvegetales de chíá ($27.1 \mu\text{mol}_{\text{ET}} \cdot \text{g}^{-1}$) fue superior al intervalo reportado por Ghoora et al. (2020b) (10.9 a $22.8 \mu\text{mol}_{\text{ET}} \cdot \text{g}^{-1}$) en 10 especies evaluadas. En contraste, los microvegetales de amaranto tuvieron una menor actividad antioxidante ($10.06 \mu\text{mol}_{\text{ET}} \cdot \text{g}^{-1}$) en comparación con el intervalo mencionado. Las diferencias observadas se pueden atribuir a los mecanismos de defensa inducidos por la iluminación, los cuales activan diferentes rutas metabólicas que favorecen la síntesis de compuestos antioxidantes, en particular los fenólicos (Toscano et al., 2021). De acuerdo con los resultados, la actividad antioxidante está relacionada con las concentraciones de fenoles, flavonoides y carotenoides, los cuales actúan como potentes agentes neutralizadores de ROS.

Conclusiones

Los microvegetales de chíá destacaron por su calidad nutraceutica, evidenciada por la mayor concentración de carotenoides, fenoles, flavonoides y una elevada actividad antioxidante. Por su parte, los microvegetales de amaranto sobresalieron por su calidad nutricional, al presentar mayores contenidos de macro y micronutrientes (excepto Mn), y proteínas.

- microgreen vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(22), 6075-6090. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00819>
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2005). *Official Methods of Analysis. Duma's method (990.03)*. AOAC.
- Audu, S. S., & Aremu, M. O. (2011). Effect of processing on chemical composition of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(11), 1069-1075. <https://doi.org/10.3923/pjn.2011.1069.1075>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª edición). Mc. Graw Hill-Interamericana.
- Bautista-Olivas, A. L., Bernal-Triviño, N., Álvarez-Chávez, C. R., & Mendoza-Cariño, M. (2023). Evaluación productiva y nutrimental de brotes de brócoli cultivados con luz artificial. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 46(4), 471-476. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.471>
- Casierra-Posada, F., & Peña-Olmos, J. (2015). Modificaciones fotomorfológicas inducidas por la calidad de la luz en plantas cultivadas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39, 84-92. <https://doi.org/10.18257/raccefyfn.276>
- Castagnino, A. M., Marina, J. A., Benvenuti, S., & Marín-Castro, M. A. (2020). Microgreens and sprouts, two innovative functional foods for a healthy diet in Km 0. *Horticultura Argentina*, 39(100), 55-95.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Cruz-de la Cruz, L. L., García-Mateos, M. R., Ybarra-Moncada, C., & Corrales-García, J. (2021). Sweetened nopal flakes: a functional snack. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 94, 169-175. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.020>
- Cuong, D. M., Ha, T. W., Park, C. H., Kim, N. S., Yeo, H. J., Chun, S. W., Kim, C., & Park, S. U. (2019). Effects of LED lights on expression of genes involved in phenylpropanoid biosynthesis and accumulation of phenylpropanoids in wheat sprout. *Agronomy*, 9(6), 307. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060307>
- Di Gioia, F., & Santamaria, P. (2015). *Microgreens: Novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity*. ECOlogica Bari.
- Eloy, E., Elli, F., & Schwerz, F. (2018). Conversion efficiency of photosynthetically active radiation into *Acacia mearnsii* biomass. *Floresta e Ambiente*, 25(2), e20160039. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.003916>
- Ghoora, M. D., & Srividya, N. (2017). Storage effects on phytochemicals, antioxidant activity and sensory quality of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) microgreens and mature leaves. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 6(4), 59. https://www.researchgate.net/publication/322486684_Storage_effects_on_phytochemicals_antioxidant_activity_and_sensory_quality_of_fenugreek_Trigonella_foenum-graecum_L_microgreens_and_mature_leaves
- Entre los tratamientos con luz led suplementaria, la luz blanca favoreció el contenido nutricional, mientras que la luz azul incrementó el contenido de las variables nutraceuticas. La luz roja favoreció la acumulación de materia seca en ambas especies, en tanto que el tratamiento sin luz presentó efectos poco relevantes. La luz led suplementaria generó cambios en las propiedades nutricionales y nutraceuticas de los microvegetales de las dos especies evaluadas.
- Fin de la versión en español**
- =====
- Ghoora, M. D., Babu, D. R., & Srividya, N. (2020a). Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 91, 103495. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103495>
- Ghoora, M. D., Haldipur, A. C., & Srividya, N. (2020b). Comparative evaluation of phytochemical content, antioxidant capacities and overall antioxidant potential of select culinary microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100046>
- Gómez-Favela, M. A., Gutiérrez-Dorado, R., Cuevas-Rodríguez, E. O., Canizalez-Román, V. A., León-Sicairos, C. R., Milán-Carrillo, J., & Reyes-Moreno, C. (2017). Improvement of chia seeds with antioxidant activity, GABA, essential amino acids, and dietary fiber by controlled germination bioprocess. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(4), 345-352. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0631-4>
- González-Solano, K. D., Rodríguez-Mendoza, M. N., Escalante-Estrada, J. A. S., García-Cué, J. L., Pedraza-Santos, M. E., & Sánchez-Escudero, J. (2019). Crecimiento y producción de chía (*Salvia hispanica* L.) en función de la irradiancia y fertilización orgánica. *Interciencia*, 44(6), 340-346. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2019/07/340_6543_Com_Rodriguez-Mendoza_v44n6-1.pdf
- Jiménez, P., Masson, L., & Quitral, V. (2013). Chemical composition of chia seed, flaxseed and rosehip and its contribution in fatty acids omega 3. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(2), 155-160. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182013000200010>
- Junpawati, A., & Sangpituk, A. (2019). Effects of seed preparation, sowing media, seed sowing rate and harvesting period on the production of chia microgreens. *International Journal of GEOMATE*, 17(61), 80-85. <https://doi.org/10.21660/2019.61.4726>
- Kim, E. T., Guan, L. L., Lee, S. J., Lee, S. M., Lee, S. S., Lee, I. D., Lee, S. K., & Lee, S. S. (2015). Effects of flavonoid-rich plant extracts on *in vitro* ruminal methanogenesis, microbial populations and fermentation characteristics. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(4), 530-537. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0692>

- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., García-Parilla, M. C., Troncoso, A. M., & Fett, R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. *Food Science and Technology*, 24(4), 691-693. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000400036>
- Lau, T. Q., Tang, V. T. H., & Kansedo, J. (2019). Influence of soil and light condition on the growth and antioxidants content of *Amaranthus cruentus* (Red Amaranth) microgreen. *Materials Science and Engineering*, 495(1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012051>
- Mapes-Sánchez, E. C. (2015). El amaranto. *Revista Ciencia*, 66(3), 8-15. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-66-numero-3/604-el-amaranto>
- Mendoza-Paredes, J. E., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Valdéz-Aguilar, L. A., & García-Mateos, M. R. (2021). Efecto de diferentes proporciones de luz LED azul:roja en plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Biotecnia*, 23(1), 110-119. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1288>
- Mir, S. A., Shah, M. A., & Mir, M. M. (2016). Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12), 2730-2736. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1144557>
- Mlinarić, S., Gvozdić, V., Vuković, A., Varga, M., Vlašiček, I., Cesar, V., & Begović, L. (2020). The effect of light on antioxidant properties and metabolic profile of chia microgreens. *Applied Sciences*, 10(17), 5731. <https://doi.org/10.3390/app10175731>
- Nam, T. G., Kim, D. O., & Eom, S. H. (2018). Effects of light sources on major flavonoids and antioxidant activity in common buckwheat sprouts. *Food Science and Biotechnology*, 27(1), 169-176. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0204-1>
- Pennisi, G., Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, I., Spinelli, F., Nicola, S., Fernandez, J. A., Stanghellini, C., Marcellis, L. F. M., Orsini, F., & Gianquinto, D. (2019). Unraveling the role of red:blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. *Frontiers in Plant Science*, 10, 305. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00305>
- Podsedek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023>
- Sakuraba, Y., & Yanagisawa, S. (2018). Light signaling-induced regulation of nutrient acquisition and utilization in plants. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 83, 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.semcd.2017.12.014>
- Sánchez-del Castillo, F., & Escalante-Rebolledo, E. (1988). *Hidroponía* (3ra edición). Universidad Autónoma Chapingo.
- SAS Institute. (2002). *SAS/STAT® 9.1 user's guide*. SAS Institute Inc.
- Scapin, G., Schmidt, M. M., Prestes, R. C., & Rosa, C. S. (2016). Phenolics compounds, flavonoids, and antioxidant activity of chia seed extracts (*Salvia hispanica*) obtained by different extraction conditions. *International Food Research Journal*, 23(6), 2341-2346. [http://ifrrj.upm.edu.my/23%20\(06\)%202016/\(5\).pdf](http://ifrrj.upm.edu.my/23%20(06)%202016/(5).pdf)
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. *International Congress on Soilless Culture*, 6, 633-650.
- Thwe, A. A., Kim, Y. B., Li, X., Seo, J. M., Kim, S. J., Suzuki, T., Chung, S. O., & Park, S. U. (2014). Effects of light-emitting diodes on expression of phenylpropanoid biosynthetic genes and accumulation of phenylpropanoids in *Fagopyrum tataricum* sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(21), 4839-4845. <https://doi.org/10.1021/jf501335q>
- Toscano, S., Cavallaro, V., Ferrante, A., Romano, D., & Patané, C. (2021). Effects of different light spectra on final biomass production and nutritional quality of two microgreens. *Plants*, 10(8), 1584. <https://doi.org/10.3390/plants10081584>
- Trino, R. D., Grados-Torrez, R. E., Gutiérrez-Duran, M. D. P., Mamani-Mayta, D. D., Pérez-Gonzales, J., Magariños-Loredo, W., & Gonzales-Dávalos, E. (2017). Evaluación del aporte nutricional del amaranto (*Amaranthus caudatus* Linnaeus), quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) y tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) en el desayuno. *Revista CON-CIENCIA*, 5(2), 15-28. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-02652017000200003#:~:text=Evaluaci%C3%B3n%20del%20aporte%20cal%C3%B3rico%20del,59%2C6%20kcal%2Fd%C3%ADA
- Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). *Analysis of phenolic plant metabolites*. Blackwell Scientific Publications.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y. & Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60(31), 7644-7651. <https://doi.org/10.1021/jf300459b>
- Xiao, Z., Lester, G. E., Park, E., Saftner, R. A., Luo, Y., & Wang, Q. (2015). Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 140-148. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.021>
- Yang, D. H., Webster, J., Adam, Z., Lindahl, M., & Andersson, B. (1998). Induction of acclimatize proteolysis of the light-harvesting chlorophyll a/b protein of photosystem II in response to elevated light intensities. *Plant Physiology*, 118(3), 827-834. <https://doi.org/10.1104/pp.118.3.827>