

Evaluación de distintos tipos de luces para la producción de acelga (*Beta vulgaris*) en un sistema hidropónico Indoor

Evaluation of different types of lighting for chard (*Beta vulgaris*) production in an indoor hydroponic system

Daniela Valentina Barría Lagos¹, Jorge Alberto Birgi^{1,2}, María Emilia Arregui¹, Pablo L. Peri^{1,2,3}, Verónica Gargaglione^{1,2,3}

dvalentina.bl@gmail.com; gargaglione.veronica@inta.gob.ar; birgi.jorge@inta.gob.ar

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

²INTA – EEA Santa Cruz

³CONICET

RESUMEN

La producción hortícola en regiones de clima extremo, como Río Gallegos, enfrenta desafíos debido a las bajas temperaturas, suelos poco fértiles y escasez de luz natural en invierno. En este contexto, los sistemas hidropónicos indoor surgen como una alternativa viable, permitiendo el control de variables ambientales clave. El presente estudio evaluó el efecto de dos tipos de iluminación LED en el rendimiento de acelga (*Beta vulgaris*) en un sistema hidropónico indoor. Se compararon dos sistemas de luces diferentes: luces LED específicas para cultivos (VIC LED Ht 5004) y luces LED de uso doméstico (OSRAM Floodlight 50 Ledvance), analizando su impacto en biomasa, índice verde, área foliar y concentración de nutrientes

Los resultados indicaron que las plantas cultivadas bajo luces VIC obtuvieron una mayor biomasa aérea (14,34 g/planta) en comparación con las expuestas a luces OSRAM (8,57 g/planta), aunque las diferencias no fueron significativas. En ambos tratamientos, el índice verde fue similar, sugiriendo un buen estado nutricional de las plantas. Asimismo, las plantas bajo luces VIC desarrollaron un mayor tamaño de hoja, mientras que las expuestas a luces OSRAM presentaron una mayor área foliar específica (AFE).

Este estudio demuestra que la producción de acelga en sistemas hidropónicos indoor produce buenos rendimientos y que las luces LED domésticas pueden ser una alternativa accesible, sin comprometer significativamente el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: Hidroponía, iluminación LED, biomasa, producción hortícola, Patagonia.

ABSTRACT

Horticultural production in extreme climate regions, such as Río Gallegos, faces challenges due to low temperatures, infertile soils, and a lack of natural light during winter. In this context, indoor hydroponic systems emerge as a viable alternative, allowing precise control over key environmental variables. This study evaluated the effect of two types of LED lighting on the yield of Swiss chard (*Beta vulgaris*) in an indoor hydroponic system. Two different lighting systems were compared: crop-specific LED lights (VIC LED Ht 5004) and household LED lights (OSRAM Floodlight 50 Ledvance), analysing their impact on biomass, chlorophyll index, leaf area, and nutrient concentration.



The results indicated that plants grown under VIC lights achieved greater aerial biomass (14,34 g/plant) compared to those exposed to OSRAM lights (8,57 g/plant), although the differences were not statistically significant. The chlorophyll index was similar in both treatments, suggesting an overall good nutritional status of the plants. Furthermore, plants under VIC lighting developed larger leaves, whereas those exposed to OSRAM lights exhibited a higher specific leaf area (SLA).

This study demonstrates that chard production in indoor hydroponic systems achieves good yields and that household LED lights can serve as an accessible alternative without significantly compromising crop performance.

Keywords: Hydroponics, LED lighting, biomass, horticultural production, Patagonia.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en Río Gallegos enfrenta múltiples desafíos debido a factores ambientales adversos, lo que ha llevado a una fuerte dependencia de productos hortícolas provenientes de otras regiones del país. Esta situación incrementa los costos y reduce la frescura de los alimentos disponibles (Pretty et al, 2005). Ante este escenario, resulta fundamental desarrollar estrategias de producción local que permitan reducir la dependencia externa y fomentar la soberanía alimentaria. En este contexto, el fortalecimiento de sistemas productivos adaptados a las condiciones climáticas de la región se vuelve una prioridad para garantizar un suministro constante de hortalizas frescas y de alta calidad (Altieri y Nicholls, 2012). La agricultura familiar en Santa Cruz se centra en cultivos hortícolas de hoja, como ser lechuga, acelga, albahaca y perejil y también se producen otros cultivos como papa, cebolla, ajo, zanahoria, aunque en menor proporción (Birgi et al, 2020). Estas actividades se desarrollan a pequeña escala y están destinadas principalmente al autoconsumo y a abastecer mercados locales. Los agricultores utilizan invernaderos para extender la temporada productiva, pero aun así enfrentan desafíos significativos como la falta de infraestructura adecuada y el acceso limitado al agua (Birgi et al, 2020).

Dado el contexto climático adverso que presenta el extremo sur de Patagonia, se requieren alternativas productivas innovadoras que tiendan a mejorar la producción hortícola de la zona. Una opción viable es la producción hidropónica indoor, que permite cultivar plantas sin suelo, utilizando una solución acuosa con nutrientes específicos. Este sistema se caracteriza por maximizar el uso eficiente del agua y los nutrientes, lo que resulta esencial en regiones con escasez de recursos hídricos (Beltrano y Gimenez, 2015). Al controlar parámetros como la temperatura, la humedad y la iluminación, se logra un crecimiento acelerado y cosechas de alta calidad. Este método, aunque conlleva una inversión inicial elevada y requiere agua de buena calidad, resulta particularmente efectivo en espacios reducidos o en áreas donde los suelos fértiles son limitados (Beltrano y Gimenez, 2015). La hidroponía presenta ventajas adicionales, como una menor incidencia de enfermedades y plagas, y una producción más sostenible al reducir el uso de agroquímicos (Urrestarazu Gavilan, 2015).

Otro factor que puede ser limitante en zonas de latitudes altas como es el caso de Río Gallegos, es la escasa cantidad de horas de luz que ocurren en invierno. Esto hace que, a pesar de contar con estructuras de protección como ser invernaderos, la producción no pueda realizarse en esta temporada debido a la falta de luz suficiente. En general, las plantas hortícolas se ven influenciadas por la intensidad de luz, que es la cantidad de energía de luz instantánea disponible.

Es sabido que la luz afecta la fotosíntesis, la cual es medida en moles/m²/ s y determina la radiación fotosintética activa [PAR] en la banda 400-700 nm (Leskovar, 2001). Para un desarrollo óptimo, la acelga requiere de luz abundante, con un fotoperíodo de al menos 12 a 14 horas diarias (Ruiz Velazco et al, 2024).

El uso de iluminación artificial LED permite brindar suplementación de luz como así también un control preciso de la calidad y cantidad de luz recibida por las plantas, lo que es crucial para su desarrollo óptimo (Gonzalías y Lasso, 2016). Existen en el mercado actual lámparas LED específicas para cultivo que permiten ajustar el espectro de luz según las necesidades de la planta, optimizando la fotosíntesis y mejorando el rendimiento y la calidad del cultivo. En regiones como Río Gallegos, donde el fotoperíodo se reduce drásticamente durante el invierno, el uso de iluminación artificial es fundamental para mantener la producción de hortalizas durante todo el año. Aunque las lámparas LED tienen un costo inicial más alto que las lámparas de sodio de alta presión, ofrecen ventajas significativas como una mayor eficiencia energética, menor emisión de calor y una vida útil más prolongada (Gonzalías y Lasso, 2016).

Existen antecedentes de producción de hortalizas de hoja bajo distintos tipos de luces en sistemas hidropónicos indoor, Por ejemplo, se han realizado estudios exitosos con hortalizas de hoja como lechuga y rúcula bajo distintos sistemas de iluminación en climas extremos, como en la Antártida Argentina (Birgi et al., 2023). Además, se ha evaluado la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo luces LED domésticas y específicas para cultivo, observándose que, aunque el rendimiento en biomasa no presentó diferencias significativas, las luces específicas de cultivo produjeron un mayor contenido de clorofila en las plantas (Arregui et al., 2023). Sin embargo, no existen antecedentes documentados sobre la producción de acelga en sistemas indoor con diferentes tipos de iluminación, lo que abre un área de investigación importante para mejorar la oferta local de esta hortaliza.

La acelga (*Beta vulgaris*), perteneciente a la familia de las amarantáceas, es una hortaliza de hoja bien adaptada a diversos tipos de cultivos y valorada por su alto contenido nutricional, especialmente en vitaminas A, C y K, así como en minerales como el hierro y el magnesio. Es una planta de crecimiento rápido, ideal para sistemas hidropónicos, y puede prosperar en condiciones controladas de temperatura y humedad. En climas fríos como los de Río Gallegos, donde la cantidad de luz natural disminuye significativamente durante el invierno, la suplementación con luces LED puede ser clave para mantener la producción y garantizar una cosecha continua y de alta calidad durante todo el año

El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento y la calidad de la producción de acelga en un sistema hidropónico indoor bajo dos tipos de luces LED: luces LED domésticas convencionales (Osram Floodlight 50 Ledvance), y luces LED específicas para cultivo (Sistema luces VIC LED Ht 5004), diseñadas para emitir un espectro ajustado a las necesidades fotosintéticas de las plantas. Se planteó la hipótesis de que, aunque ambos tipos de luces podrían permitir el crecimiento de acelga, las luces específicas para cultivo optimizarían la eficiencia fotosintética y producirían plantas de mayor calidad.

METODOLOGÍA



El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de la EEA INTA Santa Cruz, en la localidad de Río Gallegos, desde el 25 de abril al 18 de junio de 2024. Se utilizó un sistema hidropónico de lámina intermedia con recirculación de la solución nutritiva, dividido en dos tratamientos de iluminación artificial. Para evitar la influencia de la luz ambiental, ambos tratamientos se aislaron mediante cortinas black out, garantizando condiciones controladas de iluminación durante todo el ensayo, el fotoperiodo utilizado fue de 16 horas de luz y 8 de oscuridad.

Sistema de Iluminación

En el ensayo se compararon dos tipos de luces LED para evaluar su impacto en el crecimiento de la acelga:

1. Luz LED Doméstica Convencional (Osram Floodlight 50 Ledvance): esta luz proporciona un espectro de luz blanca fría, con un consumo de 50W, una tensión nominal de 100-240V y un ángulo de apertura de 100°. Su vida útil es de 30.000 horas, siendo una opción accesible para pequeños productores. Este tipo de luz emite un espectro completo que cubre desde los 400 nm hasta los 700 nm, lo que puede influir de manera diferencial en el desarrollo de las plantas.
2. Luz LED Específica para Cultivos (VIC LED Ht 5004): esta luz está diseñada para emitir un espectro optimizado en la región de radiación fotosintéticamente activa (PAR), con un voltaje de entrada de 120-277V y un consumo de 135W. Cubre un área de 80x80 cm y tiene una vida útil de más de 50.000 horas, proporcionando un espectro ajustado a los requerimientos fotosintéticos de las plantas, lo que podría mejorar el crecimiento y la calidad de la acelga.

Ambos tratamientos estuvieron conformados por 4 lámparas dispuestas en hileras a una distancia de 42 cm de los cajones hidropónicos.

Sistema Hidropónico y Solución Nutritiva

El sistema hidropónico consistió en cuatro cajones de producción por cada tratamiento, con dimensiones de 40x30x12 cm, diseñados para alojar cuatro plantas cada uno, lo que permite una densidad de plantación óptima para el crecimiento de la acelga. La solución nutritiva utilizada durante todo el ensayo se almacenó en un tanque de 400 litros y fue recirculada hacia los cajones mediante una bomba centrífuga. El suministro de la solución a los cajones se realizó a través de microtubos y el exceso de solución se drenaba de vuelta al tanque mediante tubos de retorno, asegurando así un flujo constante y recirculante de los nutrientes. La formulación de la solución nutritiva se basó en la propuesta por Resch (1997), adaptada para cultivos de hojas, garantizando el aporte adecuado de macro y micronutrientes esenciales para el desarrollo del cultivo. La composición química de la solución utilizada le brindó al cultivo la cantidad de nutrientes detallada en la Tabla 1. El agua utilizada para el armado de la solución fue agua de red apta para consumo humano, con un valor de pH de 7,0 a 15,5 grados de temperatura.

Tabla 1. Composición química de la solución nutritiva utilizada en el ensayo para el cultivo de acelga (Beta vulgaris) utilizada en el presente ensayo.

Nutriente	Concentración (mg L ⁻¹)
NO ₃ ⁻	165,1
PO ₄ ³⁻	73



K	210,2
Ca	191,7
Mg	50
SO₄²⁻	67,9
Fe	5
Mn	0,5
Cu	0,1
Zn	0,1
B	0,5
Mo	0,02

Estas concentraciones de nutrientes se lograron mediante el agregado de los siguientes fertilizantes: nitrato de calcio (138,4 g), nitrato de potasio (192 g), sulfato de magnesio (208,4 g), NPK (13-40-13 + mix micronutrientes, 166,8 g), boro líquido (1,54 ml), manganeso líquido (2,21 ml), hierro calidad EDTHA (37,7 g), sulfato de cobre (0,06 g) y calcio líquido (384 ml).

Mediciones ambientales

La cantidad de luz fotosintéticamente activa (LUZ PAR) emitida por cada sistema de lámparas fue medida utilizando una barra PAR marca Apogee Model MQ-301

Durante el experimento, se realizó un monitoreo continuo de los parámetros ambientales y de la solución nutritiva para asegurar condiciones óptimas para el cultivo. La temperatura ambiente se controló mediante un sistema de data logger (Decagon Device Em 5b), que registraba la temperatura del aire cada hora, permitiendo identificar fluctuaciones y ajustar el ambiente si era necesario. Además, se controlaron diariamente parámetros críticos de la solución nutritiva, como la conductividad eléctrica y el pH, utilizando un pH-metro/conductímetro Martini Instruments® modelo Mi 806. Se mantuvo el pH en un rango de 5,8 a 6,2 y la conductividad entre 2 y 2,4 mS/cm, realizando correcciones en el pH y CE cuando fue necesario, para las cuales se utilizó el agregado de gotas de hidróxido de sodio (NaOH) al 23 % en p/v cuando se tuvo que aumentar pH, y ácido fosfórico comercial en el caso que fuera necesario disminuir pH. Asimismo, para disminuir la CE de la solución nutritiva se agregó agua destilada y en caso de que el monitoreo de la solución nutritiva diera valores inferiores a 2,0 mS/cm, la misma fue recambiada por solución nutritiva nueva.

Cultivo de las plantas

El 25 de abril de 2024 se sembraron un total de 112 semillas de acelga en cubos de espuma fenólica, que fueron dispuestos en 2 bandejas plásticas de 53 x 26 cm. Se utilizó agua destilada para la germinación, garantizando un ambiente libre de impurezas. Se colocó una bandeja bajo cada sistema de iluminación desde el inicio del tratamiento, para asegurar que las plántulas recibieran el tratamiento de luz correspondiente desde la germinación. Después de 20 días de crecimiento, se seleccionaron 16 plantines homogéneos de cada tratamiento de luz para ser trasplantados al sistema hidropónico, donde continuaron su desarrollo durante 33 días adicionales hasta alcanzar la etapa de cosecha (Figura 1).

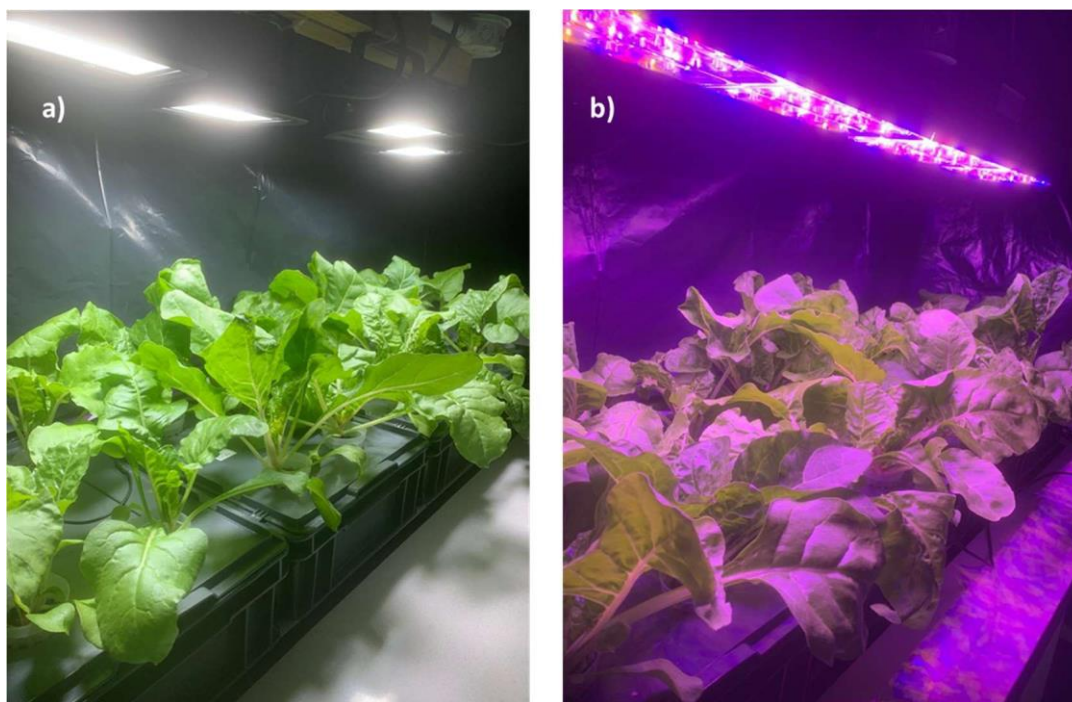


Figura 1. Plantas de acelga luego de 21 días de crecimiento bajo el tratamiento a) OSRAM y b) VIC.

Diseño Experimental y mediciones en plantas

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con cuatro repeticiones por tratamiento y cuatro plantas por repetición. Los dos tratamientos de iluminación fueron: Tratamiento 1 (T1) con luz LED doméstica convencional y Tratamiento 2 (T2) con luz LED específica para cultivos. A los 21 días de haber sido trasplantadas al sistema hidropónico, se comenzó con la medición del índice verde de cada planta utilizando un medidor portátil de clorofila Minolta SPAD 502, que proporciona un valor de 0 a 199 en unidades SPAD, indicando el contenido relativo de clorofila, se midió en punta, centro y base de una hoja elegida al azar de cada planta y posteriormente se promedió el valor por planta. Esta medición se realizó una vez por semana hasta la finalización del ensayo.

Luego de transcurridos 26 días en el sistema hidropónico, se cosecharon todas las plantas y se separaron en partes aéreas (hojas y pencas) y radicales y se obtuvo su peso fresco con una balanza digital granataria. Posteriormente se separaron las hojas de una planta por repetición por tratamiento y se escanearon utilizando un escáner HP 300, para luego analizar el área foliar mediante el software IMAGE J, permitiendo obtener medidas precisas del área foliar (AF). A partir de estos datos, se calculó el Área Foliar Específica (AFE) utilizando la fórmula:

$$AFE = \frac{AF(cm)}{peso\ seco\ (g)}$$

Las muestras fueron posteriormente deshidratadas en una estufa a 60 °C durante 48 horas para determinar su peso seco. Posterior al secado, se tomaron submuestras que fueron molidas con un molino de cuchillas KN 195 FOSS, y luego fueron enviadas al laboratorio de IADIZA-CONICET, Mendoza, para realizar análisis químicos y determinar la concentración de nitrógeno, fósforo,

potasio, calcio y magnesio en hojas. El contenido de N se determinó mediante la técnica de Kjeldhal, y el contenido de P, K, Ca y Mg se determinaron por espectrometría de emisión atómica por plasma inducido (Shimadzu ICPS – 1000 III - Japón), con nebulización convencional según Norma EPA 200, previa digestión húmeda con mezcla nítrico/perclórico (rel. 2:1) en caliente (235 °C) a reflujo durante 3 horas. Los valores de concentración se expresan en porcentaje (g de nutrientes/g de materia seca x 100).

Análisis de Datos

Los valores de biomasa, área foliar e índice verde fueron analizados utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2020). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para detectar diferencias significativas en estas variables según los tratamientos de luz. En caso de encontrar diferencias significativas, las diferencias entre medias se compararon mediante el test de Tukey, con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

RESULTADOS

La cantidad de luz medida fue de 221,75 y 186 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ para los tratamientos VIC y OSRAM respectivamente (Figura 2). Para los dos casos el flujo fotónico se mantuvo por encima del valor óptimo.

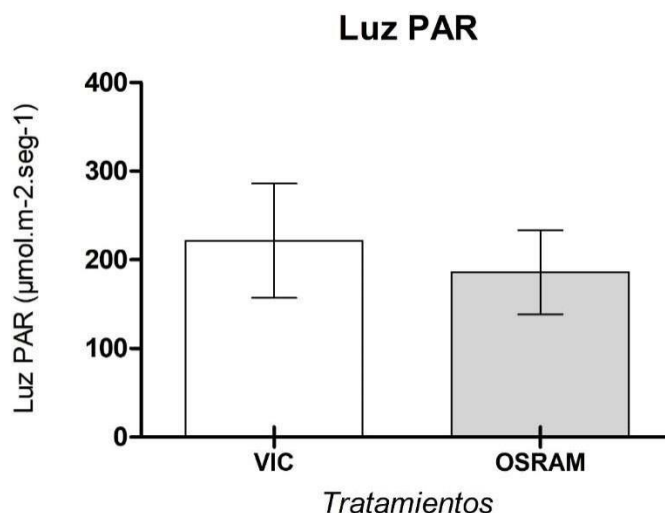


Figura 2. Luz PAR emitida por cada tratamiento medida en $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Las temperaturas medias del aire durante el período del ensayo fueron de 23,8 y 23,7 °C para los tratamientos VIC y OSRAM respectivamente. La temperatura mínima diaria registrada para el tratamiento VIC fue de 18,7 y para OSRAM 18,3 °C, mientras que la máxima para ambos tratamientos resultó ser de 29,5°C (Figura 3).

Temperatura diaria media

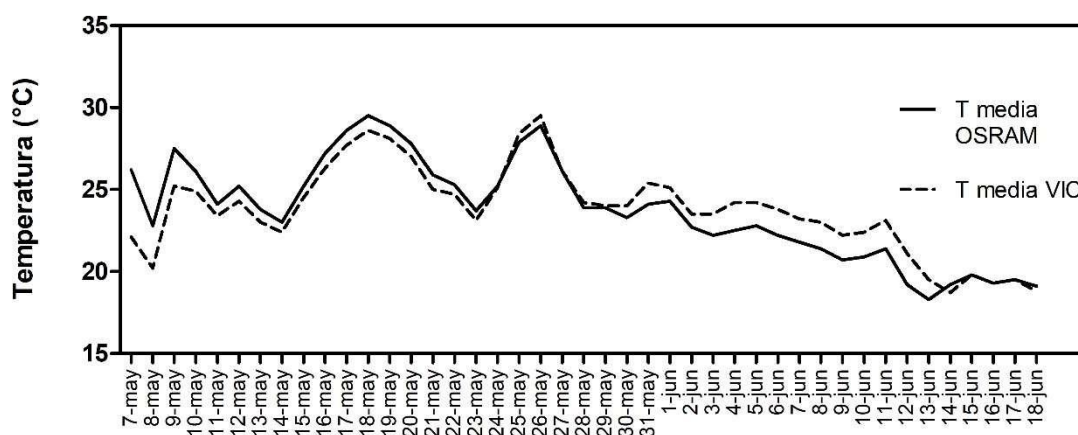


Figura 3. Temperatura media del aire durante el período de cultivo de acelga evaluado bajo los distintos tratamientos.

El peso fresco medio obtenido para las plantas de acelga fue de 307,32 y 204,64 g/planta para el tratamiento VIC y OSRAM, respectivamente. La biomasa total aérea seca producida por las 16 plantas fue de 229,40 g para VIC y 137,03 g para OSRAM, con un valor medio de 14,34 g/planta para VIC y 8,57 g/planta para OSRAM (Figura 4a). En cuanto a la biomasa radicular total, ésta fue de 21,18 g y 12,42 g para VIC OSRAM, respectivamente, con un promedio por tratamiento de 1,33 g/planta para VIC y 0,78 g/planta para OSRAM (Figura 4b).

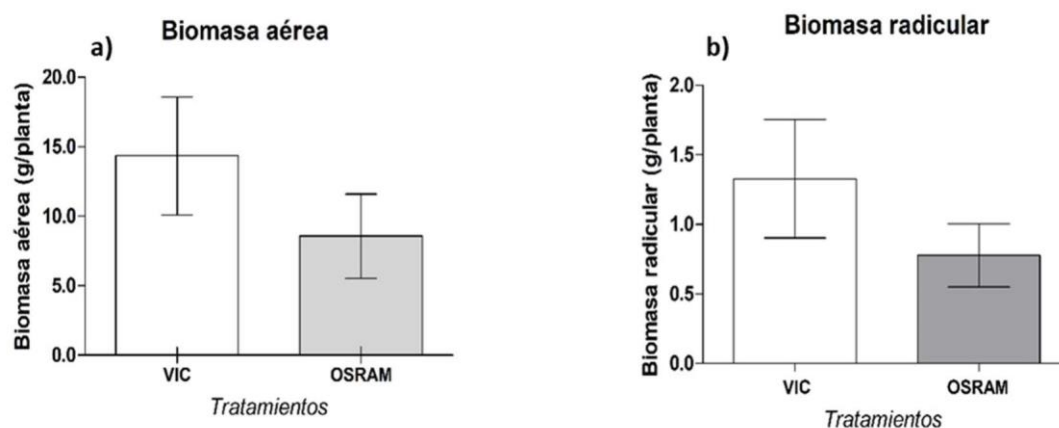


Figura 4. Biomasa seca aérea y biomasa radicular de acelga, medida en gramos por planta, que se obtuvo bajo los tratamientos de luces tipo VIC y OSRAM. Las barras verticales indican el desvío estándar de la media.

En ambos casos se observa que la biomasa fue mayor en aquellas plantas crecidas bajo el tratamiento VIC, aunque estas diferencias no fueron significativas, obteniendo un p-valor = 0,0686 para biomasa aérea y 0,0761 para el de raíces.

Con respecto al indicador de clorofila, las plantas acelga que crecieron bajo el tratamiento VIC presentaron 31,48 unidades SPAD, mientras que las plantas que lo hicieron bajo el tratamiento

OSRAM obtuvieron un valor de 30,5 unidades SPAD (Figura 5), aunque estas diferencias no fueron significativas (p -valor = 0,4290).

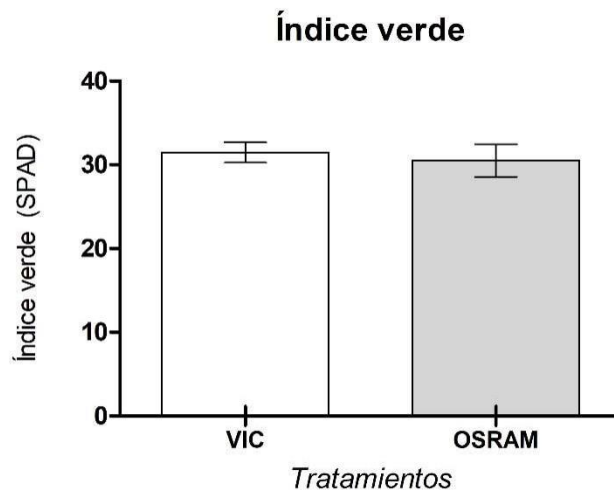


Figura 5. Índice verde, indicador de contenido de clorofila, expresado en unidades SPAD para ambos tratamientos. Las barras verticales indican el desvío estándar de la media.

El área foliar fue mayor para el tratamiento VIC, para el cual se obtuvo un valor promedio de 2511,45cm² por planta, mientras que para el tratamiento OSRAM el promedio resultó ser de 2005,45cm² (Figura 6a). En cuanto al área foliar específica, ésta resultó ser mayor para el tratamiento OSRAM con 333,84cm²/g y 309,56cm²/g para VIC (Figura 6b).

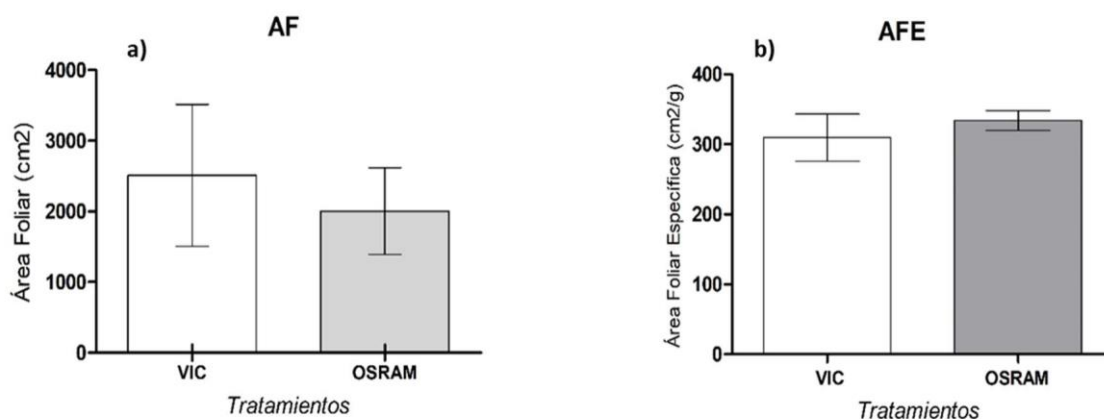


Figura 6. a) Área foliar total (AF) y b) área foliar específica (AFE) de plantas de acelga creciendo en distintos tratamientos de luces. Las barras verticales indican el desvío estándar de la media.

En cuanto a la concentración media de macronutrientes en las hojas de acelga, los resultados indicaron que el contenido de nitrógeno (N %) fue de 5,09% y 4,96 %, para VIC y OSRAM, respectivamente. Con respecto al contenido de fósforo (P %), las hojas obtuvieron 0,6 y 0,76% de concentración de P para VIC y OSRAM, respectivamente. En relación al potasio (K %), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0,0240$), las plantas cultivadas bajo iluminación VIC presentaron valores del 8,11%, en comparación con aquellas expuestas a luces OSRAM 7,82%. Al evaluar el contenido de calcio (Ca %), en VIC fue de 0,59% y en OSRAM 0,84%. Finalmente, el contenido de magnesio (Mg %) para el tratamiento VIC resultó ser de 0,61% y para el tratamiento OSRAM 0,63% (Figura 7).

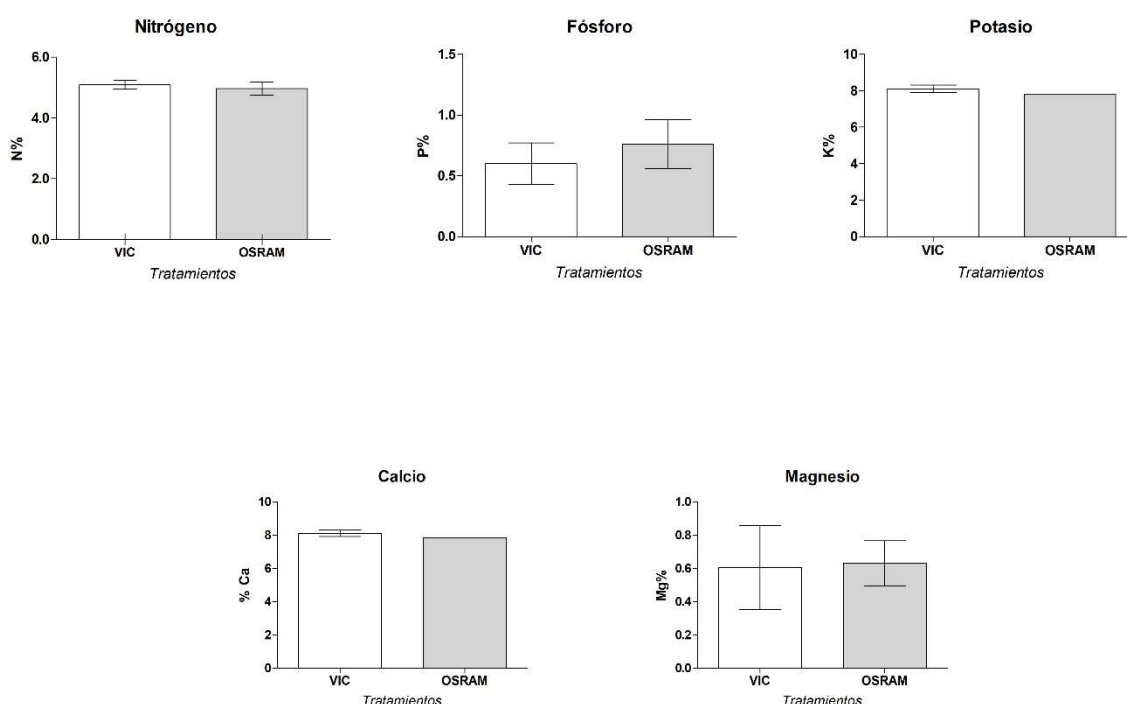


Figura 7. Concentración de nutrientes en hojas de acelga, expresada en %, para plantas creciendo bajo dos tratamientos de luces (VIC luces de cultivo vs. OSRAM, luces domésticas convencionales). Las barras verticales indican el desvío estándar de la media.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio mostraron que las plantas cultivadas bajo luces específicas para cultivos (VIC LED Ht 5004) produjeron una mayor biomasa aérea en comparación con aquellas expuestas a luces LED domésticas (OSRAM). Sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas, lo que sugiere que las luces LED domésticas también pueden ser una opción viable para la producción de estas hortalizas. Estos hallazgos coinciden con los de Arregui et al. (2023), quienes al evaluar la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo estos mismos sistemas de iluminación tampoco encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

En cuanto a la biomasa aérea obtenida en este estudio, los valores registrados para acelga fueron 14,34 y 8,57 g/planta para los tratamientos VIC y OSRAM respectivamente. Estos valores fueron superiores a las reportadas por Arellano González (2020), quien obtuvo 1,9 g/planta en su sistema hidropónico y 1,4 g/planta en el acuapónico, utilizando solo luz natural. Estas diferencias podrían deberse al factor iluminación, el uso de luces LED pudo haber optimizado la fotosíntesis y el crecimiento de la acelga en comparación con la luz natural, o bien pudo deberse a diferencias en la nutrición o variedad estudiada.

El índice verde, utilizado como indicador indirecto del estado nutricional de las plantas, se mantuvo en valores similares entre ambos tratamientos, lo que sugiere un buen nivel nutricional general. Estos resultados contrastan con los de Arregui et al. (2023), quienes observaron que las plantas de lechuga cultivadas bajo luces VIC presentaban un mayor contenido de clorofila en comparación con aquellas expuestas a luces domésticas. Esta diferencia podría atribuirse a variaciones en la respuesta de cada especie, ya que algunas hortalizas, como la lechuga, podrían ser más sensibles al espectro lumínico en comparación con otras, como la acelga, la cual mostró un buen desarrollo en ambos tipos de iluminación. Estudios de Estrada Orozco (2020) quien realizó producción de acelga en sistemas aeropónicos en invernadero bajo 3 tratamientos, dos de luz LED 150w a 24 h de luz (T1) y 16 h (T2) y el tercer tratamiento únicamente bajo luz natural (T3) los promedios del índice verde de las plantas de acelga fueron T1=34,74 unidades SPAD, T2=31,54 unidades SPAD y T3=28,54 unidades SPAD, los resultados obtenidos bajo luz artificial fueron similares a los obtenidos en este trabajo, dado que el tratamiento VIC presentó 31,48 unidades SPAD y las plantas bajo el tratamiento OSRAM obtuvieron un valor de 30,5 unidades SPAD.

Respecto al desarrollo foliar, en este estudio se observaron diferencias en el AF y AFE entre tratamientos, un mayor AF implica una superficie mayor para la captura de luz y la realización de la fotosíntesis, lo que puede traducirse en un aumento en la acumulación de biomasa y, potencialmente, en el rendimiento del cultivo. Por otro lado, el AFE proporciona información sobre la eficiencia en la construcción de hojas: un AFE elevado indica hojas más delgadas y livianas, lo que puede ser una estrategia para maximizar la superficie fotosintética con menor inversión de recursos. Por ello, la combinación de un AF alto con un AFE equilibrado es fundamental para optimizar tanto el crecimiento vegetativo como la productividad final del cultivo, permitiendo un mejor aprovechamiento de la energía lumínica disponible. Las plantas cultivadas bajo luces VIC presentaron un AF superior, lo que indica una mayor capacidad de interceptación de luz. En contraste, las plantas bajo luces OSRAM mostraron un AFE mayor, lo que sugiere hojas más delgadas y livianas por unidad de área. Este comportamiento es similar al descrito por Casierra-Posada et al. (2014), quienes estudiaron diferentes filtros de luz en cultivo de acelga en un invernadero, utilizando luz natural y filtros de polipropileno de diferentes colores (azul, rojo, amarillo, verde y transparente), quienes encontraron que la luz amarilla favoreció un aumento en el AF, mientras que los filtros azul y verde limitaron su desarrollo. Las diferencias observadas en la biomasa, AF y AFE entre ambos estudios pueden deberse a varios factores, entre ellos la fuente lumínica utilizada, la intensidad de la luz y el tipo de sistema de cultivo. Mientras que en el presente estudio se trabajó en un sistema hidropónico indoor con iluminación artificial controlada, el estudio de Casierra-Posada et al. (2014) utilizó luz natural filtrada a través de coberturas de diferentes colores, lo que pudo generar variaciones en la intensidad y composición espectral de la luz recibida por las plantas. Estos resultados confirmarían que la calidad de la luz afecta el crecimiento de la acelga, impactando directamente en la biomasa acumulada y el

desarrollo foliar. Sin embargo, las diferencias en los métodos experimentales dificultan la comparación directa entre ambos estudios.

CONCLUSIÓN

El presente estudio demuestra que la producción de acelga (*Beta vulgaris*) en sistemas hidropónicos indoor es viable y es una opción a considerar en regiones con condiciones ambientales adversas. Si bien el uso de luces LED específicas para cultivos (VIC LED Ht 5004) produjo mayor contenido de biomasa aérea, las luces LED domésticas (OSRAM Floodlight 50 Ledvance) también permitieron obtener rendimientos aceptables, sugiriendo su potencial como alternativa accesible.

El análisis nutricional mostró diferencias en la acumulación de macronutrientes según el tipo de iluminación, destacándose un mayor contenido de potasio (K) en las plantas expuestas a luces VIC. Estos hallazgos resaltan la importancia de optimizar la iluminación en cultivos hidropónicos para maximizar la eficiencia fotosintética y la calidad del producto final.

Se recomienda profundizar en estudios que evalúen otros espectros lumínicos y su impacto en la eficiencia energética, fisiología de la planta y composición nutricional, con el fin de optimizar la producción en sistemas controlados.

BIBLIOGRAFÍA

- ALTIERI, M. A., & NICHOLLS, C. I. (2012). Agroecology scaling up for food sovereignty and resiliency. *Sustainable agriculture reviews: Volume 11*, 1-29.
- ARELLANO GONZÁLEZ, D. I. (2020). Comparación productiva entre sistemas acuapónicos e hidropónicos a partir de la combinación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y acelga (*Beta vulgaris* var. cicla).
- ARREGUI, M.E., GARGAGLIONE, V., BIRGI, J. 2023. Producción de lechuga (*Lactuca sativa*) en hidroponía en sistema Indoor con luces artificiales. *Informes Científicos Técnicos-UNPA*, 15 (5), 13-29. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v15.n5.1039>
- 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 (Tesis de Maestría presentada en la Facultad de Agronomía y Agroindustria, Universidad Nacional de Santiago del Estero).
- BIRGI, J. A., PERI, P. L., CECONELLO, 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>
- BIRGI, J. A., GARGAGLIONE, V., PERI, P. L., ARAUJO PRADO, C. I., DÍAZ, B. G., GONZALEZ, L., GESTO, E., HALLAR, K., LAGUÍA, D., SOFÍA, O., DÍAZ, M. (2023).



Módulo Antártico de Producción Hidropónica: primeros resultados del cultivo en la Antártida Argentina. Informes Científicos Técnicos - UNPA, 15(3), 348–364.
<https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v15.n3.993>

- CASIERRA-POSADA, F., ZAPATA-CASIERRA, E., & CHAPARRO-CHAPARRO, D. A. (2014). Growth analysis in chard plants (*Beta vulgaris* L. Cicla, cv.'Pencas Blancas') exposed to different light quality. *Agronomía Colombiana*, 32(2), 205-212.
- 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.
- DI RIENZO, J. A., CASANOVES, F., BALZARINI, M. G., GONZALEZ, L., TABLADA, M., & ROBLEDO, C. W. (2020). InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- ESTRADA OROZCO, J. A. (2020). 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.
- GONZALÍAS, Y. R., & LASSO, E. R. (2016). Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores-Vertical Farming (VF). *Informador técnico*, 80(2), 111-120.
- LESKOVAR, DANIEL IVAN. (2001). Producción y ecofisiología del transplante hortícola. Texas A y University, p. 21-24.
- PRETTY, J. N., BALL, A. S., LANG, T., & MORISON, J. I. (2005). Farm costs and food miles: An assessment of the full cost of the UK weekly food basket. *Food policy*, 30(1), 1-19.
- RESCH, H.M. (1997). Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de Producción. Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, España. ISBN: 84-7114-641-X.
- RUIZ-VELAZCO, J. M., PAZ-RODRIGUEZ, G. D. L., HERNANDEZ-LLAMAS, A., & ESTRADA-PEREZ, N. (2024). Producción de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla L.) en sistemas hidropónicos y acuapónicos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 11(1).
- URRESTARAZU GAVILAN, MIGUEL. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Ediciones Mundi-Prensa.