

## Impacto de Intensidad Lumínica en la Germinación y Crecimiento de *Cannabis sativa* en Acuaponía

David-Ruales, C.A; Flórez-Restrepo C.A; Serna-González, A.; Gómez-Mejía, P.A.

### Resumen

**Introducción:** los sistemas acuapónicos permiten la sinergia positiva entre plantas y peces; el uso de este tipo de sistema productivo con diferencias en la intensidad lumínica en la germinación y crecimiento no se ha evaluado en *Cannabis sativa*; planta milenaria que ha cobrado relevancia por sus variados usos y aplicaciones. **Objetivo:** evaluar el efecto de la intensidad lumínica sobre la germinación y algunas características químicas de *Cannabis sativa* en un sistema acuapónico. **Materiales y métodos:** en un sistema acuapónico de biopelícula asociado a un cultivo de tilapia, con luz blanca (T1), luz roja (T2) y un control (luz natural-T3);

se evaluaron germinación, crecimiento, grosor del tallo, capacidad antioxidante y concentración de polifenoles en *C. sativa*; además se registró calidad de agua y zootécnicos para los peces. **Resultados:** la germinación fue del 87,5%, 75,2% y 71,87% para T1, T2 y T3 respectivamente. Los valores de altura fueron significativamente diferentes entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ), siendo T3 el mayor con 0,6485 cm/día. En T1 la capacidad antioxidante y la concentración de polifenoles fueron significativamente menores cuando comparados con T2 y T3. **Conclusiones:** la intensidad lumínica (IL) no presentó influencia sobre el porcentaje de germinación, ni sobre el grosor de los tallos de las plantas, además se observa una

1 Artículo original derivado y financiado del proyecto de baja cuantía de la Corporación Universitaria Lasallista titulado: Evaluación de un sistema acuapónico de Cannabis y Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) con fertilización orgánica y diferencia de onda lumínica, bajo invernadero en Unilasallista, Caldas – Antioquia, en el año 2023.

2 PhD, MSc, Esp. Biol. Docente del programa de Zootecnia de la Unilasallista. Grupo de investigación GIPDTA de Unilasallista. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8834-2755>

3 MSc, Mat. Director de Ciencias Básicas de la Unilasallista. Grupo de investigación G3IN de Unilasallista. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8007-0524>

4 PhD, Qco, Profesor del área de ciencias básicas. Grupo de Investigación en Alimentos – GIAL de Unilasallista. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4307-0853>

5 MSc, Adm. Coordinadora del programa de Administración de Empresas Agropecuarias. Grupo de investigación DELTA de Unilasallista. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2762-2560>

**Autor para Correspondencia:** Carlos Arturo David Ruales, correo: [cdavid@unilasallista.edu.co](mailto:cdavid@unilasallista.edu.co)

Recibido: 30/09/2024      Aceptado: 18/12/2024

\*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

influencia determinante y significativa de la IL sobre la concentración de polifenoles y la capacidad antioxidante; por otro lado el montaje acuapónico presentó condiciones de confort para el crecimiento de la tilapia.

**Palabras clave:** acuaponía, *Cannabis sativa* L, espectro lumínico, estrés lumínico, actividad antioxidante.

---

### Impact of Light Intensity on Germination and Growth of *Cannabis sativa* in Aquaponics System

#### Abstract

**Introduction:** Aquaponic systems enable positive synergy between plants and fish. However, the use of this type of productive system under varying light intensities during germination and growth has not been evaluated in *Cannabis sativa*, an ancient plant that has gained relevance for its diverse uses and applications. **Objective:** To evaluate the effect of light intensity on the germination and some chemical characteristics of *Cannabis sativa* in an aquaponic system. **Materials and Methods:** In a biofilm aquaponic system associated with tilapia farming, using white light (T1), red light (T2), and a control (natural light-T3), germination, growth, stem thickness, antioxidant capacity,

and polyphenol concentration in *C. sativa* were evaluated. Additionally, water quality and zootechnical parameters for the fish were recorded. **Results:** Germination rates were 87.5%, 75.2%, and 71.87% for T1, T2, and T3, respectively. Plant height values differed significantly among treatments ( $p < 0.05$ ), with T3 showing the highest growth at 0.6485 cm/day. Antioxidant capacity and polyphenol concentration were significantly lower in T1 compared to T2 and T3. **Conclusions:** Light intensity (LI) did not influence germination percentage or stem thickness in the plants. However, LI had a significant and determining influence on polyphenol concentration and antioxidant capacity. On the other hand, the aquaponic setup provided comfortable conditions for tilapia growth.

**Keywords:** aquaponics, *Cannabis sativa* L., light spectrum, light stress, antioxidant activity.

## Impacto da Intensidade da Luz na Germinação e Crescimento de *Cannabis sativa* em Aquaponia

### Resumo

**Introdução:** Os sistemas aquapônicos permitem a sinergia positiva entre plantas e peixes. O uso desse tipo de sistema produtivo com diferentes intensidades luminosas durante a germinação e o crescimento não foi avaliado em *Cannabis sativa*, uma planta milenar que ganhou relevância por seus variados usos e aplicações. **Objetivo:** Avaliar o efeito da intensidade luminosa sobre a germinação e algumas características químicas de *Cannabis sativa* em um sistema aquapônico. **Materiais e métodos:** Em um sistema aquapônico de biofilme associado ao cultivo de tilápia, com luz branca (T1), luz vermelha (T2) e um controle (luz natural-T3), foram avaliados a germinação, o crescimento, a espessura do caule, a capacidade antioxidante e a concentração

de polifenóis em *C. sativa*. Além disso, foram registrados parâmetros de qualidade da água e zootécnicos para os peixes. **Resultados:** A germinação foi de 87,5%, 75,2% e 71,87% para T1, T2 e T3, respectivamente. Os valores de altura diferiram significativamente entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), sendo T3 o maior, com 0,6485 cm/dia. Em T1, a capacidade antioxidante e a concentração de polifenóis foram significativamente menores em comparação com T2 e T3. **Conclusões:** A intensidade luminosa (IL) não apresentou influência sobre o percentual de germinação nem sobre a espessura dos caules das plantas. No entanto, observou-se uma influência determinante e significativa da IL sobre a concentração de polifenóis e a capacidade antioxidante. Por outro lado, o sistema aquapônico apresentou condições confortáveis para o crescimento da tilápia.

**Palavras-chave:** aquaponia, *Cannabis sativa* L., espectro luminoso, estresse luminoso, atividade antioxidante.

---

## Introducción

La producción acuícola a nivel mundial alcanzó las 122,6 millones de toneladas, con un valor de \$281.5 mil millones (FAO, 2024), este crecimiento se observó en la mayoría de las regiones donde se hace la producción acuícola, incluyendo Colombia, quien en el 2022 creció el 20%; se indica además que en este mercado la tilapia es quien domina el sector con un 58% del total producido (Murcia, 2023). Este incremento se sostiene con la presión sobre los sistemas

de producción en su mayoría abiertos, principalmente con la intensificación o producción a escala, generando problemas en toda la cadena productiva (Kousar et al., 2020); e impactando el medio ambiente, principalmente el agua debido a su alta demanda, la producción acuícola genera efluentes y contaminantes de varios tipos, que pueden generar eutroficación, toxicidad química e inseguridad alimentaria (Ahmad et al., 2021). Hoy en día existen estrategias asociadas a la economía circular que permiten la eficiencia en el uso de los

recursos, limita la producción de desechos y el consumo de energía, las cuales son adaptables a la producción acuícola (Fraga-Corral et al., 2022); una de ellas es la acuaponía, que ha sido considerada una de las opciones más sostenibles de este siglo (Oladimeji et al., 2020), se han desarrollado tres tipos de sistemas acuapónicos: el lecho con sustrato filtrante, balsas flotantes y la técnica de película de nutrientes (NFT) cada uno con sus características particulares (Lennard & Leonard, 2006).

Combinar la acuaponía en NFT con tilapia y Cannabis sativa es un sistema innovador y sostenible. Este método aprovecha la interacción simbiótica entre los peces, las plantas y las bacterias beneficiosas para crear un ecosistema equilibrado y productivo (Alameen et al., 2023; Lennard, 2015). Este enfoque integrado no solo maximiza la eficiencia en el uso de recursos, sino que también reduce la necesidad de fertilizantes artificiales y elimina la descarga de desechos nocivos al medio ambiente (Palm et al., 2018). Además, el cultivo de tilapia roja proporciona una fuente adicional de proteína, lo que convierte a este sistema en una opción tanto para la producción de proteína de primera calidad como para el cultivo de cannabis de forma sostenible. La combinación de la acuaponía en NFT con tilapia roja para el cultivo de cannabis representa un enfoque holístico que permite un mayor control sobre las condiciones de cultivo, al tiempo que minimiza el impacto ambiental.

Investigar en *C. sativa* es crucial debido a la amplia gama de compuestos bioactivos con aplicaciones médicas, industriales y recreativas de esta planta (Abdel-Kader et

al., 2023; Pollastro F, Minassi A, 2018). En el área médica, se ha demostrado que ciertos compuestos de cannabis pueden tener efectos beneficiosos en el tratamiento de diversas condiciones, como la epilepsia, el dolor crónico y la ansiedad (Beletsky et al., 2024; Romero-Sandoval et al., 2018; Zaheer et al., 2018). Además, la industria del cannabis está experimentando un crecimiento significativo debido a su uso en la fabricación de textiles, papel, bioplásticos y materiales de construcción sostenibles (Malabadi et al., 2023; Ravindra et al., 2023). Por otro lado, la legalización del cannabis en varios países está generando un aumento en la demanda de investigación sobre su impacto social, económico y legal (Bahji & Stephenson, 2019); en Colombia, la reglamentación para la fabricación, uso de semillas y cultivo de cannabis para fines medicinales y científicos se aprobó en el año 2017 (ley 1787 de 2016); su uso con fines recreativos aún no se ha aprobado. El objetivo del presente trabajo es el de establecer si un sistema acuapónico es viable para la germinación y desarrollo de la planta *C. sativa*, y si las variaciones en la intensidad lumínica afectan estas características.

## Materiales y métodos

*Localización:* el estudio se llevó a cabo en el laboratorio de acuicultura de la Corporación Universitaria Lasallista, ubicado en Caldas a 1750 m.s.n.m. en las coordenadas 6°05'59.3"N 75°38'21.7"W.

*Condiciones de infraestructura:* para el montaje en acuaponía, se utilizaron 5 tanques de 700 l de volumen efectivo, de los cuales 4

fueron tapados con polisombra al 80% para evitar estrés lumínico en los peces cuando las lámparas estaban encendidas a partir de las 5 pm. La aireación fue permanente a través de Blower (Sweetwater 1,5HP) y manguera poli-difusora, la temperatura fue mantenida por calentadores de titanio (TS 600) de 600 W. Sobre los 5 tanques se montaron 4 tubos de pvc de 3" y de 1,86 m de longitud, unidos por codos de 3" de 90°; cada tubo con 5 orificios con un diámetro de 3,5 cm, con una distancia entre ellos de 25 cm, para un total de 20 orificios por tanque. Los tubos estaban unidos a un sistema de filtración biológico y sedimentador con un volumen de 40 litros cada uno, simulando un sistema acuapónico de biopelícula (NFT). El agua fue bombeada desde el tanque principal hacia el sistema de filtración, con una motobomba sumergible SP 6000, el caudal máximo en el NFT fue de 2 L/min y una altura máxima de 1,0 m hacia el sistema de filtración.

*Calidad de agua e intensidad lumínica:* los registros de los principales parámetros de calidad de agua se tomaron con un kit API para pH, amoníaco indirecto por tabla relación T°C y pH (NH<sub>3</sub> mg/L), nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup> mg/L); nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mg/L); dureza general (GH mg/L CaCO<sub>3</sub>) y dureza carbonácea (KH mg/L CaCO<sub>3</sub>); la temperatura (T°C) con un termómetro Hach y el oxígeno disuelto (OD mg/L) y el porcentaje de saturación (%SAT) con una sonda YSI-Plus; se midió además el fósforo total (mg/L) bajo el método 4500-PC y 4500-PB, según Standar Methods (Association & American Water Works Association; Water Environment Federation, 2012). Todos los parámetros fueron medidos dos veces al día (8 am y 5 pm), durante el

periodo experimental (15 días) 5 veces por semana. El tipo de luz utilizada fue blanca y roja, para ello lámparas led (100 W- 100 a 265 V) (blanca-T1 y roja-T2) fueron instaladas en cada tanque, se prendieron a través de controlador automático desde las 5 pm hasta las 7 am del siguiente día. La intensidad lumínica se midió con un luxómetro digital (Uni-T 383. Rango 0 a 199.900 lux), 3 veces al día 8 am, 12m y 7 pm en 4 puntos en cada tanque, 5 veces por semana durante el periodo experimental, los valores se expresaron como lumen/m<sup>2</sup> o Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos (μmol/m<sup>2</sup>/s -PPFD por sus siglas en inglés, que corresponden a la cantidad de luz que realmente llega a las plantas dentro de la región PAR o el número de fotones fotosintéticamente activos que caen en una superficie dada cada segundo.

*Material biológico (peces y plantas):* se usaron 2 Kg de tilapia roja (machos) por cada tanque, el peso individual inicial (Pi) para el T1 fue de 122,2±17,7 g y para T2 122,7±13,42 g; una longitud inicial (Li) promedio en T1 de 19,1±0,88 cm y en T2 de 19,08±0,75, el factor de condición inicial (Ki) para T1 fue de 1,74±0,08 y para T2 fue de 1,76±0,07. Los peces fueron alimentados dos veces al día con base en el 2% de la biomasa, con un alimento comercial del 32% de proteína cruda. Al final del experimento se registró peso final (Pf), longitud total final (LTf), sobrevivencia (%S), tasa de crecimiento específica (%TCE), conversión alimenticia (CA), ganancia de peso (GP), ganancia diaria de peso (GDP), ganancia en longitud (GL), ganancia diaria en longitud (GDL), al igual que el factor de condición final (Kf) y consumo

(C) (David-Ruales, C.A. et al., 2020). Las semillas de *Cannabis sativa* fueron adquiridas del proyecto con código 202102BC del Sistema de Investigación Lasallista y fueron sembradas en poliuretano con un orificio de 1,5 cm de profundidad y un diámetro de 5 mm, dentro del cual se sembró una semilla, cada cubo de poliuretano fue sostenido en vaso plástico de 50 ml, dentro del sistema NFT. Para el porcentaje de germinación se tuvo en cuenta el tiempo transcurrido desde la siembra hasta el afloramiento del embrión por cada tratamiento y por cada réplica; el crecimiento fue medido con un pie de rey digital (MRG-25) desde el momento en el que el primordio de planta asomó sobre la superficie del poliuretano cada 24 horas; también se midió el grosor del tallo de las plantas germinadas usando un medidor de espesor digital (Vernier - ST91511SC) cada tres días para evitar estrés por manipulación de las plántulas; para medir el área radicular se utilizó estereoscopia ZEISS y software de imagen, esta medida se hizo al final del experimento. A las plantas que germinaron por cada tratamiento se les midió actividad antioxidante y polifenoles totales, para ello, el material vegetal fresco fue debidamente fraccionado, posterior se le adiciono etanol al 20% v/v en sus respectivas cubetas. Seguido, se sometió a ultrasonido durante 90 min, a una frecuencia de entre 20 – 30 Hz; el extracto fue filtrado en acrodiscos de 45 µm y almacenado entre 1-10°C para posteriores análisis (Chen et al., 2022; Oroian et al., 2020; Teh & Birch, 2014). Para determinar los polifenoles totales, se utilizó una placa de 96 pozos, a la que se añadieron 100 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu, junto con 20 µL de extracto a una concentración de 1 mg/mL.

Después de dos minutos, se añadieron 80 µL de carbonato de sodio al 20 % w/v. Después de una hora, se midió la absorbancia a 765 nm, y los resultados se expresaron en mg/mL de ácido gálico; cada medición se realizó por triplicado (Dzah et al., 2020; Johnson et al., 2023; Li et al., 2023). Por último La evaluación de la actividad antioxidante, se realizó mediante el método de DPPH (1,1-difenil-2- picrilhidrazilo), en el cual una solución 150 mM de DPPH, fue preparada justo antes del análisis y disuelta en metanol al 80 % (v/v). Se adicionó 200 µL de esta solución al plato de 96 pozos junto con 25 µL de la muestra o control. Se realizó una curva de calibración con ácido gálico entre 50-500 mM, con el fin de expresar los resultados en equivalentes de ácido gálico.

*Diseño experimental:* El diseño planteado considera tres tratamientos: luz blanca (T1), luz roja (T2) y un control con luz natural (T3). El tratamiento T1 se caracterizó por un fotoperiodo de 24 horas de luz continua (24:0 luz:noche), al igual que el tratamiento T2. En contraste, el tratamiento T3, empleado como control, se llevó a cabo bajo luz natural y sin la presencia de peces, con un fotoperiodo estándar de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad (12:12). La asignación de tanques a los tratamientos se estableció de la siguiente manera: dos tanques para el tratamiento T1, dos tanques para el tratamiento T2 y un tanque para el tratamiento T3. El número de réplicas varió según la fase del estudio. Durante la fase de germinación, las réplicas correspondieron a los tubos distribuidos dentro de cada tanque. En la fase de crecimiento, las réplicas se definieron como las semillas

que lograron germinar y permanecieron al menos una semana en desarrollo activo. Se evaluaron las variables descritas anteriormente en la metodología. Todas las variables fueron evaluadas para normalidad, homocedasticidad e independencia con un nivel de significancia del 0,05. Para el caso de germinación, se aplicó la prueba de Kruskal Wallis, la prueba de Bartlett, luego, para saber si existen diferencias se aplicó la prueba de Kruskal Wallis. Para el crecimiento se hizo análisis de regresión lineal y las diferencias entre las pendientes se determinaron con la prueba de Wald. Para capacidad antioxidante y polifenoles se aplicó análisis de varianza y Tukey para las diferencias entre las medias. Para la biomasa de peces y sus variables zootécnicas se aplicó la prueba de T-student, a excepción del consumo a la cual se aplicó la prueba Mann-Whitney; para las variables de calidad de agua relacionadas con la biomasa se aplicaron las mismas pruebas, T-student únicamente para OD mg/L y % de SAT, las demás variables se analizaron con Mann-Whitney. Todas las pruebas se corrieron en Rcore team 2024\_R. (Team, 2024).

## Resultados.

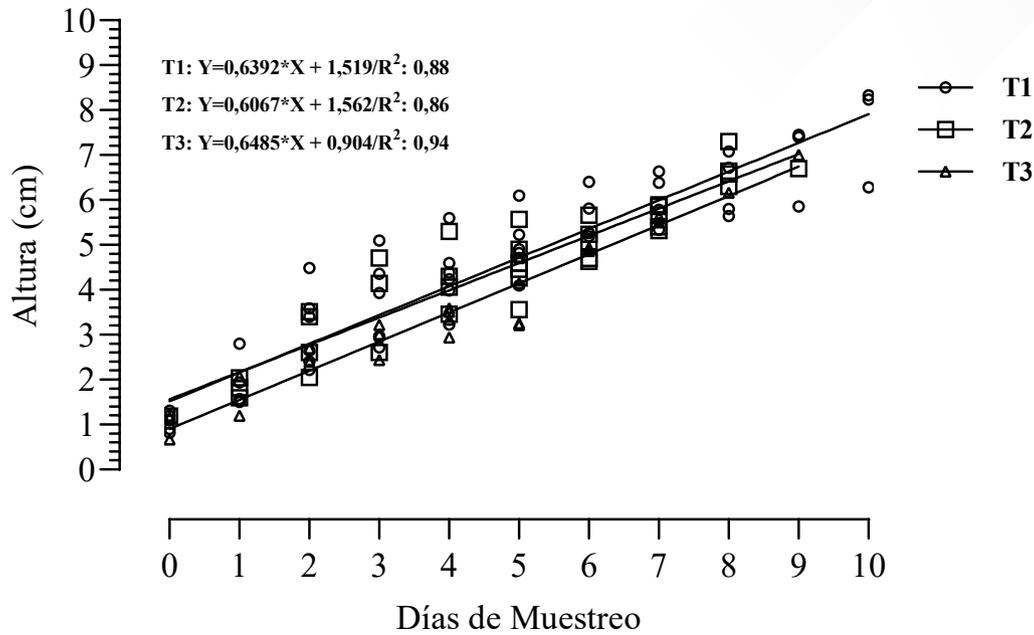
### ***Intensidad lumínica, germinación y crecimiento.***

La IL que recibieron los tratamientos durante el día fue mayor en T1 de  $23909,1 \pm 14942$ , lo que corresponden a  $351,6 \pm 219,74 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -PPFD; seguida de T3 con un valor de  $21724 \pm 14440$  lo que corresponde a  $319,47 \pm 212,35 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -PPFD y el menor valor para T2 con  $19136 \pm 12639$ , lo que corresponde a  $281,41 \pm 185,87 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -PPFD; con diferencias significativas únicamente entre T1 y T2.

Cuando se comparó el efecto de la IL sobre el porcentaje de germinación se encontró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, Aunque de manera descriptiva el mayor valor fue el de T1 con el 87,5% de germinación, seguido por T2 con un valor de 75,2% y con el menor valor para T3 con 71,87%. Los resultados de altura arrojan un ajuste lineal cuyos coeficientes de determinación son de: 0.88 para T1, 0.86 para T2 y 0.94 para T3; el mayor crecimiento se presentó para el T3 (0,6485 cm/día), seguido de T1 (0,6392 cm/día) y con el menor valor para T2 (0,6067 cm/día), los resultados obtenidos indican que todas las medidas son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ); la Figura N°1 indica los modelos de regresión para cada tratamiento, con sus respectivas ecuaciones.

Figura N° 1.

Modelo de regresión lineal para el crecimiento en mm/día de *Cannabis sativa* L. por cada tratamiento.



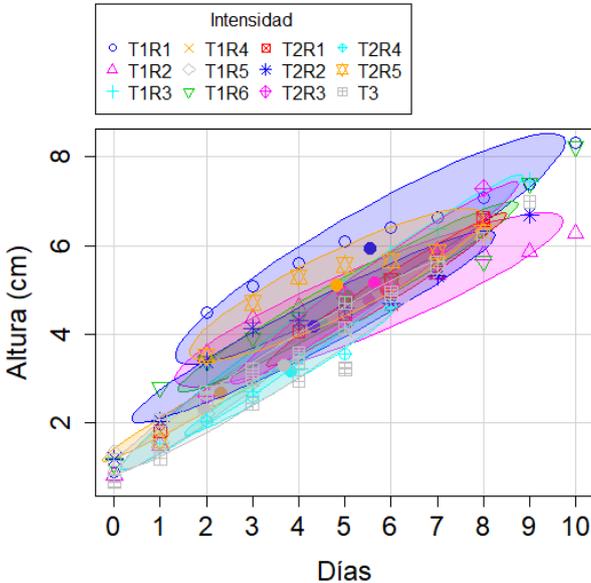
Fuente: elaboración propia.

La influencia de los valores de IL con respecto a la altura (cm) por cada tratamiento en horas de la noche, muestran una sobreposición de los elipsoides de contorno del 95%; sin embargo se destaca que al interior del T1, las plantas que más crecieron estaban ubicadas en los extremos del arreglo experimental, cuando se compararon con las del mismo tratamiento al interior y con respecto a T2 y T3 (Figura N° 2). En la Figura N° 3 indica los valores de IL por tratamiento

en la noche, los cuales fueron diferentes significativamente ( $p < 0.05$ ); el mayor valor se presentó en T1, con un máximo de 4648 lumen/m<sup>2</sup> o 66,4 μmol/m<sup>2</sup>/s-PPFD ; el valor más bajo se observó en T2 con 915 lumen/m<sup>2</sup> o 13,07 μmol/m<sup>2</sup>/s-PPFD; el promedio de todos los registros para T1 fue de 3474±996,5 lumen/m<sup>2</sup> o 49,63±14,24 μmol/m<sup>2</sup>/s-PPFD y para T2 1917±562,5 lumen/m<sup>2</sup> o 27,39±8,04 μmol/m<sup>2</sup>/s-PPFD.

Figura N° 2.

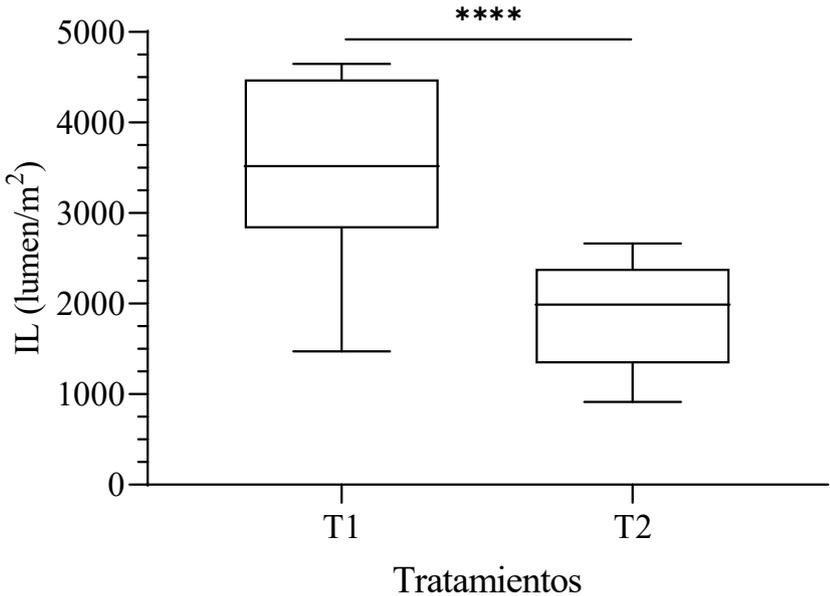
Relación entre IL (lux) y altura (cm) en cada tratamiento con sus réplicas.



Fuente: elaboración propia.

Figura N° 3.

Valores de IL (lumen/m<sup>2</sup>) por tratamiento medida a las 7:00 pm



Fuente: elaboración propia.

Los valores del grosor de los tallos fueron superiores en T1, con un registro promedio de  $0,93 \pm 0,47$  mm, seguido por T2 con un promedio de  $0,87 \pm 0,45$  mm y con el menor valor en T3 con  $0,7 \pm 0,6$  mm, sin diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores para el área radicular presentaron el mismo comportamiento anterior, los valores encontrados para T1 fueron de  $0,74 \pm 1,08$  mm<sup>2</sup>, para T2  $0,43 \pm 0,35$  mm<sup>2</sup> y para T3  $0,3 \pm 0,41$  mm<sup>2</sup>

**Polifenoles y actividad antioxidante por DPPH**

La cantidad de material vegetal de *C. sativa* L usado fue, 0.31458 g para T1; 0.31672 g para T2 y 0.31226 g para T3. La actividad antioxidante para los grupos T3 y T2, fueron estadísticamente similares, con valores

promedio de  $13.6 \pm 0.7$  y  $14.7 \pm 0.2$  mg Trolox/g de material vegetal (g<sup>MV</sup>), respectivamente. Se encontró diferencia significativa con respecto al grupo T1 ( $P \leq 0.001$ ) siendo el valor promedio menor con un valor de  $1.7 \pm 0.6$  mg Trolox/g<sup>MV</sup>

Los resultados obtenidos del análisis de los polifenoles totales se expresan como mg de ácido gálico (AG)/ g<sup>MV</sup>. El grupo con la mayor cantidad de polifenoles totales obtenidos mediante ensayo fue el grupo T1 con  $67.9 \pm 0.9$  (mg AG/ g<sup>MV</sup>) el cual presenta una diferencia estadística con respecto a T2 y T3 ( $P \leq 0.05$ ). Los grupos T2 y T3, expresaron valores en promedio de  $58.7 \pm 2.9$  y  $58.5 \pm 1.6$  mg AG/ g<sup>MV</sup>, respectivamente. Como se indica en la Tabla N° 1, el análisis ANOVA realizado a estos dos grupos no arrojó diferencias significativas.

**Tabla N° 1.**

*Actividad antioxidante expresado como mg de Trolox / g de material vegetal seco (MVS) de C. sativa. La cantidad de polifenoles se expresa como mg de AG (ácido gálico) / g MVS C. sativa. Los resultados se representan como: \* $P \leq 0.05$ ; \*\*\* $P \leq 0.001$ .*

Tratamiento	Actividad antioxidante (mg Trolox/g <sup>MV</sup> )	Polifenoles totales (mg AG/g <sup>MV</sup> )
T3	$13.6 \pm 0.7$ a	$58.5 \pm 1.6$ b
T2	$14.7 \pm 0.2$ a	$58.7 \pm 2.9$ b
T1	$1.7 \pm 0.6$ *** b	$67.9 \pm 0.9$ * a

*Variables zootécnicas y de calidad de agua*

Fuente: elaboración propia.

De manera general los resultados de crecimiento de los peces fueron mejores en el T1; el Pf promedio para T1 fue de  $167,2 \pm 21,19$

cm, no presentó diferencia significativa con respecto al T2, al final se obtuvo una biomasa total de 4,85 Kg para T1 y 5,08 Kg

para T2, sin diferencias significativas entre los tratamientos; la sobrevivencia fue del 100% para todos los tratamientos; la CA para T1 fue mejor, con un valor de 1,29 y para T2

fue de 1,38; las variables GP, GDP, TEC, Kf, Lf y GL fueron significativamente mejores en T1. La tabla N° 2 presenta cada uno de los resultados de las variables relacionadas.

**Tabla N° 2.**

*Variables zootécnicas analizadas para T1 (Luz Blanca) y T2 (Luz Roja). (p≤0,05), letras diferentes por cada variable y tratamiento indican diferencias significativas. N=30 datos por tratamiento. Pi: peso inicial en g; Pf: peso final en g; GP: ganancia de peso en g; GPD: ganancia en peso diaria en g; TEC: tasa específica de crecimiento (%); K: factor de condición, Li: longitud inicial en cm; Lf: longitud final en cm; GL: ganancia en longitud en cm; GDL: ganancia diaria en longitud en cm; C: consumo en g/día, %S: porcentaje de sobrevivencia*

	T1				T2					
	Mínimo	Máximo	CV%	Promedio ± DE	Mínimo	Máximo	CV%	Promedio ± DE		
<b>PF</b>	132,4	218	12,67	167,2±21,19	141,3	186,5	7,84	164,1±12,86		
<b>GP</b>	34,4	57,95	15,42	45,08±6,95	a	38,7	43,9	3,44	41,42±1,42	b
<b>GDP</b>	2,29	3,86	15,42	3,0±0,46	a	2,62	2,927	2,91	2,79±0,08	b
<b>TEC</b>	1,55	2,65	13,18	2,1±0,28	a	1,627	2,305	11,1	1,96±0,21	b
<b>Kf</b>	1,006	1,46	9,33	1,18±0,11	a	0,92	1,9	17,9	1,33±0,23	b
<b>Lf</b>	21	26,5	6,32	24,22±1,53	a	19,5	27	8,39	23,27±1,95	b
<b>GL</b>	1,5	7,5	24,38	5,12±1,25	a	2	7	30,7	4,19±1,29	b
<b>GDL</b>	0,1	0,5	24,38	0,34±0,08		0,1333	0,4667	30,7	0,28±0,08	
<b>C</b>	30	75	28,68	45,45±13,04		35	60	14,5	42,34±6,14	
<b>% S</b>			100					100		

Fuente: elaboración propia.

Los valores promedio y las desviaciones de los principales parámetros de calidad de agua, estuvieron dentro de los rangos de confort para la tilapia, por lo tanto se garantizó su bienestar; aunque se intentó mantener las mismas condiciones, se encontraron diferencias significativas para la concentración de OD y, la saturación de OD, siendo mejor en el T1

con respecto al T2, por el contrario, la temperatura fue significativamente mayor en T2 con respecto a T1; para los residuos nitrogenados (NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) el pH, el GH y el KH no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, la Tabla N°3 indica los resultados para cada variable fisicoquímica analizada.

**Tabla N° 3.**

Valores promedio de calidad de agua para cada tratamiento. T1: luz blanca, T2: luz roja, T3: control. Letras diferentes por cada variable y tratamiento indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). N=40 datos por cada variable. OD: oxígeno disuelto en mg/L; %SAT: porcentaje de saturación; amonio ionizado ( $\text{NH}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) (mg/L); GH: dureza general; KH: dureza carbonácea (mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ) y Pt (fósforo total mg/L).

Variable	T1	T2	T3
OD	6,18±0,65 a	5,70±0,63 a	4,02±1,28 b
%SAT	75,03±5,53 a	72,12±6,7 a	49,21±15,69 b
pH	6,96±0,4	6,85±0,41	6,82±0,21
T°C	27,05±3,22 b	28,95±2,07 a	26,75±2,35 b
$\text{NH}_3$	0,0031±0,005	0,0080±0,036	0,0059±0,0072
$\text{NO}_2^-$	0,28±0,34 b	0,18±0,35 b	0,62±0,70 a
$\text{NO}_3^-$	70,5±29,95	74,75±28,1	66,9±22,13
GH	96,54±27,95 a	88,25±21,12 b	132,8±60,79 a
KH	35,83±23,43 b	30,83±6,03 b	40,62±13,57 a
Pt	26,07±0,15 a	25,83±0,25 a	11,17±0,15 b

Fuente: elaboración propia.

## Discusión

La clonación o germinación por semillas son las técnicas más usadas para la obtención de plántulas de Cannabis; la germinación por semillas es fundamental para investigadores, mejoradores y cultivadores, principalmente por su costo asociado a su calidad (Sorokin A, Yadav NS, Gaudet D, 2021). En el presente estudio, las semillas comenzaron a germinar a partir del 3 día, sin utilizar ninguna solución germinadora aparte del agua para este proceso; en un estudio donde se comparó el porcentaje de germinación en diferentes medios (agua y peróxido de hidrógeno  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), se indica que el mejor porcentaje de germinación fue para la solución de  $\text{H}_2\text{O}_2$

al 1%, con valores entre el 80 y el 82,5% en el primer día, a su vez se indica que la aparición de dos cotiledones completamente desarrollados y dos hojas verdaderas inmaduras ocurrió entre las 72 a las 96 h; por otro lado, en la solución de agua el porcentaje de germinación fue inferior al 50% en el mismo tiempo (Sorokin A, Yadav NS, Gaudet D, 2020, 2021), en la actual investigación el porcentaje de germinación en agua estuvo entre el 87,5% y el 71,5%, mayor que la citada investigación, pero la germinación surgió a partir del 3 día y con el desarrollo de cotiledones y hojas inmaduras a partir del 5 día; estos valores se asemejan a los reportados por varios autores, quienes utilizaron reguladores de crecimiento y

tejidos celulares con diferentes tipos de explantes de Cannabis (Wielgus et al., 2008); se conoce que factores como la edad de la semilla, la contaminación por microorganismos puede afectar la tasa de germinación (Sorokin A, Yadav NS, Gaudet D, 2021), en el presente estudio no se presentó contaminación por ningún agente, además la edad de la semilla fue de 5 meses.

En el presente estudio, las plantas crecieron entre 0,6485 cm/día con luz natural, es decir con un PPFD de  $319,47 \pm 212,35 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  y un fotoperiodo de 12:12; varios autores reportan similar crecimiento (0,625 cm/día) con luz blanca y menor crecimiento con una combinación de luz azul y roja (0,3125 cm/día), en un fotoperiodo de 18:6; con un PPFD en invernadero de  $\sim 200 \pm 30 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$ , partiendo de plántulas obtenidas por clonación (Lalge, A.; Cerny, P.; Trojan, V.; Vyhnanek, 2017). Otros autores reportan que en el periodo vegetativo (15 días) para obtener un buen crecimiento, los valores de PPFD deben estar en un promedio de  $\approx 425 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  y permanecer en un fotoperiodo de 18:6 (Rodríguez-Morrison V, Llewellyn D, 2021). Por otro lado, cuando la IL fue mantenida con valores comprendidos entre 28,2 y 41,7 de PPFD con una mezcla de luz roja y azul, en un fotoperiodo 16:8, se observó un notable decrecimiento en la altura de las plántulas de Cannabis, además los mismos autores encuentran una relación negativa entre la luz roja y el crecimiento en altura de las plantas de Cannabis (Wei et al., 2021); en el presente estudio se encontró la misma tendencia en un fotoperiodo de 24:0; al respecto, se reconoce ampliamente que la

luz es un factor esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas superiores, ya que es uno de los requisitos fundamentales para la fotosíntesis (Wei et al., 2021); las plantas solo pueden prosperar cuando reciben una exposición adecuada de luz, esta incluye calidad, intensidad y el fotoperiodo, estos factores pueden influir significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas, siendo la calidad de la luz el factor más complejo de todos (Klem et al., 2019); en este sentido, se reporta un trabajo sobre la influencia del tipo de luz sobre el desempeño en crecimiento, indicando una asimilación de carbono del 142% cuando se usó LED, con una PPFD de  $795 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ; en el presente estudio la PPFD fue aproximadamente 2,5 veces menor (Jenkins, M.W. and Livesay, 2021), los mismos autores sostienen que las luces LED incrementan la potencia de los cannabinoides, incluso, se reporta influencia de las luces LED sobre la especies reactivas de oxígeno (ROS), creando un estrés celular que acelera la maduración, en conjunto con una mayor acumulación de cannabinoides (Islam et al., 2022); otro efecto de las luces LED en una combinación de luz roja y luz azul en proporciones del 85%:15% y 70%:30%, roja:azul respectivamente, fue sobre el incremento de compuestos fenólicos, con concentraciones que van desde los 0,79 a los 1.02 mg/g de peso seco de cannabis (Islam et al., 2022).

Los resultados del presente estudio revelan que el grupo T1 exhibió la concentración más elevada de polifenoles totales, alcanzando un promedio de  $67.9 \pm 0.9 \text{ mg AG/gMV}$ , seguidos por el grupo T2, el cual presentó un valor ligeramente menor

( $58.7 \pm 2.9$  mg AG/gMV), ambos grupos mostraron una acumulación significativa de estos compuestos en plantas de 15 días de germinación. En un estudio con plántulas de *Cannabis sativa* de 5 días de germinación varios autores reportan valores de entre  $1.2 \pm 0.02$  –  $6.16 \pm 0.06$  mg AG/g de material vegetal (Frassinetti et al., 2018). Otros autores reportan cantidades de polifenoles totales entre  $4.72 \pm 0.11$ –  $22.05 \pm 0.05$  mg AG/g de muestra (Stasiłowicz-Krzemień et al., 2023). También se tienen reportes de cantidad de polifenoles totales de entre 51–312.4 mg de AG/g de muestra para diferentes matrices como semillas y una mezcla de diferentes matrices como son semillas, flores y hojas (Isidore et al., 2021) La actividad antioxidante fue mucho menor en el grupo T1 con un valor de  $1.7 \pm 0.6$  mg Trolox/g<sup>MV</sup> y mayor en el grupo con un valor de  $14.7 \pm 0.2$  mg Trolox/g<sup>MV</sup>. En literatura se han reportado actividad antioxidante en el rango de 6.8–19.42 mg Trolox /g de muestra (Izzo et al., 2020) y entre aproximadamente 2 – 7.5 mg Trolox/g muestra aproximadamente (Stasiłowicz-Krzemień et al., 2023). Contrastando los valores encontrados en este trabajo con los de la literatura se observa una alta variabilidad de los valores tanto de polifenoles y de actividad antioxidante. Esto se puede deber a que en gran medida las plantas son susceptibles a diferentes variables como son temperatura, calidad del agua, intensidad lumínica, radiación UV, presencia de contaminantes en el suelo, el campo eléctrico y magnético, entre otros (Chaki et al., 2020). Variaciones en estos parámetros generan diferentes tipos de estrés lo cual desencadenen diferentes tipos de especies radicalarias como las especies

reactivas de oxígeno y de nitrógeno los cuales potencialmente pueden hacer daños en el DNA desde el punto oxidativo, peroxidación de lípidos modificación de proteínas entre otros procesos por lo que la planta procesos de protección en las plantas producen diferentes tipos de sustancias químicas como son los polifenoles los cuales tienen la capacidad de contrarrestar las especies radicalarias producidas (Georgieva & Vassileva, 2023).

Las tilapias se encuentran entre las especies de mayor uso en acuaponía (Love DC et al., 2014), en el presente estudio los valores de crecimiento representados en TEC% estuvo entre 1,96 a 2,21%; la GDP presentó valores entre 2,79 a 3 g y con una sobrevivencia del 100%; en un estudio similar pero durante 56 días y con una biomasa de 3 Kg/m<sup>3</sup>, los valores encontrados para las mismas variables fueron de 1,79% (TEC); 0,46 GDP y la sobrevivencia fue del 92,4% (Al-Zahrani et al., 2023); se observa una gran diferencia en la GDP, estas diferencias pueden ser explicadas por la menor densidad de siembra utilizada en el presente estudio; los mismos autores reportan hallazgos similares pero incluyen ayuno intermitente (Al-Zahrani et al., 2024), en este caso los resultados probablemente pueden ser explicados por las características de rusticidad y adaptación a variados ambientes, que a su vez ofrece ventajas para satisfacer los requerimientos de nutrientes de las plantas (A.-F. M. El-Sayed, 2020b, 2020a, 2020c; A.-F. M. El-Sayed & Fitzsimmons, 2023). Para los registros de calidad de agua, se observan valores similares, pero con notables diferencias en la

concentración de compuestos nitrogenados y de fósforo (como fosforo total), siendo mayores los del presente estudio (Al-Zahrani et al., 2023, 2024). Según la investigación actual sobre acuaponía, no está claro si los desechos de diferentes especies de peces afectan significativamente los niveles de nutrientes o el rendimiento vegetal dentro del sistema. Por ejemplo, el bagre africano, la tilapia del Nilo y la carpa común produjeron efluentes con contenido de nitrato entre 20 y 42.9 mg/L y fósforo que oscila entre 8.2y17mg/L (Endut et al., 2010; Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey, D.S., Thoman, 2004; Roosta, 2014), siendo superiores los valores reportados en la presente investigación.

### **Conclusiones, perspectivas y recomendaciones**

Este estudio evidencia que la radiación lumínica es un factor abiótico clave que puede desencadenar respuestas de estrés en las plantas, alterando su metabolismo. Las plantas de *Cannabis*, objeto de este estudio se encontraron bajo un importante foto-stress debido a que el fotoperiodo al cual las plantas estuvieron afectadas fue de 24h sin ciclos de oscuridad (T1 y T2), además de los tratamientos con fuentes lumínicas de diferente energía e intensidad. Diferentes estudios sugieren que *C. Sativa* tiene la capacidad de tolerar bien este tipo de estrés, pero si se controla la temperatura y en etapas tempranas de crecimiento. Una consecuencia es la producción de una mayor cantidad de cannabinoides y acumulación del mismo in inflorescencias, asociándose esta acumulación a daño del tejido los cuales también tienen poder

antioxidante. También los flavonoides asociados al Cannabis como Quercetina, Apigenina, Kaempferol, entre otros que poseen una alta capacidad antioxidante. Se propone que, en el presente trabajo, la radiación asociada al tratamiento T1, provoca una alta producción de polifenoles como flavonoides y que al reaccionar con especies radicalarias su actividad disminuya, tal como se observó en la muestra del T1 al medir la actividad antioxidante. También se puede esperar estrés por el tratamiento T2 ya que no se evidencio diferencias significas con respecto al grupo control. Sin embargo, no se obtuvieron datos de concentración de otro tipo de sustancias con capacidad anti-radicalarias o como afectaban los tratamientos T1 y T2 a la producción de metabolitos secundarios como cannabinoides o en glutatión. Este tipo de estudios son importantes ya que este tipo de estrés está asociado a la producción por parte de la planta de metabolitos secundarios de sustancias con capacidad antiinflamatoria y antioxidante con posible aplicación farmacológica.

## Bibliografía

- Abdel-Kader, M. S., Radwan, M. M., Metwaly, A. M., Eissa, I. H., Hazekamp, A., & ElSohly, M. A. (2023). Chemistry and Biological Activities of Cannflavins of the Cannabis Plant. *Cannabis and Cannabinoid Research*, 8(6), 974–985. <https://doi.org/10.1089/can.2023.0128>
- Ahmad, A., Sheikh Abdullah, S. R., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Ismail, N. 'Izzati. (2021). Aquaculture industry: Supply and demand, best practices, effluent and its current issues and treatment technology. *Journal of Environmental Management*, 287, 112271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112271>
- Al-Zahrani, M. S., Hassanien, H. A., Alsaade, F. W., & Wahsheh, H. A. M. (2023). Effect of Stocking Density on Sustainable Growth Performance and Water Quality of Nile Tilapia-Spinach in NFT Aquaponic System. In *Sustainability* (Vol. 15, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/su15086935>
- Al-Zahrani, M. S., Hassanien, H. A., Alsaade, F. W., & Wahsheh, H. A. M. (2024). Sustainability of Growth Performance, Water Quality, and Productivity of Nile Tilapia-Spinach Affected by Feeding and Fasting Regimes in Nutrient Film Technique-Based Aquaponics. In *Sustainability* (Vol. 16, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/su16020625>
- Alameen, A. M., Devi, K. N., Kumar, S. D., Gunabal, S., Krishnaveni, N., Gowthami, A., Sinduja, S., Roopavathy, J., Santhanam, P., Jebapriya, G. R., Saranya, M., Aravinth, A., Dhanasundaram, S., & Perumal, P. (2023). A sustainable utilization of aquaculture wastewater for the production of commercially important tilapia fish and plants (mint and chickpea) in improved integrated aqua-agriculture system. *Bioresource Technology Reports*, 21, 101313. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101313>
- Association, A. P. H., & American Water Works Association; Water Environment Federation. (2012). *Standar Methods For the Examination of Water and Waste water* (L. S. Rice, E.W.; Baird, R.B.; Eaton, A.D.; Clesceri (ed.); 22ND EDITI). Port City Press.
- Bahji, A., & Stephenson, C. (2019). International Perspectives on the Implications of Cannabis Legalization: A Systematic Review & Thematic Analysis. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 16, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/ijerph16173095>
- Beletsky, A., Liu, C., Lochte, B., Samuel, N., & Gant, I. (2024). Cannabis and Anxiety: A Critical Review. *Medical Cannabis and Cannabinoids*, 7(1), 19–30. <https://doi.org/10.1159/000534855>
- Chaki, M., Begara-Morales, J. C., & Barroso, J. B. (2020). Oxidative stress in

- plants. *Antioxidants*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/antiox9060481>
- Chen, Y., Sun, X., Fang, L., Jiang, X., Zhang, X., Ge, Z., Wang, R., & Wang, C. (2022). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols from *Ilex latifolia* Using Response Surface Methodology and Evaluation of Their Antioxidant Activity. *Molecules* 2022, Vol. 27, Page 3999, 27(13), 3999. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27133999>
- David-Ruales, C.A., Machado-Fracalossi, D., Betancur-Gonzalez, E.M., Rodríguez-Franco, N., Castañeda-Álvarez, G.D., Florez-Restrepo, C., & Vásquez-Torres, W. (2020). Relaciones alométricas en estadios tempranos de la especie *Brycon moorei* Steindachner (Characidae), en condiciones controladas. *Actualidades Biológicas*, 42(113). <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v42n113a02>
- Dzah, C. S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., & Ma, H. (2020). The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.FBIO.2020.100547>
- El-Sayed, A.-F. M. (2020a). *Chapter 2– Taxonomy and basic biology* (A.-F. M. B. T.-T. C. (Second E. El-Sayed (ed.); pp. 21–31). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816509-6.00002-1>
- El-Sayed, A.-F. M. (2020b). *Chapter 4– Environmental requirements* (A.-F. M. B. T.-T. C. (Second E. El-Sayed (ed.); pp. 47–67). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816509-6.00004-5>
- El-Sayed, A.-F. M. (2020c). *Chapter 7– Nutrition and feeding* (A.-F. M. B. T.-T. C. (Second E. El-Sayed (ed.); pp. 135–172). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816509-6.00007-0>
- El-Sayed, A.-F. M., & Fitzsimmons, K. (2023). From Africa to the world—The journey of Nile tilapia. *Reviews in Aquaculture*, 15(S1), 6–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12738>
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. B., & Hassan, A. (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101(5), 1511–1517. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.040>
- FAO. (2024). *World Fisheries and Aquaculture Towards Blue Transformation*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (ed.)). <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Fraga-Corral, M., Ronza, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Losada, A. P., Prieto, M. A., Quiroga, M. I., & Simal-Gandara, J. (2022). Aquaculture as a circular bio-economy model with Galicia as a study case: How to transform waste into revalorized by-products.

- Trends in Food Science & Technology*, 119, 23–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.026>
- Frassinetti, S., Moccia, E., Caltavuturo, L., Gabriele, M., Longo, V., Bellani, L., Giorgi, G., & Giorgetti, L. (2018). Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 262, 56–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.078>
- Georgieva, M., & Vassileva, V. (2023). Stress Management in Plants: Examining Provisional and Unique Dose-Dependent Responses. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6). <https://doi.org/10.3390/ijms24065105>
- Isidore, E., Karim, H., & Ioannou, I. (2021). Extraction of phenolic compounds and terpenes from cannabis sativa L. By-products: From conventional to intensified processes. *Antioxidants*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/antiox10060942>
- Islam, M. J., Ryu, B. R., Rahman, M. H., Rana, M. S., Cheong, E. J., Wang, M.-H., Lim, J.-D., Hossain, M. A., & Lim, Y.-S. (2022). Cannabinoid accumulation in hemp depends on ROS generation and interlinked with morpho-physiological acclimation and plasticity under indoor LED environment. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.984410>
- Izzo, L., Castaldo, L., Narváez, A., Gaziani, G., Gaspari, A., Rodríguez-Carrasco, Y., & Ritieni, A. (2020). Analysis of Phenolic Compounds in Commercial Cannabis sativa L. Inflorescences using UHPLC-Q-Orbitrap HRMs. *Molecules*, 25(3), 1–12. <https://doi.org/10.3390/molecules25030631>
- Jenkins, M.W. and Livesay, C. B. (2021). Photosynthetic Performance and Potency of Cannabis sativa L. Gown under LED and HPS Illumination. *Agricultural Sciences*, 12, 293–304. <https://doi.org/https://doi.org/10.4236/as.2021.123019>
- Johnson, J. B., Mani, J. S., & Naiker, M. (2023). Microplate Methods for Measuring Phenolic Content and Antioxidant Capacity in Chickpea: Impact of Shaking. *Engineering Proceedings 2023, Vol. 48, Page 57, 48(1)*, 57. <https://doi.org/10.3390/CSAC2023-15167>
- Klem, K., Gargallo-Garriga, A., Rattanapichai, W., Oravec, M., Holub, P., Veselá, B., Sardans, J., Peñuelas, J., & Urban, O. (2019). Distinct Morphological, Physiological, and Biochemical Responses to Light Quality in Barley Leaves and Roots. *Frontiers in Plant Science*, 10.
- Kousar, R., Shafi, N., Andleeb, S., Ali, N. M., Akhtar, T., & Khalid, S. (2020). Assessment and incidence of fish associated bacterial pathogens at hatcheries of Azad Kashmir, Pakistan. In *Brazilian Journal of Biology* (Vol. 80). scielo.

- Lalge, A.; Cerny, P.; Trojan, V.; Vyhnánek, T. (2017). The effects of red, blue and white light on the growth and development of *Cannabis sativa* L. *Mendel Net* 2017, 646–651.
- Lennard, W. A. (2015). Aquaponics: a nutrient dynamic process and the relationship to fish feeds. *World Aquaculture*, 46(3), 20–23.
- Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gavel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. *Aquaculture International*, 14(6), 539–550. <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>
- Li, Z., Liu, Y., Xiang, J., Wang, C., Johnson, J. B., & Beta, T. (2023). Diverse polyphenol components contribute to antioxidant activity and hypoglycemic potential of mulberry varieties. *LWT*, 173, 114308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114308>
- Love DC, JP, F., L, G., ES, H., JA, F., & Li X. (2014). An International Survey of Aquaponics Practitioners. *PLoS ONE*, 9(7), e102662. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102662>
- Malabadi, B., Kolkar, K. P., Chalannavar, R.K., Vassanthini, R., & Mudigoudra, B. S. (2023). Industrial *Cannabis sativa*: Hemp Plastic-Updates Ravindra. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 20(1). <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.20.1.2102>
- Murcia, J. D. (2023). En 2022, la acuicultura creció 20% y la tilapia roja ocupó 92% del mercado de EE.UU. *AGONEGOCIOS*.
- Oladimeji, S. A., Okomoda, V. T., Olufeagba, S. O., Solomon, S. G., Abol-Munafi, A. B., Alabi, K. I., Ikhwanuddin, M., Martins, C. O., Umaru, J., & Hassan, A. (2020). Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Food Science & Nutrition*, 8(5), 2307–2315. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.1512>
- Oroian, M., Ursachi, F., & Dranca, F. (2020). Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols from Crude Pollen. *Antioxidants*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9040322>
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., Haïssam Jijakli, M., & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813–842. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>
- Pollastro F, Minassi A, F. L. (2018). Cannabis Phenolics and their Bioactivities. *Curr Med Chem.*, 25(10), 1160–1185. <https://doi.org/10.2174/0929867324666170810164636>
- Rakocy, J.E., Shultz, R.C., Bailey, D.S., Thoman, E. S. (2004). Aquaponic production of Acta, tilapia and basil: comparing

- a batch and staggered cropping system. *Hortic. (Wagening.)*, 648, 63–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.8>.
- Ravindra, B., Malabadi, R. B., Kolkar, K. P., & Chalannavar, R. K. (2023). Industrial Cannabis sativa: Role of hemp (fiber type) in textile industries. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 16(2). <https://doi.org/10.30574/wjbphs.2023.16.2.0450>
- Rodriguez-Morrison V, Llewellyn D, Z. Y. (2021). Cannabis Yield, Potency, and Leaf Photosynthesis Respond Differently to Increasing Light Levels in an Indoor Environment. *Front Plant Sci.*, 11(12), 646020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.646020>.
- Romero-Sandoval, E. A., Fincham, J. E., Kolano, A. L., Sharpe, B. N., & Alvarado-Vázquez, P. A. (2018). Cannabis for Chronic Pain: Challenges and Considerations. *Pharmacotherapy: The Journal of Human Pharmacology and Drug Therapy*, 38(6), 651–662. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/phar.2115>
- Roosta, H. R. (2014). Effects of Foliar Spray of K on Mint, Radish, Parsley and Coriander Plants in Aquaponic System. *Journal of Plant Nutrition*, 37(14), 2236–2254. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.920385>
- Sorokin A, Yadav NS, Gaudet D, K. I. (2020). Transient expression of the  $\beta$ -glucuronidase gene in Cannabis sativa varieties. *Plant Signal Behav.*, 15(8), 1780037. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1780037>.
- Sorokin A, Yadav NS, Gaudet D, K. I. (2021). Development and Standardization of Rapid and Efficient Seed Germination Protocol for Cannabis sativa. *Bio Protoc.*, 5(11(1)), e3875. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.3875>.
- Stasiłowicz-Krzemień, A., Sip, S., Szulc, P., & Cielecka-Piontek, J. (2023). Determining Antioxidant Activity of Cannabis Leaves Extracts from Different Varieties—Unveiling Nature’s Treasure Trove. *Antioxidants*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/antiox12071390>
- Steed, G., Ramirez, D. C., Hannah, M. A., & Webb, A. A. R. (2021). Chronoculture, harnessing the circadian clock to improve crop yield and sustainability. *Science*, 372(6541), eabc9141. <https://doi.org/10.1126/science.abc9141>
- Team, R. C. (2024). *A language and environment for statistical Computing*. <https://doi.org/HttpS/www.Rproject.org>
- Teh, S.-S., & Birch, E. J. (2014). Effect of ultrasonic treatment on the polyphenol content and antioxidant capacity of extract from defatted hemp, flax and canola seed cakes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 346–353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.08.002>
- Wei, X., Zhao, X., Long, S., Xiao, Q., Guo, Y., Qiu, C., Qiu, H., & Wang, Y. (2021).

Wavelengths of LED light affect the growth and cannabidiol content in *Cannabis sativa* L. *Industrial Crops and Products*, 165, 113433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113433>

Wielgus, K., Luwanska, A., Lassocinski, W., & Kaczmarek, Z. (2008). Estimation of *Cannabis sativa* L. Tissue Culture Conditions Essential for Callus Induction and Plant Regeneration. *Journal of Natural Fibers*, 5(3), 199–207. <https://doi.org/10.1080/15440470801976045>

Zaheer, S., Kumar, D., Khan, M. T., Giyanwani, P. R., & Kiran, F. N. U. (2018). Epilepsy and Cannabis: A Literature Review. *Cureus*, 10(9), e3278. <https://doi.org/10.7759/cureus.3278>