

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1634>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

*Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero*

*Effect of 150 W led lighting on the aeroponic production of chard (*Beta vulgaris* Subsp. *Vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant in greenhouse*

*Efeito da iluminação led 150 W na produção aeropônica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *Vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant em estufa*

Víctor Alberto Lindao-Córdova ^I

vlindao@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3354-1925>

Carmen Elena Mantilla-Cabrera ^{III}

carmen.mantilla@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5422-7073>

Jessenia Alejandra Estrada-Orozco ^{II}

alejandraestrada37@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0389-3599>

Carlos Francisco Carpio-Coba ^{IV}

ccarpio@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7361-7664>

Correspondencia: vlindao@epoch.edu.ec

***Recibido:** 15 de noviembre de 2020 ***Aceptado:** 20 de diciembre de 2020 * **Publicado:** 06 de enero de 2021

- I. PhD en Ciencias Ambientales, Master en Ciencias Mención Agricultura Sustentable, Ingeniero Agrónomo, Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniera Agrónoma, Investigadora Independiente, Ecuador.
- III. Magister en Seguridad Telemática, Ingeniera en Electrónica y Computación, Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Magister en Ciencias Agropecuarias con Mención en Sanidad Vegetal, Ingeniero Agropecuario, Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la iluminación LEDs de 150W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L.) Var Ford Hook Giant en invernadero, ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos, T1 luces LEDs 24 horas, T2 luces LEDs 16 horas y T3 luz natural, y tres repeticiones, los parámetros evaluados fueron: Porcentaje de prendimiento a los 15 días después de colocado la planta en el sistema, número de hojas y altura de la planta, a los 15, 23, 31, 39 días y a la cosecha, se determinó el contenido de clorofila y materia seca por metro cuadrado a la cosecha. Los mejores resultados obtenidos fue en el tratamiento T1 (Luz LEDs las 24 horas) alcanzando la mayor altura y número de hojas por planta a los 23, 31, 39 días y a la cosecha con 20,51, 27,51, 36,23 y 46,78 cm y 5,27, 11,90, 12,43, 12,64, 13,53 hojas respectivamente; mayor contenido de clorofila y peso de materia seca a la cosecha, con 44,94 SPAD, y 18,33 g en 0,72 m²

Palabras clave: Producción aeropónica; iluminación leds; agricultura de precisión; cultivos de invernadero.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of 150W LEDs on the aeroponic production of chard (*Beta vulgaris* subsp. *Vulgaris* L.) Var Ford Hook Giant in a greenhouse, located at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; A randomized complete block design was used with three treatments, T1 24-hour LED lights, T2 16-hour LED lights and T3 natural light, and three repetitions, the parameters evaluated were: Percentage of take-up 15 days after the plant was placed In the system, number of leaves and height of the plant, at 15, 23, 31, 39 days and at harvest, the chlorophyll content and dry matter per square meter at harvest were determined. The best results obtained were in the T1 treatment (24-hour LED light), reaching the highest height and number of leaves per plant at 23, 31, 39 days and at harvest with 20.51, 27.51, 36.23 and 46.78 cm and 5.27, 11.90, 12.43, 12.64, 13.53 sheets respectively; higher chlorophyll content and dry matter weight at harvest, with 44.94 SPAD, and 18.33 g in 0.72 m²

Keywords: Aeroponic production; led lighting; precision agriculture; greenhouse crops.

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de LEDs de 150W na produção aeropônica de acelga (*Beta vulgaris* subsp. *Vulgaris* L.) Var Ford Hook Giant em casa de vegetação, localizada na Escola Superior Politécnica de Chimborazo; Um delineamento de blocos completos casualizados foi usado com três tratamentos, T1 LED 24 horas, T2 16 horas e luz natural T3, e três repetições, os parâmetros avaliados foram: Porcentagem de absorção 15 dias após a instalação da planta No sistema, número de folhas e altura da planta, aos 15, 23, 31, 39 dias e na colheita, foram determinados o teor de clorofila e matéria seca por metro quadrado na colheita. Os melhores resultados obtidos foram no tratamento T1 (luz LED 24 horas), atingindo a maior altura e número de folhas por planta aos 23, 31, 39 dias e na colheita com 20,51, 27,51, 36,23 e 46,78 cm e 5,27, 11,90, 12,43, 12,64, 13,53 folhas respectivamente; maior teor de clorofila e massa de matéria seca na colheita, com 44,94 SPAD, e 18,33 g em 0,72 m²

Palavras-Chave: Produção aeropônica; Iluminação LED; Agricultura de precisão; Culturas em estufa.

Introducción

El crecimiento poblacional cada vez va en incremento, razón por la cual surgen nuevas técnicas de producción como la aeroponía, su principal fin es la producción sostenible, Oscanoa (2018), hace énfasis en que los sistemas aeropónicos permiten a los vegetales crecer en el aire y el consumo de agua es mucho menor en comparación al sistema tradicional. La implementación de este sistema permite la generación de cultivos dentro de localidades incentivando el desarrollo de ciudades sostenibles, mejorando la calidad de vegetales que consume la población, y reduciendo el uso de agua.

A esta técnica productiva llamada aeroponía se la puede incorporar el factor luz, empleando la iluminación LEDs, a fin de generar mayor eficiencia productiva, ya sea en el incremento de la materia seca y/o calidad del producto final acorde a lo citado por Urrestarazu (2018), quién manifiesta que las iluminarias LEDs se han descrito como la invención más revolucionara en la luminotécnica hortícola en las últimas décadas, por sus ventajas medioambientales y de eficiencia productiva.

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Paniagua et al. (2015), recalca la utilización de sistemas de iluminación artificial para la producción en ambiente controlado es una oportunidad para incrementar los rendimientos en cultivos. La luz LEDs de alta intensidad podría ser una alternativa viable para usarse con estos propósitos.

Iluminación Artificial Sobre Especies Vegetales

Los vegetales crecen mejor cuando son iluminados (irradiados) en las regiones roja y azul del espectro, resulta aconsejable sustituir los sistemas de iluminación fotosintética actuales, fundamentalmente mediante lámparas de descarga en gases (vapor de sodio a alta presión y, en menor medida, halogenuros metálicos), por LEDs comerciales que emiten separadamente en esas regiones o por OLEDs susceptibles de emisión conjunta (Martín et al., 2010).

Influencia del espectro electromagnético en el desarrollo vegetal

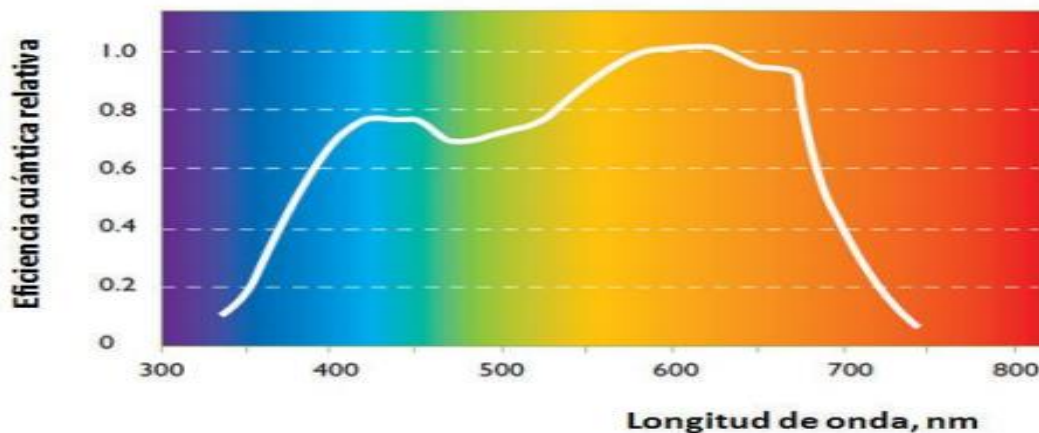
La luz o radiación visible (región del espectro electromagnético comprendido entre los 380 y 760 nm) es fundamental para el crecimiento de las plantas. Los vegetales presentan una sensibilidad a la radiación muy diferente de la del ojo humano (con máximo de sensibilidad a 555 nm); y sus fotosensores, en las regiones del espectro electromagnético comprendidas desde el UV hasta los 740 nm, controlan varios aspectos de su crecimiento y desarrollo (Martín et al., 2010).

Martín et al. (2010), mencionan que los vegetales utilizan la luz desde los 400 hasta los 700 nm para la fotosíntesis (conocida como radiación PAR, radiación fotosintéticamente activa -Photosynthetic Active Radiation- o luz de crecimiento), variando el efecto de la longitud de onda según las horas del día y las fases de crecimiento de la planta. El espectro de la radiación recibida puede afectar propiedades como el aspecto y el momento de la floración, y, por ejemplo para plantas con aplicaciones medicinales, puede afectar al sabor, al olor y al valor farmacéutico y/o nutricional.

Es preciso indicar que, en el estudio de la irradiación fotosintética con radiación PAR, es fundamental conocer la cantidad de fotones (medida mediante el flujo fotosintético de fotones (PPF, Photosynthetic Photon Flux) responsables de la excitación de la clorofila, y que ésta depende de la longitud de onda. Así, la cantidad de fotones es mayor en la franja roja del espectro que en la azul, por lo que los vegetales emplean de forma más eficiente la radiación de la región del rojo. De esta manera surge la curva de sensibilidad fotosintética de las plantas, gráfico 1 (Martín et al., 2010).

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Gráfico 1: Curva de sensibilidad de la fotosíntesis en función de la longitud de onda de la radiación recibida (Martín et al., 2010).



En su gran mayoría, las especies vegetales tienen la capacidad de responder de diferentes formas a la calidad de la luz, entendida esta como el color o la longitud de onda, a su intensidad, es decir, la densidad del flujo fotónico o irradiancia, y a la combinación de ambas. Este aspecto es de gran relevancia en comunidades vegetales como los cultivos y los ecosistemas vegetales, debido a que las plantas absorben ciertos rangos de la radiación incidente y transmiten la radiación no absorbida a las plantas vecinas (Casierra & Peña, 2015).

Cabe mencionar que cada especie vegetal reacciona en forma diferente a los componentes espectrales del flujo luminoso (Paniagua et al., 2015).

En su gran mayoría, las especies vegetales tienen la capacidad de responder de diferentes formas a la calidad de la luz, entendida esta como longitud de onda o intensidad (flujo fotónico o irradiancia) y así las plantas absorben ciertos rangos de la radiación incidente (Casierra & Peña, 2015).

Los órganos fotosintéticos de las plantas (hojas y tallos verdes) absorben los fotones en las franjas azul y roja del espectro de la radiación visible incidente, mientras que la absorción en la franja del verde y del infrarrojo es escasa, y la mayoría de estos fotones se reflejan como radiación difusa (Casierra & Peña, 2015).

La eficiencia de la luz, cuya energía es almacenada en los fotosintatos luego de un complejo proceso, es una medida muy útil para determinar la productividad de las plantas cultivadas. Las plantas poseen diferentes tipos de fotorreceptores que les son muy útiles para relacionarse con las variables de la oferta ambiental, y la captación de la luz les facilita el control de todos los procesos involucrados en

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

el desarrollo y en la conservación de la homeostasis. Estos fotorreceptores son de diversos tipos y capturan la radiación en diferentes rangos del espectro. Algunos de ellos capturan la luz en el rango del UV-B, mientras que los criptocromos y las fototropinas reciben la luz en las franjas del UV-A y el azul. Las clorofilas, por su parte, absorben la radiación en las franjas del azul y el rojo, y los carotenos capturan los colores verde y amarillo. Por último, los fitocromos absorben en las franjas del rojo y el infrarrojo. La acción conjunta de estos pigmentos en cuanto a sus rangos de absorción induce en las plantas las respuestas fotomorfogénicas; no obstante, entre estos grupos de fotorreceptores los fitocromos y los criptocromos son los más estudiados en relación con la fotomorfogénesis en vegetales (Casierra & Peña, 2015).

La calidad de la luz y su influencia sobre el crecimiento vegetal

Los filtros fotoselectivos garantizan a la planta ambientes controlados con un determinado porcentaje de opacidad (disminución de la radiación directa), el cual depende del color y de la naturaleza del material de la cobertura, y causan modificaciones con respecto a la radiación fotosintética- mente activa (PAR) disponible para la planta (Casierra & Peña, 2015).

La luz influye igualmente en el peso seco total de la planta. Las plantas de diversos cultivos de interés agrícola presentan diferencias significativas en la producción de biomasa cuando son afectadas por la calidad de la luz. Las longitudes de onda entre 400 y 550 nm (Casierra & Peña, 2015).

Paniagua et al. (2015), menciona que la luz blanca combinada con luz roja y luz azul puede ser una buena estrategia de manejo para muchos cultivos en ambientes controlados, como en el caso de cultivos bajo invernadero o en cultivos in vitro, las plantas absorben fotones en los rangos del azul y el rojo del espectro, que la absorción de fotones en el rango del verde y el rojo lejano es muy débil, y que la mayoría de esos fotones son reflejados por las plantas en forma de radiación difusa.

En la última década, se ha alcanzado un desarrollo espectacular de los LEDs y su optimización ha permitido que resulten económicos como fuentes de irradiación para el crecimiento de las plantas, tanto en invernaderos como en cámaras de crecimiento controlado, para aplicaciones de cultivos hidropónicos, aeropónicos o de cultivo en suelo o sustrato (Martín et al., 2010).

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Los pigmentos fotorreceptores en las plantas, la fotosíntesis

Las plantas utilizan el espectro de luz similar al que capta el ojo humano, pero a diferencia de los humanos, éstas captan principalmente la luz roja y la luz azul.

La molécula que tienen las plantas que es capaz de absorber la luz solar y utilizar su energía para transformar el agua y el dióxido de carbono en oxígeno y moléculas orgánicas complejas es la clorofila. Este proceso se denomina fotosíntesis. La clorofila es un fotorreceptor (receptor de fotones) que se encuentra en los cloroplastos de las plantas y confiere a las mismas la coloración verde (Urrestarazu, 2018).

Pero en las plantas no solo existen los pigmentos verdes de la clorofila; también existen los denominados pigmentos accesorios (carotenoides, xantofilas) y sustancias fenólicas (flavonoides, antocianinas, flavones y flavonoides) que captan otros colores y proporcionan las coloraciones variadas de frutas y flores que atraen a insectos y aves, además pueden contribuir a proteger a los tejidos de la radiación excesiva (Urrestarazu, 2018).

Además de las antes mencionadas existen otras sustancias que absorben la luz de distinta longitud de onda y que se denominan fotorreceptores, estos son:

- Fotorreceptor específico para la luz ultravioleta, el UVR8.
- Las fototropinas inciden en la ubicación de los cloroplastos y en la apertura estomática, absorben luz azul.
- Los criptocromos captan estímulos externos relacionados con la luz y controlan el reloj interno de las plantas. Además, están relacionados con las respuestas morfogénicas, como la inhibición del alargamiento de los tallos, la expansión de los cotiledones, la producción de antocianos y la floración fotoperiódica. Absorben fotones de las longitudes de onda de UV (ultravioleta), azul y verde.
- Los fitocromos se encargan principalmente de hacerlas florecer y de generar semillas. Afectan a la elongación de los tallos, la expansión de las hojas, el “Síndrome de huida de la sombra” (Shade avoidance) y perciben los cambios entre las proporciones de luz roja y roja lejana (Urrestarazu, 2018).

El fitocromo y el fotoperiodo

- De acuerdo a Urrestarazu (2018), la luz juega un papel primordial en el desarrollo de las plantas. De hecho, existen tres procesos que dependen de la luz:
- El fototropismo, que son los movimientos hacia la luz y que dependen principalmente de la luz azul (Urrestarazu, 2018).
- El fotoperiodismo, que depende de la relación entre el color rojo y el rojo lejano y que es la respuesta a la longitud del día en las diferentes estaciones del año (Urrestarazu, 2018).
- La fotomorfogénesis, que es el crecimiento y desarrollo vegetal que está directamente controlado por la luz, en especial por la luz azul (Urrestarazu, 2018).
- El efecto de la duración del día sobre la floración se denomina fotoperiodismo. Se trata de la respuesta biológica de las plantas a las proporciones de horas de luz y de oscuridad que ocurren diariamente, y que varían a lo largo de año (Urrestarazu, 2018).

La luz como factor de crecimiento

La luz tiene dos funciones importantes en el crecimiento de las plantas: como fuente de energía para la fotosíntesis, pues sin su participación las plantas superiores no pueden crecer, y como un estímulo, por ejemplo, para el control del crecimiento de las plantas, o para regular el momento de la floración o la morfogénesis (Casierra & Peña, 2015).

Por lo tanto, el crecimiento de las plantas y su desarrollo a veces se alteran como respuesta a los cambios en el color de la luz reflectada. Por otro lado, debido a la gran variación de las condiciones de iluminación natural y a su carácter sésil, las plantas se ven obligadas a aclimatarse a nivel celular y molecular ante los cambios en la oferta ambiental. Los cambios en la intensidad o en la calidad de la luz inducen alteraciones en los estados de oxidación y reducción (redox) de la cadena transportadora de electrones para la fotosíntesis, que actúa como inicio de las respuestas de aclimatación compensatorias, incluidos los ajustes funcionales y estructurales de la fotosíntesis y el metabolismo de electrones para la fotosíntesis, que actúa como inicio de las respuestas de aclimatación compensatorias, incluidos los ajustes funcionales y estructurales de la fotosíntesis y el metabolismo (Casierra & Peña, 2015).

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la parroquia Licán, (Latitud de 9817945 UTM, Longitud 758141 UTM y Altitud: 2838 msnm), Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, Con una zona de vida Según Holdridge (1992), corresponde a estepa espinosa Montano Bajo (eeMB). Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres tratamientos (T1 Producción aeropónica de acelga sometida a 24 horas con iluminación artificial LEDs de 150W, T2 Producción aeropónica de acelga sometida a 16 horas con iluminación artificial LEDs de 150W y T3 Tratamiento testigo, Producción aeropónica de acelga sometida a 12 horas de luz natural día y 12 horas de luz natural nocturna), con tres repeticiones, dando un total de 9 unidades experimentales. Se efectuó el análisis de varianza, se determinó el coeficiente de variación para cada una de las variables expresado en porcentaje. Se utilizó la prueba de Tukey al 5% cuando se encontraron diferencias significativas.

En el área total del ensayo que fue de 7,32 m², se construyó dos módulos de 2,44 m de largo x 1 m de ancho y 1. m de altura, en cuyo interior se cultivó acelga, El tratamiento T1 Producción aeropónica de acelga sometida a 24 horas con iluminación artificial LEDs de 150W, T2 Producción aeropónica de acelga sometida a 16 horas con iluminación artificial LEDs de 150W y T3 Tratamiento testigo, Producción aeropónica de acelga sometida a 12 horas de luz natural día y 12 horas de luz natural nocturna). Se determinó la parcela neta en cada uno de los tres tratamientos y se sortearon 10 plantas por tratamiento para su seguimiento y evaluación. Se registró el porcentaje de prendimiento a los 15 días después de colocado la planta en el sistema, se contabilizó a los 15, 23, 31, 39 días y a la cosecha. el número de hojas, altura de la planta, a la cosecha se determinó el contenido de clorofila y materia seca por metro cuadrado.

Resultados y discusión

Porcentaje de prendimiento

El porcentaje de prendimiento en todos los tratamientos a los 15 días después de colocada la plántula en el sistema, fue del 100%, esto pudo deberse al correcto manejo del pH y C.E que se encontró entre 5,5 y 6,0 y la CE 1,5 a 2,0 mS/cm en la solución del sistema, lo que garantizó un alto porcentaje de prendimiento, lo que concuerda con Rendón, (2013) quién manifiesta que la disponibilidad de nutrientes varía de acuerdo al pH de la solución nutritiva, por eso es

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

recomendable mantenerlo dentro de un rango que va de 5.5 a 6.5; la CE se encuentra dentro del rango mencionado por Zepeda, (2012) quién indica que la conductividad eléctrica para un adecuado crecimiento del cultivo debe encontrarse entre 1.5 a 2.5 mS/cm.

Altura de la planta en cm a los 15 días después de colocada en el sistema

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 15 días después de colocada en el sistema, no presentó diferencias significativas para ninguno de los factores.

Altura de la planta en cm a los 23 días después de colocada en el sistema

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 23 días después de haber sido colocada en el sistema presentó diferencias altamente significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 11,40%, (Tabla 1).

Tabla 1: Análisis de Varianza para la altura de la planta a los 23 días después de colocada en el sistema

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	2,04	2	1,02	1,02	0,4386	Ns
TRATAMIENTOS	43,91	2	21,95	21,93	0,0070	**
Error	4,00	4	1,00			
Total	49,96	8				
CV	11,40%					

Fuente: Estrada J. 2020

p-valor >0,05 y > 0,01 ns

p-valor <0,05 y > 0,01 *

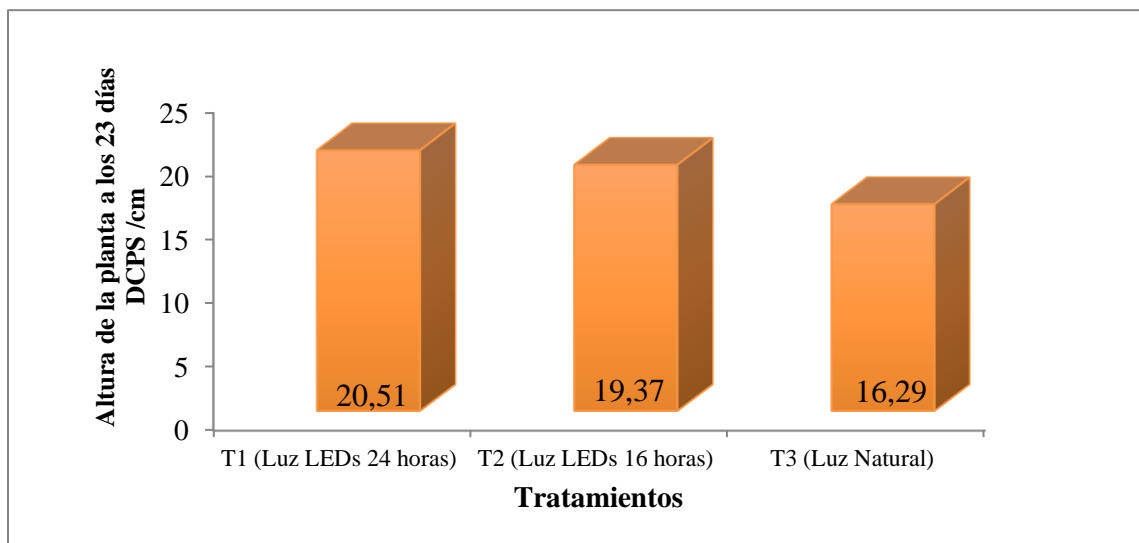
p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5% para altura de planta a los 23 días para tratamientos presentó dos grupos estadísticos (Gráfico 2), el grupo A corresponde a tratamientos T1 (Luz LEDs 24 horas) y T2 (Luz LEDs 16 horas) con medias 20,51 y 19,37 cm respectivamente, en el grupo B se ubicó

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

el tratamiento T3 (Luz Natural) con una media de 16,29 cm.

Gráfico 2: Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 23 días después de colocada en el sistema.



Altura de la planta en cm a los 31 días después de colocada en el sistema

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 31 días después de colocada en el sistema presento diferencias altamente significativas para tratamientos; con un coeficiente de variación de 3,91%, (Tabla 2).

Tabla 2: Análisis de Varianza para altura de la planta a los 31 días después de colocada en el sistema.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	0,52	2	0,26	0,28	0,7663	Ns
TRATAMIENTOS	42,05	2	21,02	22,80	0,0065	**
Error	3,69	4	0,92			
Total	46,26	8				
CV	3,91%					

Fuente: Estrada J. 2020

p-valor >0,05 y > 0,01 ns

p-valor <0,05 y > 0,01 *

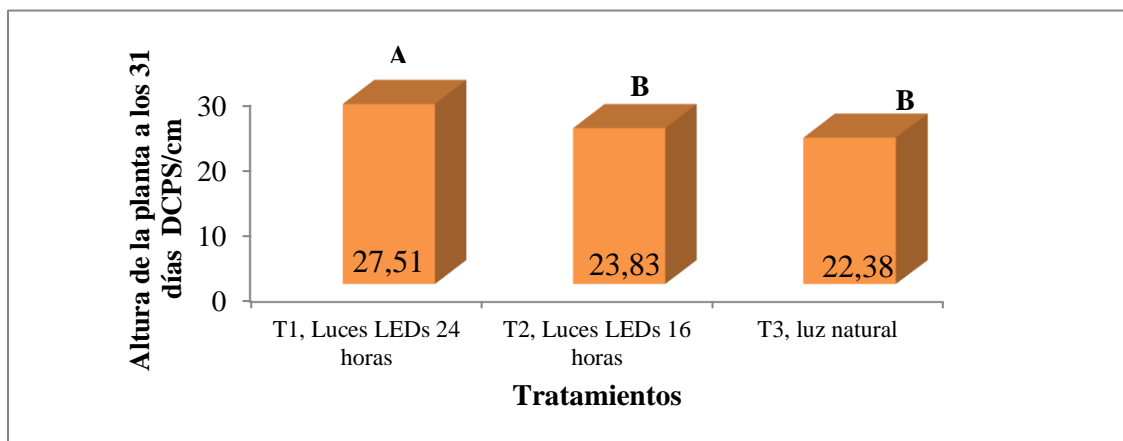
p-valor <0,05 y < 0,01 **

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 31 días en tratamientos presentó dos grupos estadísticos (Gráfico 3), el grupo A corresponde al tratamiento T1 (Luz LEDs 24

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

horas) con una media de 27,51 cm, en el grupo B se ubicaron los tratamientos T2(Luz LEDs 16 horas) y T3(Luz Natural) con medias 23,83 y 22,38 cm respectivamente.

Gráfico 3: Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 31 días después de colocada en el sistema.



Altura de la planta en cm a los 39 días después de colocada en el sistema

El análisis de varianza para la altura de la planta a los 39 días después de colocada en el sistema presentó diferencias significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 4,77%, (Tabla 3).

Tabla 3: Análisis de Varianza para la altura de la planta a los 39 días después de colocada en el sistema.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	0,13	2	0,06	0,03	0,9746	Ns
TRATAMIENTOS	58,38	2	29,19	11,97	0,0205	*
Error	9,75	4	2,44			
Total	68,26	8				
CV	4,77%					

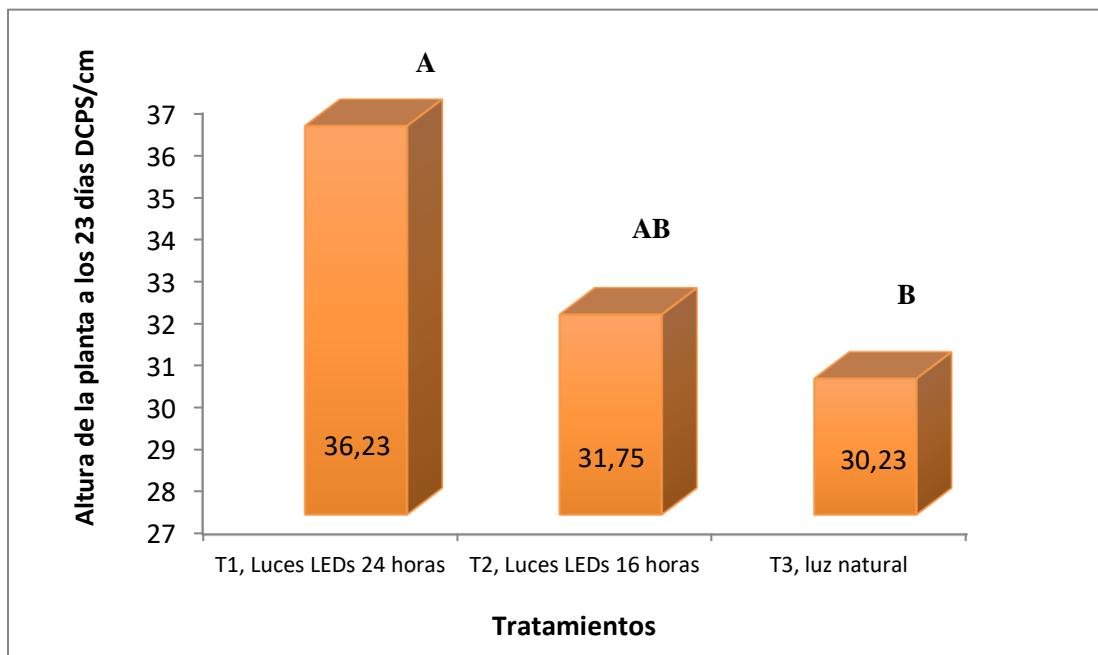
Fuente: Estrada J. 2020
 p-valor >0,05 y > 0,01 ns
 p-valor <0,05 y > 0,01 *
 p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 39 días, en los tratamientos presentó tres grupos estadísticos (Gráfico 4), el grupo A corresponde al tratamiento T1(Luz LEDs 24 horas), con una media de 36,23cm; un grupo AB para el tratamiento T2 (Luz LEDs 16 horas), con una media de

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

31,75cm y el grupo B para el tratamiento T3 (Luz Natural) con una media de 30,23cm.

Gráfico 4: Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a los 39 días después de colocada en el sistema.



Altura de la planta en cm a la cosecha

El análisis de varianza para la altura de la planta a la cosecha (Tabla 4) presentó diferencias significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 3,73%.

Tabla 4: Análisis de Varianza para la altura de la planta a la cosecha

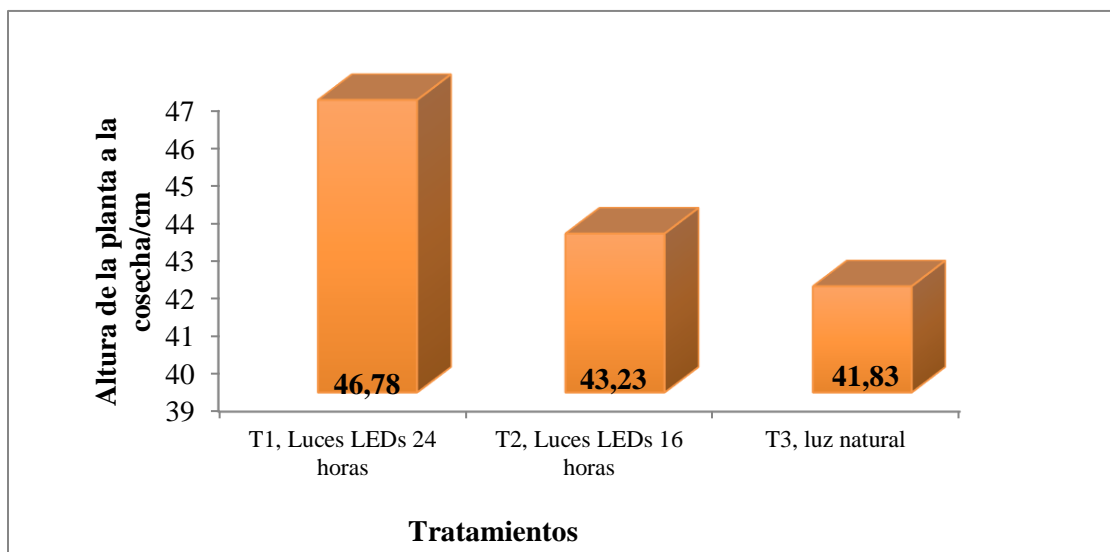
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	3,69	2	1,84	0,69	0,5548	Ns
TRATAMIENTOS	39,07	2	19,53	7,26	0,0467	*
Error	10,76	4	2,69			
Total	53,52	8				
CV	3,73%					

Fuente: Estrada J. 2020
 p-valor >0,05 y > 0,01 ns
 p-valor <0,05 y > 0,01 *
 p-valor <0,05 y < 0,01 **

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

La prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a la cosecha, en los tratamientos se presentó tres grupos estadísticos (Gráfico 5), un grupo A para el tratamiento T1(Luces LEDs 24 horas) con una media de 46,78cm; un grupo AB para el tratamiento T2 (Luces LEDs 16 horas) con una media de 43,23cm y el grupo B para el tratamiento T3(Luz Natural) con una media de 41,83cm.

Gráfico 5: Prueba de Tukey al 5% para la altura de la planta a la cosecha.



La mayor altura de planta a los 23, 31, 39 días y a la cosecha alcanzó el tratamiento T1 (Luces LEDs, 24 horas) con 20,51; 26,31; 36, 23 y 46,78 cm respectivamente, esto puede deberse a que el tratamiento T1 tuvo mayor horas luz que los otros tratamientos, lo que permitió mejorar la capacidad fotosintética dando lugar a una mayor altura de planta, lo que concuerda con Casierra & Peña (2015), quienes manifiestan que las plantas se ven obligadas a aclimatarse a nivel celular y molecular ante los cambios en la intensidad o en la cantidad de la luz e inducen alteraciones en los estados de oxidación y reducción (redox) de la cadena transportadora de electrones incrementando la fotosíntesis. esto corrobora también Urrestarazu (2018), quien hace énfasis en que la luz artificial en horticultura permite un mejor crecimiento ya que se incrementa el fotoperiodo.

Número de hojas a los 15 días después de colocada la plántula en el sistema.

El análisis de varianza para el número de las hojas a los 15 días después de colocada la plántula en el sistema presentó diferencias significativas para tratamientos con un coeficiente de variación de 6,02%, (Tabla 5).

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Tabla 5: Análisis de Varianza para el número de hojas a los 15 días después de colocada la plántula en el sistema.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	0,03	2	0,01	0,17	0,8512	Ns
TRATAMIENTOS	1,28	2	0,64	7,45	0,0448	*
Error	0,34	4	0,09			
Total	1,66	8				
CV	6,02%					

Fuente: Estrada J. 2020

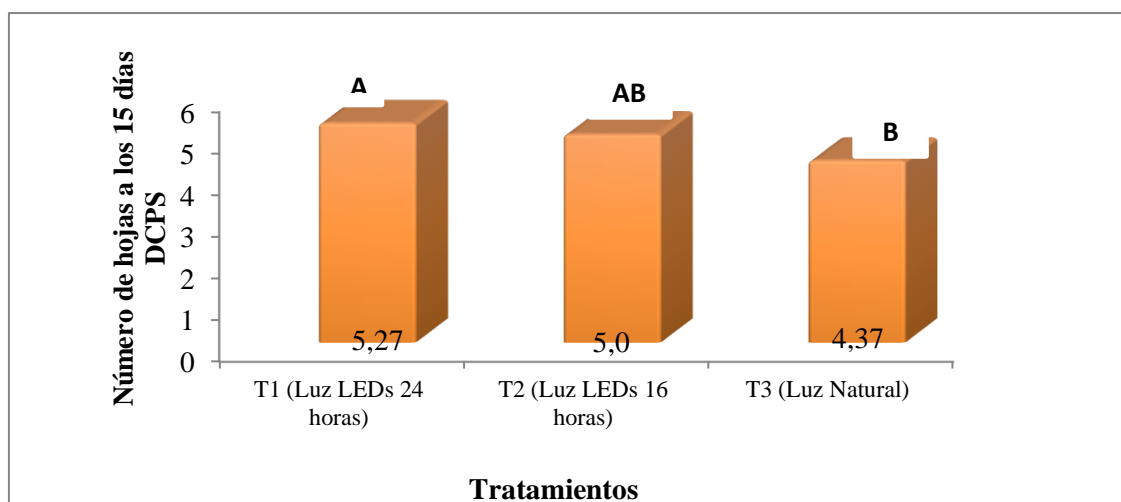
p-valor >0,05 y > 0,01 ns;

p-valor <0,05 y > 0,01 *

p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 15 días, en los tratamientos presentó tres grupos estadísticos (Gráfico 6), un grupo A para el tratamiento T1(Luz LEDs 24 horas) con una media de 5,27; un grupo AB para el tratamiento T2 (Luz LEDs 16 horas) con una media de 5 y el grupo B para el tratamiento T3(Luz Natural) con una media de 4,37 hojas.

Gráfico 6: Prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 15 días después de colocada la plántula en el sistema.



Número de hojas a los 23 días después de colocada la planta en el sistema

El análisis de varianza para el número de hojas a los 23 días después de colocada la planta en el

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

sistema presentó diferencias altamente significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 11,40%, (Tabla 6).

Tabla 6: Análisis de Varianza para el número de hojas a los 23 días después de colocada la planta en el sistema.

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	2,04	2	1,02	1,02	0,4386	Ns
TRATAMIENTOS	43,91	2	21,95	21,93	0,0070	**
Error	4,00	4	1,00			
Total	49,96	8				
CV	11,4%					

Fuente: Estrada J. 2020

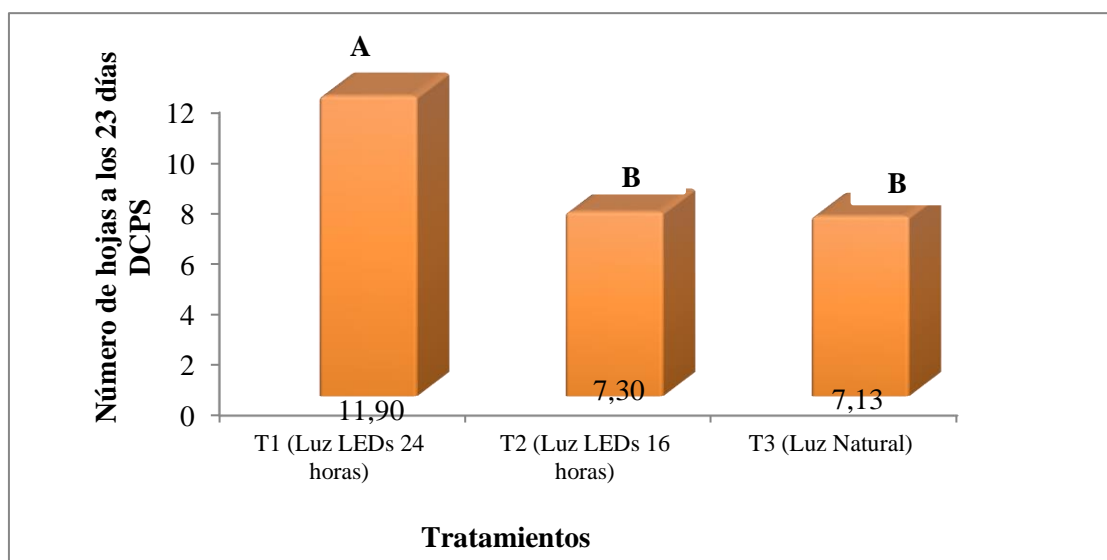
p-valor >0,05 y > 0,01 ns;

p-valor <0,05 y > 0,01 *

p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 23 días después de colocada en el sistema (Gráfico 7), presentó dos grupos estadísticos el grupo A corresponde al tratamiento T1 (Luz LEDs 24 horas) con una media de 11,90; el grupo B para los tratamientos T2 (Luz LEDs 16 horas) y T3 (Luz Natural) con medias de 7,30 y 7,13 respectivamente.

Gráfico 7: Prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 23 días después de colocada la planta en el sistema.



Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Número de hojas a los 31 días después de colocada la planta en el sistema

El análisis de varianza para el número de hojas a los 31 días después de colocada la planta en el sistema presentó diferencias altamente significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 4,84%, (Tabla 7).

Tabla 7: Análisis de Varianza para el número de hojas a los 31 días después de colocada la planta en el sistema.

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	0,98	2	0,49	2,53	0,2112	Ns
TRATAMIENTOS	40,53	2	20,26	97,26	0,0004	**
Error	0,83	4	0,21			
Total	42,34	8				
CV	4,84%					

Fuente: Estrada J. 2020

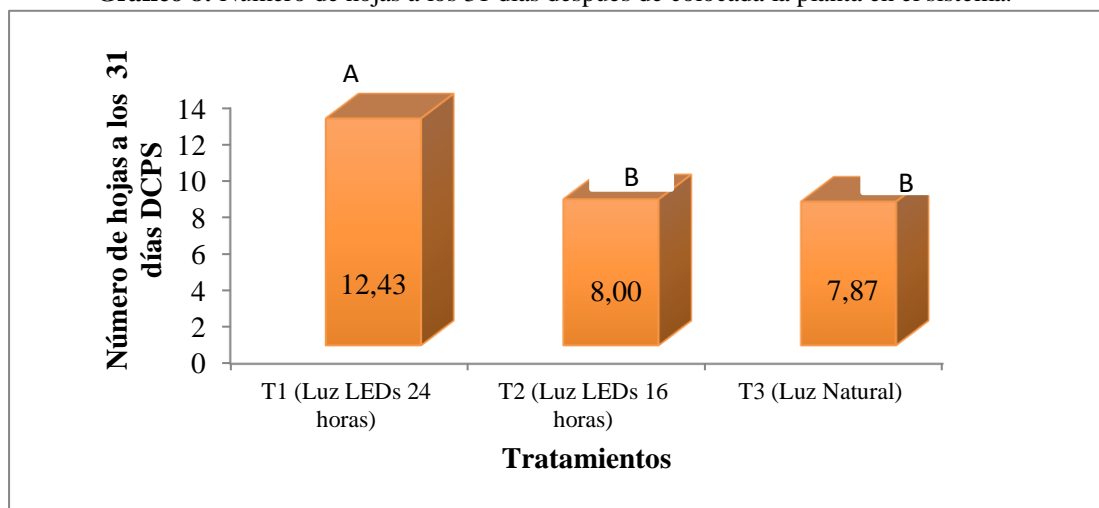
p-valor >0,05 y > 0,01 ns;

p-valor <0,05 y > 0,01 *

p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 31 días, presentó dos grupos estadísticos (Gráfico 8), el grupo A corresponde al tratamiento T1 (Luz LEDs 24 horas) con una media de 12,43 y el grupo B para los tratamientos T2 y T3, con una media de 8,00 y 7,87 respectivamente.

Gráfico 8: Número de hojas a los 31 días después de colocada la planta en el sistema.



Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Número de hojas a los 39 días después de colocada la planta en el sistema

El análisis de varianza para el número de hojas a los 39 días, de colocada la planta en el sistema presentó diferencias altamente significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 4,08 %, (Tabla 8).

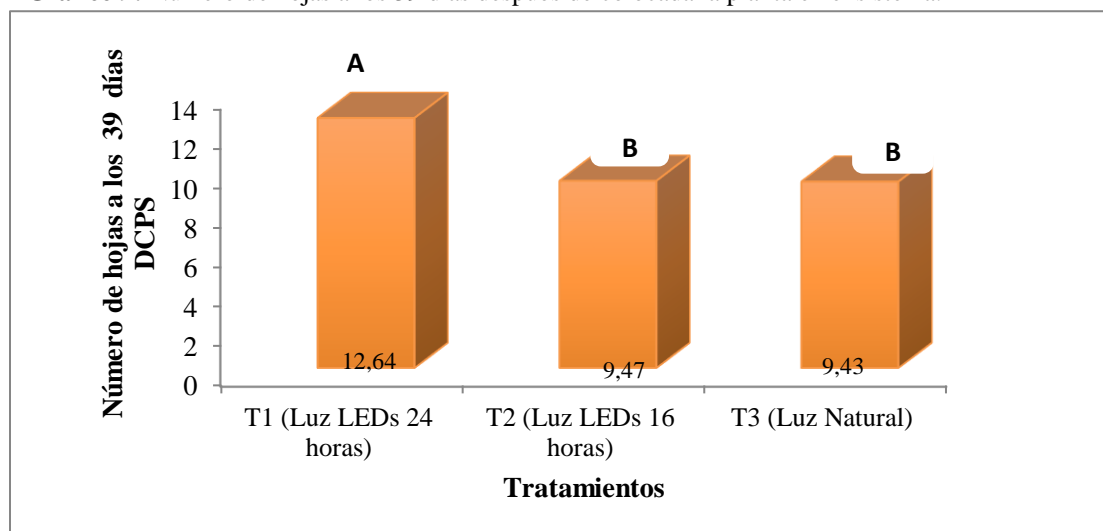
Tabla 8: Análisis de Varianza para el número de hojas a los 39 días después de colocada la planta en el sistema.

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	0,05	2	0,02	0,13	0,8788	Ns
TRATAMIENTOS	20,40	2	10,20	55,45	0,0012	**
Error	0,74	4	0,18			
Total	21,18	8				
CV	4,08%					

Fuente: Estrada J. 2020
 p-valor >0,05 y > 0,01 ns;
 p-valor <0,05 y > 0,01 *
 p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a los 39 días, presentó dos grupos estadísticos (Gráfico 9), el grupo A que corresponde al tratamiento T1 (Luz LEDs 24 horas) con una media de 12,64 y el grupo B para los tratamientos T2 (Luz LEDs 16 horas) y T3 (Luz Natural) con medias de 9,47 y 9,43 hojas respectivamente.

Gráfico 9: Número de hojas a los 39 días después de colocada la planta en el sistema.



Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Número de hojas a la cosecha

El análisis de varianza para el número de hojas a la cosecha presentó diferencias altamente significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 2,99%, (Tabla 9).

Tabla 9: Análisis de Varianza para el número de hojas a la cosechan.

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	1,34	2	0,67	5,15	0,0782	Ns
TRATAMIENTOS	10,64	2	5,32	40,92	0,0022	**
Error	0,52	4	0,13			
Total	12,50	8				
CV	2,99%					

Fuente: Estrada J. 2020

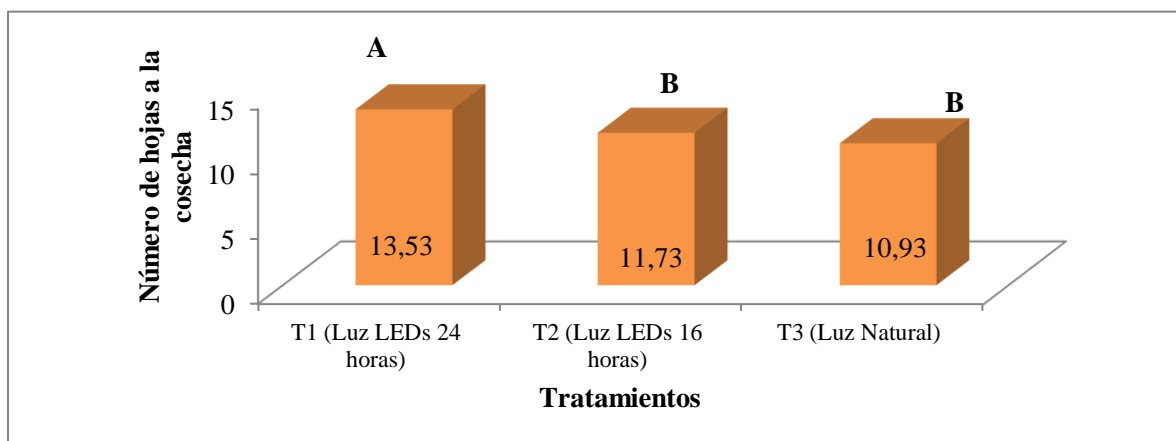
p-valor >0,05 y > 0,01 ns;

p-valor <0,05 y > 0,01 *

p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5% para el número de hojas a la cosecha en los tratamientos, presentó dos grupos estadísticos (Gráfico 10), el grupo A corresponde al tratamiento T1(Luz LEDs 24 horas) con una media de 13,53 y el grupo B para los tratamientos T2(Luz LEDs 16 horas) y T3(Luz Natural) con medias de 11,73 y 10,93 hojas respectivamente.

Gráfico 10: Número de hojas a la cosecha.



Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

El mayor número de hojas en el cultivo de acelga a los 15, 23, 31, 39 días de colocada la planta en el sistema y a la cosecha se obtuvo en el T1 (Luces LEDs 24 horas) con promedios de 5,27; 11,90; 12,43; 12,64 y 13,53 esto pudo deberse al incremento de la intensidad de la luz LEDs, aumentando la tasa fotosintética, los procesos de multiplicación celular y a su vez da lugar a un número mayor de hojas; acorde al proceso de captación de luz en las hojas, según Manrique Reol (2003), quién manifiesta que en las plantas vasculares las moléculas de clorofila están organizadas en estructuras captadoras de luz, denominados complejos antena, constituidos por pigmentos unidos a proteínas y que a su vez están conectados con sendos fotosistemas (PS I y PS II) a través de un centro de reacción y que contienen los aceptores y transportadores de electrones necesarios para llevar los electrones excitados por los fotones absorbidos hasta sus finales aceptores, las moléculas de NADP oxidado que pasarán a NADPH reducido incrementando la fotosíntesis.

Contenido de clorofila en SPAD a la cosecha

El análisis de varianza para el contenido de clorofila a la cosecha, presentó diferencias altamente significativas para tratamientos con un coeficiente de variación de 1,95 %, (Tabla 10).

Tabla 10: Análisis de Varianza para el contenido de clorofila a la cosecha.

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	1,64	2	0,82	1,24	0,3821	Ns
TRATAMIENTOS	58,52	2	29,26	44,11	0,0019	**
Error	2,65	4	0,66			
Total	62,81	8				
CV	1,95%					

Fuente: Estrada J. 2020

p-valor >0,05 y > 0,01 ns;

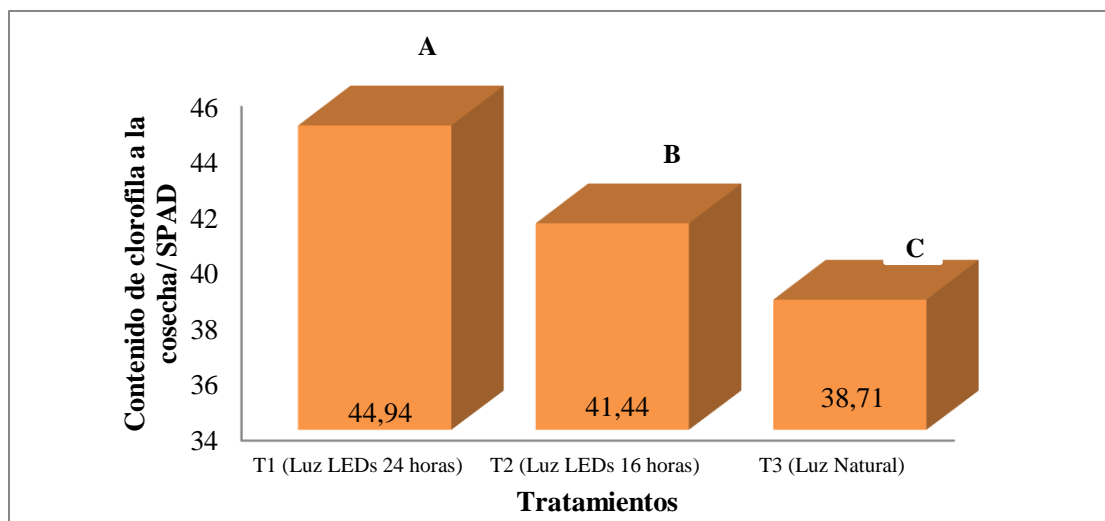
p-valor <0,05 y > 0,01 *

p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5%, para el contenido de clorofila a la cosecha presentó tres grupos estadísticos (Gráfico 11), un grupo A para el tratamiento T1 (Luces LEDs 24 horas) con una media de 44,94 SPAD, el grupo B para el tratamiento T2 (Luces LEDs 16 horas) con una media de 41,44 SPAD y el grupo C para el tratamiento T3 (Luz Natural) con una media de 38,71 SPAD.

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Gráfico 11: Contenido de clorofila a la cosecha.



El mayor contenido de clorofila presente en las hojas del cultivo de acelga a la cosecha obtuvo el T1 (Luces LEDs 24 horas) con promedios de 44,94 de SPAD respectivamente acorde a lo citado por Macías De Costa et al. (2003), las clorofilas son los pigmentos responsables del color verde de las hojas de los vegetales y de los frutos inmaduros. Son piezas claves en la fotosíntesis, proceso que permite transformar la energía solar en energía química, y finalmente a partir de ella producir alimentos para todos los seres vivos y mantener el nivel de oxígeno en la atmósfera, concuerda también con Manrique Reol (2003) quien manifiesta que las moléculas de clorofila están organizadas en estructuras captadoras de luz, las cuales permiten incrementar la tasa fotosintética e incrementar el contenido de clorofila.

Contenido de materia seca en g/m² a la cosecha

El análisis de varianza para el contenido de materia seca a la cosecha presentó diferencias altamente significativas para tratamientos con un coeficiente de variación de 5,50 %, (Tabla 11).

Tabla 11: Contenido de materia seca, a la cosecha por m².

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor	Sign.
REPETICIONES	2,58	2	1,29	2,93	0,1645	Ns
TRATAMIENTOS	188,48	2	94,24	214,18	0,0001	**
Error	1,76	4	0,44			

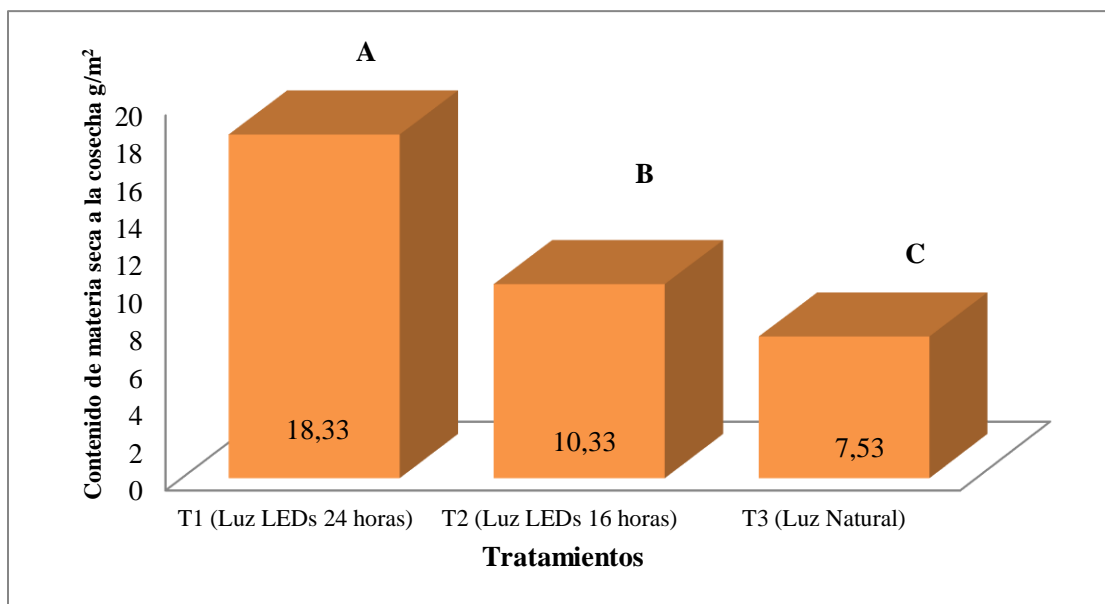
Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Total	192,82	8
CV	5,50%	

Fuente: Estrada J. 2020
p-valor >0,05 y > 0,01 ns;
p-valor <0,05 y > 0,01 *
p-valor <0,05 y < 0,01 **

La prueba de Tukey al 5%, para el contenido de materia seca a la cosecha por m² presentó tres grupos estadísticos (Gráfico 12), un grupo A para el tratamiento T1 (Luz LEDs 24 horas) con una media de 18,33g, el grupo B para el tratamiento T2 (Luz LEDs 16 horas) con una media de 10,33g y el grupo C para el tratamiento T3 (Luz Natural) con una media de 7,53g.

Gráfico 12: Contenido de materia seca promedio a la cosecha en 0,72m².



La mayor cantidad de materia seca a la cosecha alcanzó el tratamiento T1 (Luces LEDs, 24 horas) con 18,33g en 0,72 m², esto pudo deberse a que el tratamiento T1 tuvo mayor horas luz que los otros tratamientos y por supuesto a la eficiencia del proceso de fotosíntesis y respiración, acorde a lo citado por Mosquera-Sánchez et al., (1999) quien menciona que la fotosíntesis es el principal proceso en la producción de materia orgánica vegetal y paralelo a éste, ocurre el proceso respiratorio que afecta el balance de carbono y la acumulación de materia orgánica.

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

Conclusiones

El tratamiento T1 (Luz LEDs las 24 horas) alcanzó la mayor altura de planta a los 23, 31, 39 días, y a la cosecha con 20,51, 27,18, 36,23 y 46,78 cm respectivamente, a los 15 días no existió diferencias significativas entre tratamientos.

El tratamiento T1 (Luz LEDs las 24 horas) obtuvo el mayor número de hojas a los 15, 23, 31, 39 días y a la cosecha con 5,27, 11,90, 12,43, 12,64 13,53 hojas respectivamente.

El tratamiento T1 (Luz LEDs las 24 horas) obtuvo el mayor contenido de clorofila a la cosecha con 44,94 SPAD respectivamente.

El tratamiento T1 (Luz LEDs las 24 horas) alcanzó el mayor peso de materia seca a la cosecha con 18,33 g en 0,72 m² superando al T2 (16 horas de Luz LEDs) en un 77,44% y al T3 (Luz Natural) en un 143,43%.

Referencias

1. Casierra, F., & Peña, J. (2015). Modificaciones fotomorfogénicas inducidas por la calidad de la luz en plantas cultivadas. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 39, 84–92. Recuperado el 15 de noviembre de 2019 de <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/276/157>
2. Holdridge (1992). Zona de vida, Ecuador. obtenido de http://www.ecotec.edu.ec/documentacion%5Cpropuestas%5Cturismo_hoteleria_2007/987_HTR_BS_AMB_256.pdf
3. Macías De Costa, S., Montenegro, M. A., Arregui, T., Inés Sánchez De Pinto, M., Nazareno, M. A., & López De Mishima, B. (2003). Caracterización de acelga fresca de Santiago del Estero (Argentina). comparación del contenido de nutrientes en hoja y tallo. evaluación de los carotenoides presentes. In *Cienc. Tecnol. Aliment* (Vol. 23). Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/cta/v23n1/18251.pdf>
4. Manrique Reol, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas*, XII(Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis), 11. Retrieved from <http://www.aet.org/ecosistemas/031/informe4.htm>
5. Martín, P., Navas, L., Hernández, S., Corrêa, A., Martín, J., Martín, E., ... Durán, J. (2010). Diodos emisores de luz para la irradiación de plantas. *Scribd*, (May 2014), 17.

Efecto de la iluminación leds de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* Subsp. *vulgaris* L.) Var. Ford Hook Giant en invernadero

6. Mosquera-Sánchez, L. P., Néstor, Riaño-Herrera, M., Arcila-Pulgarín, J., César, A & Ponce-Dávila, A. (1999). Fotosíntesis, respiración y fotorrespiración en hojas de café *coffea* sp (Vol. 50).
7. Oscanoa, H. (2018). Diseño mecatrónico de un ambiente controlado para el crecimiento de hortalizas empleando aeroponía. (Tesis de posgrado, Máster en Ingeniería Mecatrónica), Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.
8. Paniagua, G., Hernández, C., Rico, F., Domínguez, F., Martínez, E., & Martínez. (2015). Efecto de la luz LEDs de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica*, 0(40), 199–212. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13>
9. Rendón, Y. (2013). Sistemas aeroponicos en agricultura protegida (Tesis de posgrado, Especialización en Química Aplicada, opción agroplasticultura. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo-Coahuila, Recuperado el 17 de octubre de 2019 de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/420/1/Yesica%20Rendon%20Aquino.pdf>
10. Urrestarazu, M. (2018). Artículo técnico Iluminación artificial en agricultura Enero 2018 Silvia Bures , Miguel Urrestarazu Gavilán y Stiina Kotiranta. ResearchGate, (January), 0–46.
11. Zepeda, I. L. (2012). Efecto de la solución nutritiva en el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa*L.) en dos sistemas hidropónicos: camas flotantes y aeroponía. lugar. p. 71.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).