

Producción de lechuga (*Lactuca sativa*) en hidroponía en sistema Indoor con luces artificiales

Lettuce (*Lactuca sativa*) production in hydroponics indoor system with artificial lights

María Emilia ARREGUI¹, Verónica Beatriz GARGAGLIONE^{1,2,3}, Jorge Alberto BIRGI^{1,2}
emiliaarregui@hotmail.com; gargaglione.veronica@inta.gob.ar; birgi.jorge@inta.gob.ar

¹ Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Gallegos (UNPA-UARG)

² INTA- EEA Santa Cruz

³ CONICET

Recibido: 04/04/2023. Aceptado: 21/11/2023

RESUMEN

En la localidad de Río Gallegos, el fotoperiodo disminuye en época invernal y lo torna limitante para la producción de hortalizas. Motivo por el cual, para obtener cultivos todo el año en esta zona, es necesario realizar una suplementación con luz artificial. En el presente trabajo se evaluó el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) variedad “Divina” en un sistema hidropónico, bajo diferentes sistemas de iluminación LED. Se aplicaron dos tratamientos de iluminación (T1): sistema de luces LED convencional doméstica (Osram Floodlight 50 Ledvance) vs. (T2): sistema de luces LED específicas para cultivos (Sistema luces VIC LED Ht 5004), con una intensidad de $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ y un fotoperíodo de 16 h/d. Las semillas se sembraron en noviembre de 2022, transcurridos 15 días de crecimiento, se seleccionaron 16 plantines homogéneos que fueron trasplantados al sistema hidropónico y se cosecharon luego de 24 días. Se realizaron mediciones de índice verde, peso fresco, peso seco y área foliar. La biomasa aérea fue de 6,01 gr/planta y 8,03 gr/planta para el tratamiento OSRAM y VIC, respectivamente. En cuanto a la biomasa radicular, se obtuvo 1,57 gr/planta para el primer tratamiento y para el segundo de 1,8 gr/planta, en ambos casos las diferencias no fueron significativas. El índice verde fue mayor en aquellas plantas que crecieron bajo el tratamiento VIC, demostrando un mejor estado nutricional. En cuanto al área foliar, esta fue mayor en las plantas que crecieron bajo el tratamiento OSRAM con luz doméstica, debido a que compensan la menor eficiencia fotosintética con una mayor intercepción de luz y área foliar. Este estudio evidencia que la luz LED convencional doméstica es una fuente de luz viable para el crecimiento de las plantas de lechuga y que la luz LED específica de cultivo genera plantas con una calidad nutricional superior. Es necesario ampliar la investigación evaluando la respuesta de diversas especies hortalizas ante los tratamientos lumínicos planteados en este trabajo, ya que éstas reaccionan de forma diferente a los componentes espectrales del flujo luminoso.

Palabras clave: LED; cultivos intensivos; hortalizas.



ABSTRACT

In the town of Río Gallegos, the photoperiod decreases during the winter season, which becomes limiting for horticultural production. Therefore, to achieve year-round crops in this area, supplementation with artificial light is necessary. This study evaluated the growth of lettuce (*Lactuca sativa*) variety 'Divina' in a hydroponic system under different LED lighting systems. Two lighting treatments were applied: (T1) a conventional domestic LED lighting system (Osram Floodlight 50 Ledvance) vs. (T2) crop-specific LED lighting system (VIC LED Ht 5004), with an intensity of $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ and a photoperiod of 16 hours/day. The seeds were sown in November 2022, and after 15 days of growth, 16 homogeneous seedlings were selected and transplanted into the hydroponic system. The plants were harvested after 24 days, and measurements of the green index, fresh weight, dry weight, and leaf area were taken. The aboveground biomass was 6.01 g/plant and 8.03 g/plant for the OSRAM and VIC treatments, respectively. Regarding root biomass, 1.57 g/plant was obtained for the first treatment and 1.8 g/plant for the second treatment, with no significant differences in both cases. The green index was higher in plants grown under the VIC treatment, indicating a better nutritional state. As for leaf area, it was higher in plants grown under the OSRAM treatment with domestic lighting, as they compensate for lower photosynthetic efficiency with greater light interception and leaf area. This study demonstrates that conventional domestic LED lighting is a viable light source for lettuce plant growth, and crop-specific LED lighting produces plants with superior nutritional quality. Further research is needed to evaluate the response of different horticultural species to the lighting treatments proposed in this study, as they react differently to the spectral components of the light flux.

Keywords: LED; intensive crops; horticulture.

INTRODUCCIÓN

En la localidad de Río Gallegos, la producción agrícola se ve limitada por distintos factores como ser la baja disponibilidad de suelos fértiles, disminución del fotoperíodo en época invernal y condiciones meteorológicas desfavorables, como bajas temperaturas y vientos intensos (Birgi, 2018). Por esta razón, las frutas y verduras que se consumen a nivel local, en su mayoría, provienen de Buenos Aires y Mendoza (Giacobone *et al.*, 2018). El transporte de estos alimentos desde las regiones productoras hasta los sitios de consumo trae aparejados dos inconvenientes, por un lado, genera grandes emisiones de CO₂ y por el otro, los productos que llegan al mercado suelen poseer una baja calidad organoléptica.

En la ciudad se encuentran algunos productores locales de mediana escala que producen bajo cubierta, en estructuras de protección como invernaderos o microtúneles, en su mayoría especies hortícolas de hoja (Birgi *et al.*, 2020). Dichos productores se enfrentan cotidianamente a los distintos factores ambientales desfavorables, por lo cual es de gran importancia desarrollar alternativas de producción que permitan fortalecer el sector productivo local.

Dentro de los distintos sistemas de producción, se encuentran los sistemas hidropónicos, que consisten en cultivar plantas en ausencia de suelo, donde el aporte de nutrientes se realiza de manera artificial a través de una solución acuosa. Estos sistemas cuentan con diversas ventajas, como mejoras en la producción y calidad de los productos hortícolas (Thomas *et al.*, 2021), uso eficiente del agua y el espacio, disminución en los riesgos por pérdidas a partir de enfermedades



o plagas y es casi nulo el uso de agroquímicos y pesticidas. Esta técnica permite obtener verduras frescas en zonas donde el suelo es limitante para la producción por su baja fertilidad (Resch, 1997). Asimismo, estos sistemas presentan algunas desventajas como los costos iniciales elevados, lo que puede suponer una barrera para algunos productores. Además, es necesario contar con agua de buena calidad para la producción, lo que puede ser un desafío en ciertas regiones. Otra consideración importante es prestar una mayor atención al cuidado de las plantas y a la solución nutritiva, ya que los desequilibrios nutricionales pueden tener un impacto inmediato en los cultivos. Aunque la mano de obra requerida es menor en comparación con los cultivos agrícolas tradicionales, es fundamental que el personal cuente con conocimientos sólidos sobre fisiología y nutrición de las plantas, así como habilidades técnicas específicas para el funcionamiento del sistema (Beltrano y Giménez, 2015; Albuja *et al.*, 2021)

El desarrollo, crecimiento y calidad nutricional de las plantas, está fuertemente influenciado por la calidad y cantidad de luz que reciben (Johkan *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2018; Pennisi *et al.*, 2019; Massa *et al.*, 2008). La calidad de luz hace referencia a las longitudes de onda que alcanzan la superficie foliar de la planta, ya que la fotosíntesis es estimulada por la luz que se encuentra entre los 400 nm y 700 nm del espectro electromagnético, esta radiación se denomina Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR). En cuanto a la cantidad de luz PAR, esta se mide mediante el Flujo de Fotones Fotosintéticos (PPF) y se expresa en micromoles por segundo ($\mu\text{mol/s}$). Para saber cuántos de estos fotones realmente llegan a la superficie foliar se mide la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD), que representa el número de fotones fotosintéticamente activos que llegan a una superficie determinada a cada segundo ($\mu\text{mol/m}^2\text{s}$) (Whitten *et al.*, 2015; Ramos *et al.*, 2010). Otra medida de la cantidad de luz es el fotoperiodo, que se mide en cantidad de horas de luz y hace referencia a los periodos de luz y oscuridad a los que están expuestas las plantas. Esta alternancia entre el día y la noche genera respuestas morfológicas y fisiológicas en la vegetación, que van a depender de otros factores como la temperatura o características propias de la especie (Curtis, 2016).

En la localidad de Río Gallegos, el fotoperiodo disminuye ampliamente en época invernal y lo torna limitante para la producción de hortalizas. En este sentido, para lograr producir de forma anual, es necesario realizar una suplementación invernal con luz artificial. Para ello, existen distintas fuentes de iluminación artificial para cultivos, entre ellas se encuentran las lámparas de sodio de alta presión y los diodos emisores de luz (LED) de galio, aluminio y arseniuro. Estos sistemas de iluminación emiten longitudes de onda que se encuentran dentro del espectro de radiación fotosintéticamente activa. Las primeras tienen un costo menor, pero poseen algunas desventajas como una menor vida útil y pérdida de eficiencia, ya que parte de la energía se pierde en forma de calor, lo que produce un mayor gasto energético. En tanto que, las lámparas LED tienen la capacidad de controlar la composición espectral en función a los requerimientos del cultivo, no levantan altas temperaturas, son de tamaño pequeño y poseen una vida útil prolongada (Bures *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2004; Massa *et al.*, 2008).

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, se considera que es de gran importancia desarrollar emprendimientos de producción hidropónica en sistema indoor con luces artificiales, ya que esto permite el control de los factores ambientales y del fotoperiodo en época invernal, pudiendo generar de esta manera el abastecimiento local de hortalizas, dado que se podrían eludir las restricciones productivas debido a deficiencias en el factor luz.

La especie objeto del presente trabajo fue la lechuga (*Lactuca sativa*) ya que es una de las principales especies hortícolas de hoja cultivada por los productores locales (Birgi *et al.*, 2019). Pertenece a la familia de las asteráceas, su temperatura óptima para la germinación se encuentra entre 18-20°C y durante la fase de crecimiento es de 20-24°C durante el día y entre 7-11°C de noche (Frutos Tortosa, 2018; Castagnino, 2009). Se trata de un cultivo de bajo costo, que posee

un ciclo corto de producción y genera altos rendimientos. Zhou *et al.* (2022) ha demostrado que es posible lograr altos rendimientos en la producción de lechuga utilizando luces de sodio de alta presión. Otros autores han encontrado que las plantas alcanzan un crecimiento óptimo bajo un flujo de fotones fotosintéticos (PPF) de $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ con un fotoperíodo (horas de luz) de 16 h/d (Zhang *et al.*, 2018).

El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de un cultivo de lechuga variedad divina bajo dos distintos tipos de luces: Tratamiento 1 (T1): sistema de luces LED convencional doméstica (Osram Floodlight 50 Ledvance) vs. Tratamiento 2 (T2): sistema de luces LED específicas para cultivos (Sistema luces VIC LED Ht 5004). La diferencia entre estos tipos de luces radica en que las primeras utilizan luz blanca que contiene todas las longitudes de onda que van desde los 400 nm hasta los 700 nm. En cambio, las luces de cultivo modifican el espectro en función a los requerimientos de la planta, utilizando solo aquellos rangos espectrales que generan una mayor eficiencia en la producción. Esta característica hace que el costo de estas últimas sea más elevado que el de las luces LED convencionales, tornándose limitante para los pequeños productores que quieran acceder a estos sistemas de iluminación. Las hipótesis del presente trabajo fueron: 1) la producción de cultivos con luces de uso doméstico es posible técnicamente y 2) la producción de lechuga con luces específicas para cultivo permitirá obtener mayor cantidad y calidad de plantas.

METODOLOGÍA

El ensayo se realizó en el laboratorio de la EEA INTA Santa Cruz, durante el periodo noviembre-diciembre del año 2022. Se instaló un sistema hidropónico de lámina intermedia con recirculación. El sistema hidropónico estaba separado en dos tratamientos de luces artificiales que se encontraban aislados de la luz ambiental y entre ellos, mediante cortinas black out.

Sistema hidropónico y solución nutritiva



Cada tratamiento estaba integrado por 4 cajones de producción de 40 cm de alto, 30 cm de ancho y 12 cm de profundo, con una capacidad para albergar 4 plantas cada uno. (Figura 1). La solución nutritiva se encontraba en un tanque de 400L y era impulsada hacia los cajones por una bomba centrífuga marca Motorarg modelo BC M, llegaba a los cajones mediante microtubos y el exceso era drenado por otros tubos que desembocaban a una tubería con retorno al tanque principal.

La solución nutritiva se armó siguiendo la fórmula propuesta por Resch (1997) para cultivo de lechuga (Tabla 1). Para ello, se utilizaron fertilizantes base con los elementos nutritivos principales que se encuentran disponibles en la industria nacional.

Figura 1. Imagen de los cajones de producción del sistema hidropónico, cada cajón contaba con 4 plantas de lechuga.

Nutriente	Concentración (mg.L ⁻¹)
NO ₃ ⁻	165,1
PO ₄ ³⁻	73
K	210,2
Ca	191,7
Mg	50
SO ₄ ²⁻	67,9
Fe	5
Mn	0,5
Cu	0,1
Zn	0,1
B	0,5
Mo	0,02

Tabla 1. Composición química de la solución nutritiva utilizada en el ensayo para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) utilizada en el presente ensayo.

Sistemas de luces y diseño del experimento

En el experimento se utilizaron dos tipos de luces, luz LED convencional doméstica (Osram Floodlight 50 Ledvance) y luz LED específicas para cultivos (VIC LED Ht 5004). La primera consiste en una luz blanca fría cuya tensión nominal varía entre 100-240V, tiene un consumo energético de 50W, el ángulo de apertura es de 100° y su vida útil es de 30.000 hs. En cuanto a las lámparas VIC LED Ht 5004, estas tienen un espectro que proporciona luz dentro de la región de radiación PAR, para garantizar un crecimiento óptimo dentro de cada fase de crecimiento para cada tipo de planta. Posee un voltaje de entrada de 120-277V, tiene un consumo energético 135W, posee un área de cobertura de 80cm x 80cm y su vida útil es mayor a 50.000 hs.

El diseño consistió en 4 repeticiones, conformadas por 4 plantas cada una, y 2 tratamientos según el tipo de luz. En el Tratamiento 1 (T1) se aplicó luz LED convencional doméstica y para el Tratamiento 2 (T2) se utilizó luz LED específica para cultivos. Ambos tratamientos estuvieron conformados por 4 lámparas dispuestas en hileras a una distancia de 42 cm de las bandejas de cultivo, en el caso del T1 las lámparas se encontraban en ubicación zigzag para lograr una mejor cobertura. La medición de la cantidad de luz emitida por los sistemas se realizó utilizando una barra PAR marca Apogee Model MQ-301, con la cual se ajustó la altura de las luces a fin de que el flujo de fotones incidentes sea de 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, que es el óptimo indicado para lechuga (Lin *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2018).

Materiales vegetales y condiciones de crecimiento

En noviembre de 2022 se sembraron 2 bandejas con 30 semillas de lechuga divina, en cuadrados de espuma fenólica, a razón de dos semillas por cubo. Los cubos de espuma fenólica fueron colocados en bandejas de (53 x 26 cm) y se les agregó agua destilada para su germinación. Estas bandejas fueron colocadas una por cada sistema de luces, para que el tratamiento se inicie desde la germinación (Figura 2).

Transcurridos 15 días de crecimiento, se seleccionaron 16 plantines homogéneos de cada una de las bandejas y fueron trasplantados al sistema hidropónico, donde continuaron con su crecimiento.

Después de permanecer 24 días en el sistema hidropónico, se midió el índice verde de cada planta con un medidor portátil de clorofila marca Minolta SPAD 502, este equipo efectúa mediciones indirectas de clorofila que se cuantifican en valores adimensionales, que van de 0 a 199 y se denominan como unidades "SPAD". La medición se realizó en tres hojas de cada planta seleccionadas aleatoriamente (Figura 4a).

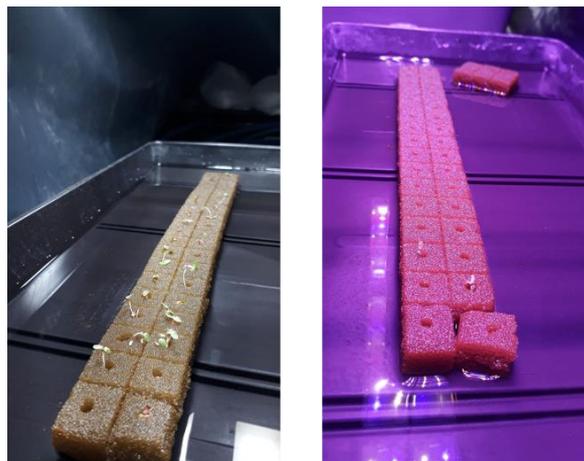


Figura 2. Germinación en cubos de espuma fenólica en cada uno de los tratamientos de los el sistema de luces. Izquierda: semillas germinando en sistema de luces OSRAM, derecha: semillas germinando en sistema de luces VIC.



Figura 3. Plantas de lechuga luego de 24 días de crecimiento bajo el tratamiento OSRAM

Posteriormente se cosecharon las plantas y de cada una se separó la parte aérea de la radicular para medir el peso fresco con una balanza de precisión de 1gr (Figura 4 b y c). Luego, se escanearon las hojas utilizando un escáner HP 300 y se procesaron las imágenes resultantes con el programa IMAGE J para obtener el área foliar (AF). Este dato nos permitió calcular el área foliar específica (AFE), que relaciona el área ocupada por el tejido foliar fresco con su peso seco ($AFE = AF \text{ (cm}^2\text{)} / \text{Peso seco (gr)}$) (Nafarrate-Hecht, 2017). Finalmente, las muestras se colocaron en una estufa a 60 °C durante 48 horas para obtener el peso seco.



Figura 4. a) Medición de índice verde. b) cosecha de las plantas. c) pesaje de la parte aérea.

Mediciones y análisis de datos

Durante el ensayo fueron monitoreadas las condiciones de la solución nutritiva, la conductividad eléctrica y el pH, se midieron con un peachímetro/conductímetro marca Martini Instruments® modelo Mi 806. El pH se mantuvo entre 6 y 6,5 y la conductividad entre 2 y 2,4 mS/cm, la solución se renovó cuando fue necesario para mantener esos parámetros constantes. En cuanto a la temperatura ambiental esta se mantuvo entre 21°C y 25°C.

Los datos obtenidos se procesaron con el programa InfoStat (Di Rienzo, *et al.*, 2020) a partir del cual, se realizaron análisis de la varianza para detectar diferencias significativas entre los tratamientos de luces para todas las mediciones realizadas. En caso de detectar diferencias, estas fueron separadas mediante el test de Tukey, a un nivel de significancia $p=0.05$.

RESULTADOS

La cantidad de luz medida en los dos tratamientos fue de 255 ± 49 y 253 ± 44 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ para los tratamientos de OSRAM y VIC, respectivamente. En ambos casos el flujo de fotones se mantuvo por encima del valor óptimo (Figura 5).

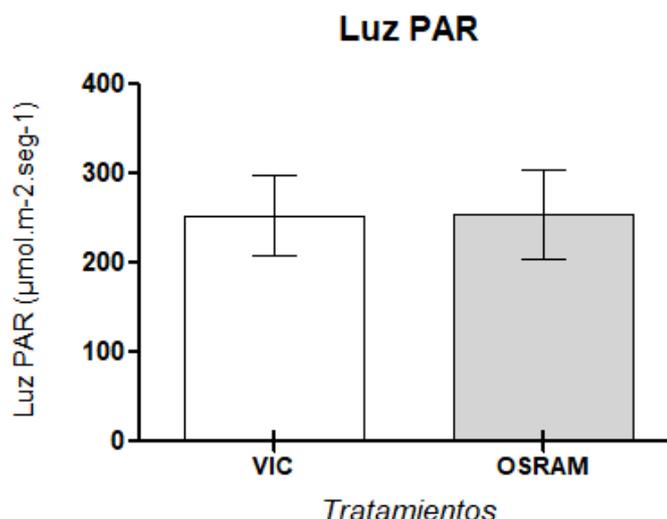


Figura 5. Luz PAR emitida por cada tratamiento medida en $\mu\text{mol/m}^2\text{.seg}$ VIC: luz LED específica para cultivo, OSRAM: luz LED blanca convencional.

Biomasa seca aérea y radicular

La biomasa total aérea por tratamiento fue de 97,21 gr para OSRAM y de 128,5 gr para VIC. En cuanto a la biomasa aérea promedio por planta esta fue de 6,01 gr/planta para el tratamiento OSRAM y para el tratamiento VIC de 8,03 gr/planta. Por su parte, la biomasa radicular total fue de 25,10 gr y de 28,68 gr, respectivamente. La biomasa radicular promedio por planta en el primer tratamiento fue de 1,57 gr/planta y para el segundo de 1,8 gr/planta (Figura 6).

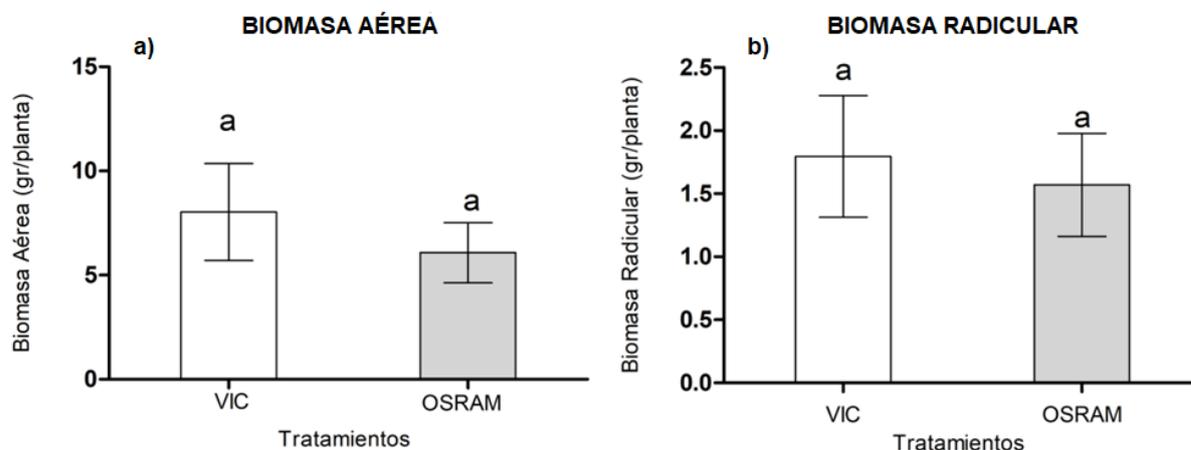


Figura 6. Biomasa seca aérea (a) y biomasa radicular (b) de lechuga divina, medida en gramos por planta, que se obtuvo bajo los tratamientos de luces tipo VIC y OSRAM. VIC: luz LED específica para cultivo, OSRAM: luz LED blanca convencional.

Si bien en ambos casos se puede observar que la biomasa fue mayor en las plantas que crecieron bajo las luces LED específicas de cultivo (VIC), estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, ya que el análisis ANOVA arrojó en el primer caso un valor p de 0,2022 y en el segundo un valor igual a 0,503.

Índice verde

La Figura 7 muestra el índice verde expresado en unidades SPAD que se obtuvo para cada tratamiento. Las plantas de lechuga que crecieron bajo las luces LED convencionales OSRAM presentaron un valor promedio de 28,05, mientras que para aquellas que crecieron bajo las luces específicas de cultivo VIC este valor fue 30,79. El análisis de la varianza y el test de Tukey demostró que estas diferencias fueron estadísticamente significativas con un p-valor de 0,0382.

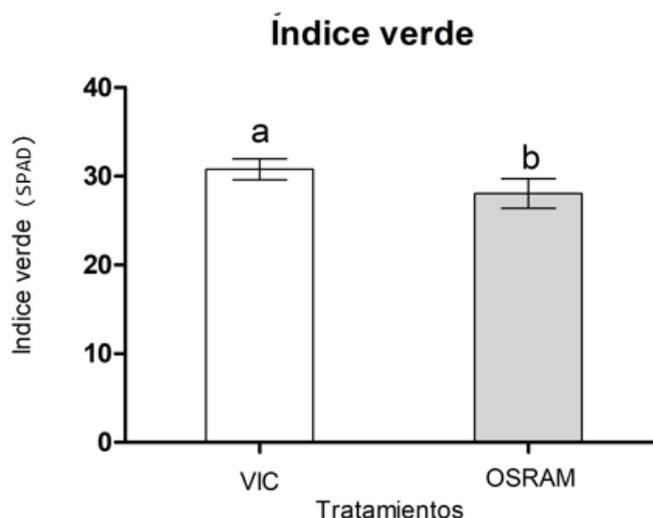


Figura 7. Índice verde expresado en unidades SPAD que se obtuvo para cada tratamiento. VIC: luz LED específica para cultivo, OSRAM: luz LED blanca convencional

Área Foliar

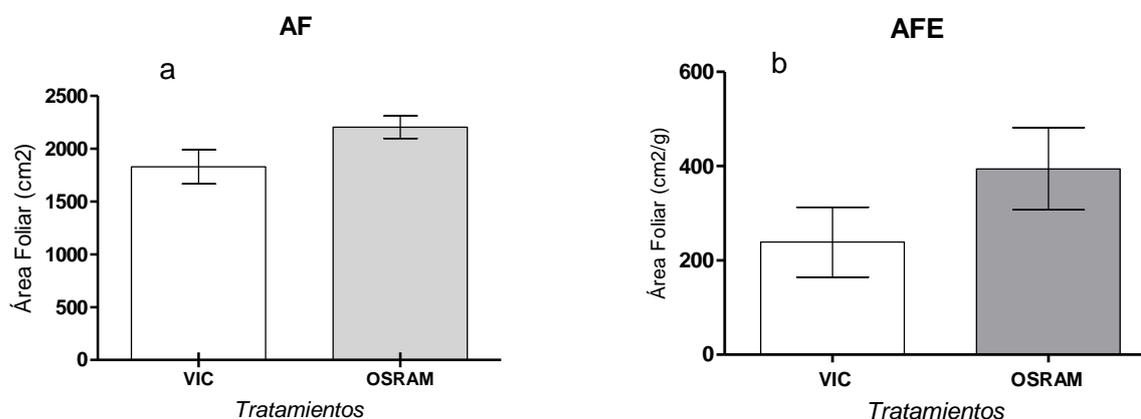


Figura 8. Área foliar total (AF) a) y área foliar específica (AFE) medida en área por gramos de materia seca b), que se obtuvo bajo los tratamientos de luces tipo VIC y OSRAM. VIC: luz LED específica para cultivo, OSRAM: luz LED blanca convencional

El AF medida en cm² fue mayor para el tratamiento OSRAM para el cual se obtuvo un valor promedio de 2203 cm² por planta, mientras que para el tratamiento VIC el promedio por planta fue de 1828 cm². El análisis de la varianza y el test de Tukey demostraron que estas diferencias

fueron estadísticamente significativas (p-valor: 0,0079). Por otra parte, en la Figura 8b se puede observar que el AFE para OSRAM fue de 394,4 cm²/gr y para el segundo tratamiento de 238,6 cm²/gr.

DISCUSIÓN

En el presente estudio se encontró que es posible obtener plantas de lechuga creciendo 100% bajo luces artificiales, LED del tipo domésticas. En este sentido, se afirma la hipótesis 1 que expresaba que la producción de cultivos con luces de uso doméstico es posible técnicamente.

Los resultados que se obtuvieron en las plantas que crecieron bajo el tratamiento OSRAM concuerdan con otras investigaciones que han demostrado que la luz LED blanca funciona como una fuente de luz estable para el crecimiento de la lechuga (Park *et al.*, 2012; Pennisi *et al.*, 2019). Ya que, si bien la luz roja (R) y azul (B) impulsan la fotosíntesis y otros procesos fisiológicos, las plantas están adaptadas para utilizar un amplio espectro de luz que les permite crecer y desarrollarse (Brown *et al.*, 1995). Zhou *et al.* (2022) estudió los efectos de la luz LED blanca y la combinación de luz LED R y B a diferentes intensidades, en un cultivo de lechuga hidropónica y concluyó que se puede lograr un alto rendimiento en la producción de lechuga con luz LED blanca, si ésta se aplica con una intensidad de 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$.

Del mismo modo, Zhang *et al.* (2018), encontraron resultados similares indicando que las plantas de lechuga alcanzan un crecimiento óptimo bajo un PPF de 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$, con un fotoperíodo de 16 h/d. En el presente ensayo se aplicó dicha intensidad lumínica en ambos tratamientos, lo cual se vio reflejado en un correcto desarrollo de las plantas y una producción de biomasa adecuada. Cabe destacar, que en ambos tratamientos no se percibió ningún tipo de anomalía o deformación.

En relación a los valores que se obtuvieron para biomasa aérea y radicular, en las plantas que crecieron con iluminación LED blanca, se pudo advertir que estos fueron superiores a los expuestos por Chen *et al.* (2016) quienes informaron una producción aérea y radicular de 0,74 gr y 0,22 gr, para la variedad de lechuga “Green oak leaf”. La biomasa radicular fue menor que la obtenida por Ohashi-Kaneko *et al.* (2007) (2,64 gr). Así mismo, Nguyen *et al.* (2022) evaluaron el efecto de la luz LED en comparación con la luz fluorescente para cuatro cultivares de lechuga (Costal Star, Muir, Green Butter y Rouge d'Hiver), y las cuatro variedades presentaron una biomasa radicular superior a la que se obtuvo en este trabajo (2,4 gr, 2 gr, 1,9 gr y 2,4 gr). Por otra parte, los datos de biomasa aérea que indicaron para algunas variedades de lechuga fueron similares, mientras que otras presentaron resultados inferiores (6,5 gr, 3 gr, 4,1 gr y 5 gr).

En el presente estudio se obtuvo una mayor biomasa tanto aérea como radicular en las plantas que crecieron bajo luz LED de cultivo VIC, en comparación con el tratamiento OSRAM, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Estos resultados no nos permiten afirmar parte de lo expuesto en la hipótesis 2, dado que se esperaba obtener una mayor producción de biomasa en aquellas plantas que crecieran bajo luces específicas para cultivo. De igual manera, Camejo *et al.* (2020) no informó diferencias en la biomasa, al comparar los resultados de un cultivo iluminado con luz LED blanca y otro con luz LED RB, para dos variedades de lechuga (Batavia Lettony y Batavia Diablotin) que crecieron bajo PPF de 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$. Asimismo, otros autores han reportado mejores rendimientos de biomasa de lechuga cuando se utilizó luz RB en combinación con blanca, comparado con aquellas cultivadas solamente con luz RB (Lin *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2016).

Los valores de biomasa aérea y radicular registrados para las plantas que crecieron bajo el tratamiento de luces de cultivo VIC, fueron mayores a los presentados por Chen *et al.* (2014), que evaluaron el crecimiento y acumulación de azúcar de la lechuga bajo distintos tratamientos de iluminación LED R-B (1,53 gr y 0,09 gr).

En cuanto al índice verde, este nos brinda información indirecta sobre el estado nutricional de la planta, ya que hay una significativa correlación entre los contenidos de clorofila (que da el color verde) con la concentración de nitrógeno en la hoja (Chapman y Barreto, 1997). Dicho índice fue mayor en aquellas plantas que crecieron bajo el tratamiento VIC, demostrando un mejor estado nutricional. Esto concuerda con los resultados de Calani (2021) y Pennisi *et al.* (2019) quienes obtuvieron un mayor contenido de clorofila en plantas de lechuga cuando se suministraron diferentes proporciones de luces RB. Asimismo, cabe destacar que este último autor también percibió una mayor concentración de clorofila en plantas que crecieron bajo tratamiento con sistemas de luces LED, comparado con un sistema de luces fluorescentes, demostrando que el uso de luces LED arrojan mejores resultados que otros sistemas de luces. Por otra parte, las lecturas SPAD que se obtuvieron para ambos tratamientos, se encuentran en el rango observado por Escalona *et al.* (2009) para un cultivo de lechuga.

Con respecto al AF y al AFE, estos parámetros fueron mayores en las plantas que crecieron bajo el tratamiento OSRAM con luz doméstica, esto es debido a que las plantas compensan la eficiencia fotosintética reducida con una mayor intercepción de luz por área foliar más grande. Esto coincide con los resultados obtenidos por otros autores que indican que niveles de luz bajos son asociados a un incremento del AF (Lin *et al.*, 2013; Pennisi *et al.*, 2019; Fan *et al.*, 2013). Carranza *et al.* (2009) obtuvo resultados de AFE similares a los señalados en el presente informe, en un ensayo de lechuga Batavia cultivada en suelos salinos de la Sabana de Bogotá, Colombia (497,55 cm²/gr). Por otra parte, Pennisi *et al.* (2019) realizaron experimentos utilizando diferentes proporciones de luz R:B y midieron como estas afectan el crecimiento y la calidad de la lechuga. Los resultados de AF que obtuvieron para cada experimento fueron inferiores a los exhibidos en este trabajo para el tratamiento con luces VIC (590 cm², 500 cm², 780 cm², 775 cm² y 810 cm²), mientras que los de AFE fueron superiores en todos los casos (580 cm²/gr, 400 cm²/gr, 410 cm²/gr, 380 cm²/gr y 420 cm²/gr). De igual manera, Son y Oh, (2015) obtuvieron valores de AF inferiores (1238,19 cm²/planta).

CONCLUSIONES

En este estudio se encontró que es viable la producción de lechuga con luces LED blancas convencionales de uso domésticas, lo cual puede ser una alternativa más económica para los pequeños productores que deseen empezar a suplementar sus cultivos con luz artificial. Asimismo, si bien no hubo diferencias significativas en biomasa acumulada entre las luces domésticas y las específicas para cultivo, es importante destacar que la calidad nutricional de las plantas que crecieron bajo luces VIC fue superior, demostrado en este caso mediante mediciones indirectas de cantidad de clorofila en las hojas.

RECOMENDACIONES

Es necesario ampliar la investigación evaluando la respuesta de diversas especies hortícolas ante los tratamientos lumínicos planteados en este trabajo, ya que éstas reaccionan de forma diferente a los componentes espectrales del flujo luminoso. Generar este tipo de información



permitirá mejorar el rendimiento y la calidad de los productos cosechados a nivel local y de esta manera maximizar los beneficios económicos de los productores locales.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora Verónica Gargaglione quien me acompañó y guio en todo este proceso de aprendizaje. A Jorge Biri que me asistió en la puesta en marcha del ensayo. A el INTA-EEA Santa Cruz por permitirme hacer uso de las instalaciones para llevar a adelante el ensayo. A la Universidad Nacional de la Patagonia Austral por otorgarme la oportunidad de dar mis primeros pasos en el ámbito de la investigación. A la empresa VIC LTD quien aportó los equipos necesarios y sus especificaciones técnicas, para el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBUJA, V., ANDRADE, J., LUCANO, C., & RODRIGUEZ, M. (2021). Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas. *Minerva*, 2(4), 45-54. <https://doi.org/10.47460/minerva.v2i4.26>
- BELTRANO, J., & GIMENEZ, D. O. (2015). Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/46752>
- BIRGI, J. A. (2018). La agricultura familiar en Santa Cruz y las frutas finas como alternativa productiva (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía y Agroindustria, Universidad Nacional de Santiago del Estero).
- BIRGI, J. A., PERI, P. L., CECANELLO, M. M., & GARGAGLIONE, V. B. (2020). La Agricultura familiar en Santa Cruz, Patagonia Argentina: Caracterización de los núcleos agrícolas familiares. *Informes Científicos Técnicos-UNPA*, 12(2), 29-46. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n2.730>
- BROWN, C. S., SCHUERGER, A. C., & SAGER, J. C. (1995). Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(5), 808-813. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.5.808>
- BURES, S., GAVILÁN, M. U., & KOTIRANTA, S. (2018). Iluminación artificial en agricultura Enero 2018.
- CAMEJO, D., FRUTOS, A., MESTRE, T. C., DEL CARMEN PIÑERO, M., RIVERO, R. M., & MARTÍNEZ, V. (2020). Artificial light impacts the physical and nutritional quality of lettuce plants. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61, 69-82. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00191-z>
- CASTAGNINO, A. M. (2009). Manual de cultivos hortícolas innovadores (No. 635). Hemisferio Sur,.
- CHAPMAN, S. C., & BARRETO, H. J. (1997). Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal*, 89(4), 557-562. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900040004x>
- CHEN, X. L., GUO, W. Z., XUE, X. Z., WANG, L. C., & QIAO, X. J. (2014). Growth and quality responses of 'Green Oak Leaf' lettuce as affected by monochromatic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae*, 172, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.009>

- CHEN, X. L., XUE, X. Z., GUO, W. Z., WANG, L. C., & QIAO, X. J. (2016). Growth and nutritional properties of lettuce affected by mixed irradiation of white and supplemental light provided by light-emitting diode. *Scientia Horticulturae*, 200, 111-118.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.007>
- COOPER, A.J. (1978). Methods of establishing young plants in a nutrient film tomato crop. *J. Hort. Sci.* 53: 189-193. <https://doi.org/10.1080/00221589.1978.11514818>
- CURTIS, H. (2016). *Invitación a la biología en contexto social* (7a. ed. --). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ESCALONA, A., SANTANA, M., ACEVEDO, I., RODRÍGUEZ, V., & MERÚ MARCÓ, L. (2009). Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas "spad" en el cultivo de lechuga. *Agronomía Tropical*, 59(1), 99-105.
- ESPINAL CALANI, J. A. (2021). Efecto de la iluminación led en un sistema vertical de producción con lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo ambiente controlado (Doctoral dissertation).
- FAN, X.X., XU, Z.G., LIU, X.Y., TANG, C.M., WANG, L.W., and HAN, X. lin (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci. Hort. (Amsterdam)*. 153, 50-55
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.017>
- FRUTOS TORTOSA, A. (2018) b Revisión de nuevas técnicas de producción para cultivos de hoja. *Revista Doctorado UMH4*(1):p6 [Online]. DOI:<https://doi.org/10.21134/doc-tumh.v4i1.1489> <https://doi.org/10.21134/doc-tumh.v4i1.1489>
- GIACOBONE, G., CASTRONUOVO, L., TISCORNIA, V., & ALLEMANDI, L. (2018). Análisis de la cadena de suministro de frutas y verduras en Argentina. Estudio financiado por IDRC-Canadá. Argentina: Fundación InterAmericana del Corazón-Argentina.
- GRAVES, C.J. (1983). The nutrient film technique. *Hort. Rev.* 5: 1-44.
<https://doi.org/10.1002/9781118060728.ch1>
- Grupo de investigación GIR-TADRUS. ETSI agrarias. (2010). Diodos emisores de luz para la irradiación en plantas. Diodos emisores de luz para la irradiación en plantas. Madrid, España: Universidad de Valladolid.
- HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. I. (1950). The water -culture method for growing plants without soils. *Circ.347 Berkeley, CA, Agric. Exp. Stn. University of California*.
- JENNER, G. (1980). Hydroponics -reality or fantasy?. *Scientia Hort.*31: 19-26
- JENSEN, M.H. y COLLINS, W.L. (1985). Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.* 483-559. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S., Yoshihara, T., 2012. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environ. Exp. Bot.* 75, 128-133.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.010>
- KIM, H. H., GOINS, G. D., WHEELER, R. M., & SAGER, J. C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39(7), 1617-1622. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617>
- LIN, K. H., HUANG, M. Y., HUANG, W. D., HSU, M. H., YANG, Z. W., & YANG, C. M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002>

- MARQUARD, R. D. and J. L. TIPTON. (1987). Relationship between extractable chlorophyll and in situ method to estimate leaf greenness. *HortScience* 22, p. 1.327.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.22.6.1327>
- MASSA, G.D., KIM, H.H., WHEELER, R.M., MITCHELL, C.A., (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortSci* 43, 1951-1956.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
- MORROW, R.C., (2008). LED lighting in horticulture. *HortSci* 43, 1947-1950.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1947>
- NAFARRATE-HECHT, A. C. (2017). Estimación directa e indirecta del índice de área foliar (IAF) y su modelación con LiDAR en un bosque tropical seco de Yucatán (Doctoral dissertation, Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC, Mérida, Yucatán, México).
- NGUYEN, C. D., CREECH, M., XIANG, D., SANDOYA, G., KOPSELL, D., & HUO, H. (2022). Performance of Different Lettuce Cultivars Grown Hydroponically under Fluorescent and Light-emitting Diode Light Growth Conditions. *HortScience*, 57(11), 1447-1452. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16780-22>
- OHASHI-KANEKO, K., TAKASE, M., KON, N., FUJIWARA, K., & KURATA, K. (2007). Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environmental Control in Biology*, 45(3), 189-198.
<https://doi.org/10.2525/ecb.45.189>
- PARK, J. E., PARK, Y. G., JEONG, B. R., & HWANG, S. J. (2012). Growth and anthocyanin content of lettuce as affected by artificial light source and photoperiod in a closed-type plant production system. *Horticultural Science & Technology*, 30(6), 673-679.
<https://doi.org/10.7235/hort.2012.12020>
- PENNISI, G., ORSINI, F., BLASIOLI, S., CELLINI, A., CREPALDI, A., BRASCHI, I., ... & MARCELIS, L. F. (2019). Resource use efficiency of indoor lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation as affected by red: blue ratio provided by LED lighting. *Scientific reports*, 9(1), 14127. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50783-z>
- REHMAN, M., ULLAH, S., BAO, Y., WANG, B., PENG, D., & LIU, L. (2017). Light-emitting diodes: whether an efficient source of light for indoor plants?. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 24743-24752. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0333-3>
- RESCH, H.M. (1997). *Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de Producción*. Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, España. ISBN: 84-7114-641-X.
- SON, K. H., PARK, J. H., KIM, D., & OH, M. M. (2012). Leaf shape index, growth, and phytochemicals in two leaf lettuce cultivars grown under monochromatic light-emitting diodes. *Horticultural Science & Technology*, 30(6), 664-672.
<https://doi.org/10.7235/hort.2012.12063>
- SON, K. H., & Oh, M. M. (2015). Growth, photosynthetic and antioxidant parameters of two lettuce cultivars as affected by red, green, and blue light-emitting diodes. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56, 639-653.
<https://doi.org/10.1007/s13580-015-1064-3>
- THOMAS, T., BIRADAR, M. S., CHIMMAD, V. P., & JANAGOUDAR, B. S. (2021). Growth and physiology of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars under different growing systems. *Plant Physiology Reports*, 26(3), 526-534. <https://doi.org/10.1007/s40502-021-00591-3>
- WATSON, D. J. (1952). The physiological basis of variation in yield. *Advances in agronomy*, 4, 101-145. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60307-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60307-7)
- WHITTEN, K. W., DAVIS, R. E., PECK, M. L., & STANLEY, G. G. (2015). *Química* (10a. ed. --.). México D.F.: Cengage Learning

- ZHANG, X., HE, D., NIU, G., YAN, Z., & SONG, J. (2018). Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(2), 33-40
<https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3240>
- ZHOU, C., WANG, Q., LIU, W., LI, B., SHAO, M., & ZHANG, Y. (2022). Effects of red/blue versus white LED light of different intensities on the growth and organic carbon and autotoxin secretion of hydroponic lettuce. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 63(2), 195-205
<https://doi.org/10.1007/s13580-021-00394-3>

ANEXO

BIOMASA

Análisis de la Varianza (SC tipo III) Biomasa Aérea					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,66	1	7,66	2,05	0,2022
Tratamiento	7,66	1	7,66	2,05	0,2022
Error	22,44	6	3,74		
Total	30,1	7			
Análisis de la Varianza (SC tipo III) Biomasa Radicular					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,1	1	0,1	0,51	0,503
Tratamiento	0,1	1	0,1	0,51	0,503
Error	1,2	6	0,2		
Total	1,3	7			

Tabla 2. Análisis de la varianza aplicado a los resultados de biomasa aérea y radicular

ÍNDICE VERDE

Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14,99	1	14,99	7	0,0382
Tratamiento	14,99	1	14,99	7	0,0382
Error	12,84	6	2,14		
Total	27,83	7			

Tabla 3. Análisis de la varianza para el índice verde

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,53149					
Error: 2,1406 gl: 6					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
osram	28,05	4	0,73	A	
vic	30,79	4	0,73		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Tabla 4. Test de Tukey para la variable índice verde

ÁREA FOLIAR

Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	281250	1	281250	15,26	0,0079
Tratamiento	281250	1	281250	15,26	0,0079
Error	110551,5	6	18425,25		
Total	391801,5	7			

Tabla 5. Análisis de la varianza para Área Foliar

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=234,86050				
Error: 18425,2500 gl: 6				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
VIC	1828,25	4	67,87	A
Osram	2203,25	4	67,87	B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)				

Tabla 6. Test de Tukey para la variable Área Foliar