

Universidad Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
**Efecto de dos Tipos de Luces LED en *Vitro* Plantas de Camote (*Ipomoea*
batatas (L.) Lam) en Etapa de Multiplicación**

Estudiante

Roxana María Martínez Pérez

Asesores

María Alexandra Bravo, M.Sc.

Cinthyia Martinez, MAE

Honduras, noviembre 2025

Autoridades

KEITH L. ANDREWS

Rector a.i.

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos.....	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos	14
Localización del Estudio	14
Experimento Preliminar	14
Material Vegetal.....	14
Medio de Cultivo.....	15
Incubación.....	16
Tratamientos Evaluados.....	16
Variables Evaluadas	18
Número de Hojas por Explante.....	18
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	18
Revisión de Literatura	18
Estrategia de Búsqueda	18
Criterios de Inclusión y Exclusión.....	18
Resultados y Discusión.....	19
Experimento Preliminar	19
Revisión de Literatura	20
La Luz y las Plantas.....	20
La Luz y las Plantas in vitro.....	20

Lámparas Fluorescentes (FL).....	21
Lámparas de Sodio de Alta Presión (HPSL)	21
Lámparas LED Fluence Ray 22.....	22
Conclusiones	26
Recomendaciones.....	27
Referencias.....	28
Anexos.....	31

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Medio basal de Murashige y Skoog (MS) (1962) modificado para la multiplicación in vitro de camote (<i>Ipomoea batata</i> (L.) Lam).	16
Cuadro 2 Análisis estadístico de la diferencia del efecto de dos tipos de luces LED en vitro plantas de camote (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam) en el número de hojas por explante en etapa de multiplicación.	19

Índice de Figuras

Figura 1 Multiplicación in vitro de camote. A- Vitroplanta de camote en etapa de multiplicación, B- Remoción de hojas y raíces, C y D- Separación en segmentos nodales, E-Segmentos nodales en el medio de cultivo estéril, F- Contenedor listo para incubación.....	15
Figura 2 Sistema de iluminación instalado en el área de crecimiento del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Universidad Zamorano, Honduras. A. Lámparas LED de Fluence Ray 22, B. Atenuadores del sistema Fluence, C. Focos LED Osram para uso doméstico	17

Índice de Anexos

Anexo A Cronograma de actividades	31
Anexo B Toma de datos n° 1.	32
Anexo C Toma de datos n° 2.	33
Anexo D Toma de datos n° 3:.....	34
Anexo E Toma de datos n°4:	35

Resumen

La propagación *in vitro* es una técnica que permite la multiplicación de plantas en condiciones físicas y ambientales controladas dentro de un laboratorio. Los objetivos de este estudio fueron evaluar el efecto de fuentes de luz LED: domésticas y lámparas LED diseñadas específicamente para el cultivo de plantas *in vitro* en el crecimiento *in vitro* de plantas de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) y realizar una revisión de literatura sobre estas lámparas y su uso en micropropagación. El estudio se realizó en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria, de la Universidad Zamorano, Honduras, en los meses de mayo a septiembre del 2025. Se utilizó camote variedad Bushbock en etapa de multiplicación *in vitro* subcultivo cuatro y se realizó una revisión de literatura con la ayuda de la plataforma de Google Scholar y la Biblioteca Wilson Popenoe. Se usó un diseño completo al azar, con dos tratamientos. Se establecieron 25 repeticiones por tratamiento. Para un total de 50 unidades experimentales. Los datos colectados se evaluaron mediante la prueba t de Student <0.05 . Los resultados del experimento de camote indicaron que no se encontraron diferencias estadísticas entre usar lámparas LED y el uso de LED doméstica en el promedio de número de hojas *in vitro* en plantas de camote. En laboratorios de micropropagación la luz representa uno de los factores ambientales más importantes. Actualmente, se está implementando el uso de lámparas LED, pues influyen positivamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Palabras clave: camote, fotoperiodo, lámparas LED, micropropagación, propagación *in vitro*.

Abstract

In vitro propagation is a technique that allows the multiplication of plants under controlled physical and environmental conditions within a laboratory. The objectives of this study were to evaluate the effect of LED light sources: domestic and LED lamps specifically designed for in vitro plant cultivation on the in vitro growth of sweet potato plants (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) and to carry out a literature review on these lamps and their use in micropropagation. The study was carried out in the Tissue Culture Laboratory of the Department of Agricultural Science and Production, Zamorano University, Honduras, from May to September 2025. Bushbock variety sweet potato was used in the in vitro multiplication stage subculture four and a literature review was carried out with the help of the Google Scholar platform and the Wilson Popenoe Library. A completely randomized design was used, with two treatments. 25 replicates were established per treatment, for a total of 50 experimental units. The data collected were evaluated using the Student t test <0.05 . The results of the sweet potato experiment indicated that no statistical differences were found between using LED lamps and using a domestic LED in the average number of in vitro leaves in sweet potato plants. In micropropagation laboratories, light represents one of the most important environmental factors. The use of LED lamps is currently being implemented, as they positively influence plant growth and development.

Keywords: in vitro propagation, LED lamps, micropropagation, photoperiod, sweet potato.

Introducción

El cultivo de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) es originario de América, sin embargo, su país de origen aún es un debate para los investigadores de este cultivo, en estudios recientes se ha demostrado que en Mesoamérica es donde se encuentra la diversidad genética más alta de la especie, esto debido a la domesticación que se le dio en sus inicios, comprendiendo desde el Amazonas y llegando hasta las tierras bajas de México habitadas por pueblos mayas (Ruvalcaba, 2021). Este cultivo representa uno de los tubérculos más importantes en la actualidad, ocupando el tercer lugar a nivel mundial, sin embargo, aunque es originario en América Latina su producción en estos países apenas logra alcanzar un porcentaje del 4% (Cobeña et al., 2017). Asia es la región que se encuentra entre los mayores productores de camote, que supera los 80 millones de toneladas a nivel mundial, siendo China el país con más producción y consumo de tubérculos a nivel mundial (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2017)

Honduras se encuentra dentro de los 10 exportadores de camote a nivel mundial, ya que, gracias a las condiciones climáticas óptimas que posee para este cultivo, se logra tener producción de camote durante todo el año, las exportaciones anuales promedio de camote son de 15,000 toneladas. Para el año 2018 se presentó un incremento de mil toneladas métricas en comparación con el año 2017, Honduras cuenta con un área de cultivo de 1500 hectáreas, con un rendimiento de 52-54 toneladas por hectárea (Cartagena, 2019). Para el año 2019, en América Latina y el Caribe, se produjo por séptima vez consecutiva un incremento del 4,5%, alcanzando los 3,1 millones de toneladas en producción, mostrándose un aumento del 4,0% en tasa anual entre los años 2013-2019 (IndexBox, 2021)

La micropropagación consiste en la propagación de plantas bajo condiciones controladas de laboratorio y haciendo uso de un medio de cultivo que contenga los nutrientes necesarios para el cultivo, además en dicho medio se pueden agregar hormonas con el objetivo de inducir callogenesis. Uno de los principales puntos de fortaleza de esta técnica es la totipotencia, ya que, a partir de una

diminuta fracción de tejido se pueden obtener plantas completamente desarrolladas, lo cual, es algo que ha sido muy utilizado por la ciencia y ha permitido poder tener un avance genético en la agricultura de manera sostenible (Olmos, 2023).

La técnica de propagación *in vitro* tiene muchas ventajas, entre ellas están las siguientes: permite obtener un mayor número de individuos en comparación con la utilización de técnicas de multiplicación tradicional, garantiza que los individuos resultantes se encuentren libres de patógenos como son virus y enfermedades (Intriago et al., 2020), otra de sus ventajas es que permite la propagación de plantas en un menor tiempo y a grandes escalas, así como también, la conservación de especies que se encuentran en peligro de extinción (Olmos, 2023).

Actualmente, muchas empresas hacen uso de esta técnica con el objetivo de garantizar plantas de mejor calidad genética y fitosanitaria (Intriago et al., 2020), además, la micropropagación hoy en día se considera un potencial nicho de mercado, convirtiéndose en una industria de miles de millones de dólares que se encuentra en constante crecimiento, permitiendo a los consumidores finales tener una mayor accesibilidad a plantas que antes eran más difíciles de acceder debido a su alto valor y precio (Gómez, 2024). La planta de camote puede reproducirse de tres maneras: de los esquejes de la planta, de una semilla bótanic o de raíces verdaderas reservantes, es decir, se puede reproducir de manera sexual, a través de semillas, o también por reproducción asexual, como es por esquejes y raíces verdaderas (CIP, 2016).

La luz influye en procesos de morfogénesis y fotosíntesis, sin embargo, existen otros factores que también inciden, tales como, intensidad, calidad respecto a la colorimetría o longitud de onda, y, también duración de luz, estos factores son percibidos por los órganos de las plantas encargados del proceso de fotosíntesis. La luz se encuentra dentro de la longitud de onda visible y cumple con dos funciones primordiales en el desarrollo de las plantas, estas son: actúa como fuente energética para que la planta pueda realizar eficientemente el proceso de fotosíntesis, y, estimula procesos de crecimiento y floración (Casierra-Posada y Peña-Olmos, 2015).

Durante años en laboratorios de cultivo de tejidos se han utilizado lámparas de luz fluorescente debido a que poseen un rango amplio de longitud de onda (350 a 750 nm), sin embargo, este rango no resulta muy útil, ya que, su longitud de onda se centra más en la región verde y azul, mientras que para la región de rojo y rojo lejano presenta una baja densidad, afectando negativamente la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), alcanzando niveles PAR de apenas 20-30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{segundo}$ (Saeedi et al., 2023).

Las lámparas de luz fluorescentes tienen muchas desventajas entre ellas se encuentran la poca disponibilidad que poseen para poder tener control sobre el nivel de intensidad y composición de los espectros de luz emitidos, resultando en un problema serio debido a que las necesidades lumínicas de las plantas varían de acuerdo a su etapa de desarrollo. Otra de sus desventajas es su baja eficiencia energética, dando como resultado elevados costos de producción para los laboratorios de cultivos de tejidos, así como también, afectaciones en el desarrollo debido al calor emitido por el uso de luces fluorescentes (Saeedi et al., 2023).

Es por esta razón que se han buscado alternativas que contrarresten estas limitantes y permitan obtener plantas de mejor calidad, una de ellas es el uso de lámparas LED (diodo emisor de luz), las cuales, poseen un gran número de ventajas como es la radiación de longitudes de onda específicas para procesos de fotosíntesis, también, el consumo energético es menor (reducción en un 60% costos de producción), permiten un mayor control en el ajuste de intensidad y calidad de luz emitida, cuentan con una larga vida útil (Murillo et al., 2016). Se ha demostrado que la vida útil de estas lámparas puede llegar hasta los 8 años, otra ventaja que la distingue son los requerimientos de horas luz, con luces fluorescentes el requerimiento es de 16 horas, mientras que con luces LED solo se necesitan de 12 horas luz, además, este tipo de luz no es generadora de calor, lo cual, permite que las plantas en incubación se encuentren en condiciones óptimas y sin estrés (Singh, 2023).

La luz LED presenta ondas de luz específicas, como el azul y rojo (solos o combinados) muestran una influencia positiva en el desarrollo de las plantas, mientras que la luz LED roja se asocia

con el crecimiento de entrenudos, asimismo, la luz LED azul estimula la inducción de un mayor número de brotes laterales y hojas, es por esta razón, que el uso de lámparas LED resulta más favorable porque se centra en longitudes de onda específicas y necesarias para el proceso de fotosíntesis, resultando en una mayor eficiencia en el uso de recursos y menos costos (Murillo et al., 2016).

Los objetivos de este estudio fueron: evaluar el efecto de fuentes de luz LED: domésticas y lámparas LED diseñadas específicamente para el cultivo de plantas *in vitro* en el crecimiento *in vitro* de plantas de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam); y realizar una revisión de literatura sobre estas lámparas y su uso en micropropagación.

Materiales y Métodos

Localización del Estudio

El estudio se realizó en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos Vegetales del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria, de la Universidad Zamorano, Honduras, durante mayo a septiembre del 2025.

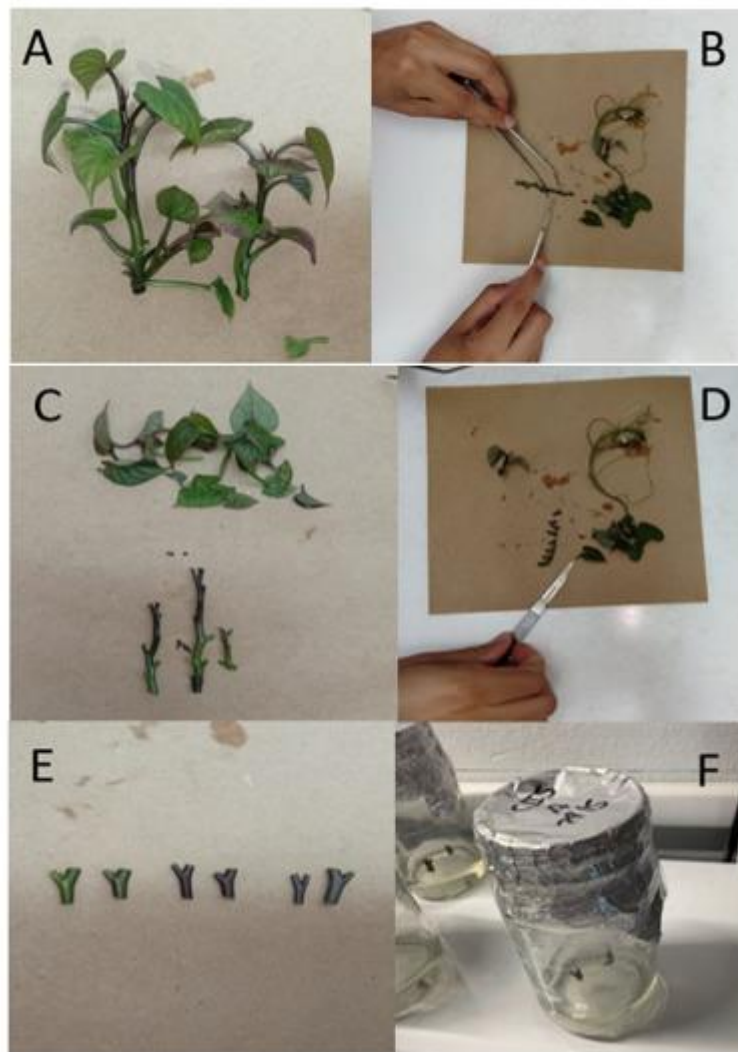
Experimento Preliminar

Material Vegetal

Se utilizó camote variedad Bush bock en etapa de multiplicación *in vitro* subcultivo cuatro. Durante la etapa de multiplicación se llevó a cabo el cambio de medio de cultivo correspondiente, para esto se realizó la eliminación de raíces y hojas que se encontraban cubriendo los meristemas, luego se separó en segmentos nodales y se colocó dos segmentos nodales por contenedor (Figura 1).

Figura 1

Multiplicación in vitro de camote. A- Vitroplanta de camote en etapa de multiplicación, B- Remoción de hojas y raíces, C y D- Separación en segmentos nodales, E-Segmentos nodales en el medio de cultivo estéril, F- Contenedor listo para incubación.



Medio de Cultivo

Se usó el medio de cultivo de Murashige y Skoog (MS) (1962) modificado para la multiplicación *in vitro* de camote (Cuadro 1). Se ajustó el pH del medio a 5.8, todos los medios fueron gelificados usando 1.8 g/L de Phytigel. Las condiciones de esterilización del medio en el autoclave fueron 1 kg/cm² a 121°C por 20 minutos.

Cuadro 1

Medio basal de Murashige y Skoog (MS) (1962) modificado para la multiplicación in vitro de camote (Ipomoea batata (L.) Lam).

Componentes	Fórmula	Nombre común	mg/L
Macroelementos	NH ₄ NO ₃	Nitrato de amonio	1650.000
	KNO ₃	Nitrato de potasio	1900.000
	MgSO ₄ .7H ₂ O	Sulfato de magnesio heptahidratado	370.000
	CaCl ₂ .2H ₂ O	Cloruro de calcio bihidratado	440.000
	KH ₂ PO ₄	Fosfato monobásico de potasio	170.000
Microelementos	H ₃ BO ₃	Ácido bórico	6.200
	CoCl ₂ .6H ₂ O	Cloruro de cobalto hexahidratado	0.025
	CuSO ₄ .5H ₂ O	Sulfato de cobre pentahidratado	0.025
	KI	Yoduro de potasio	0.830
	MnSO ₄ .4H ₂ O	Sulfato de manganeso tetrahidratado	22.300
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	Molibdato de sodio bihidratado	0.250
	ZnSO ₄ .7H ₂ O	Sulfato de zinc heptahidratado	8.600
	FeNa EDTA	Hierro Sodio Etilendiaminotetraacético	50.000
Componentes orgánicos		Inositol	100.000
		Tiamina- HCL	0.400
Carbohidrato		Sacarosa	70000

Nota. Tomado de (Roca y Mroginski, 1991)

Incubación

La temperatura del área de crecimiento se mantuvo en un rango de 22 – 24 °C, con una humedad relativa que osciló entre 29% -37%. se mantuvo en condiciones de 16 horas luz y 8 horas de oscuridad. Los explantes bajo las lámparas LED Fluence Ray 22 tuvieron un flujo de fotones fotosintéticos (PPF) de 54-100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Canada Grow Supplies [CGS], 2020). Y los explantes bajo los focos LED Osram su PPF es de 40-60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (OSRAM, 2025).

Tratamientos Evaluados

Se evaluaron dos tratamientos el primero fue evaluado con el uso de lámparas LED marca Fluence RAY 22, diseñadas específicamente para uso en cultivos de micropropagación, este tipo de lámpara LED cuenta con seis composiciones espectrales con el fin de poder tener un crecimiento de ciclo completo, poseen un rango de luz ajustable, con ondas de luz específicas (azul y rojo) necesarias para procesos vitales como es la fotosíntesis y desarrollo de la planta, además, posee un ángulo de

haz de 120 ° para tener una mejor proximidad al cultivo, evitando fugas de luz, haciéndolo un sistemas más eficiente y ahorrativo (Fluence, 2021). El atenuador con el que cuentan estas lámparas se mantuvo en 18 durante todo el experimento (Figura 2).

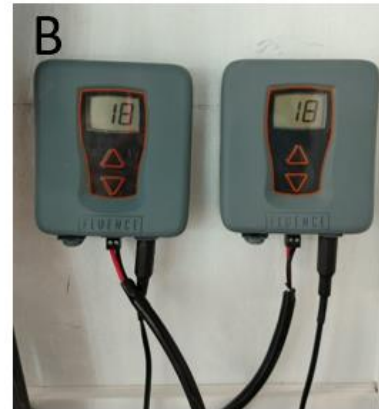
El segundo tratamiento fueron los focos LED marca Osram de 10-14 watts, 120 voltios, los cuales, cuentan con una reproducción precisa de colores, sin embargo, una de sus desventajas es que no son regulables en cuanto a la intensidad de luz emitida. Estos focos LED han sido diseñados para uso doméstico en interiores o uso en general, y no específicamente para uso en laboratorios de cultivo *in vitro* (PHILIPS, 2018).

Figura 2

Sistema de iluminación instalado en el área de crecimiento del Laboratorio de Cultivo de Tejidos

Vegetales de la Universidad Zamorano, Honduras. A. Lámparas LED de Fluence Ray 22, B.

Atenuadores del sistema Fluence, C. Focos LED Osram para uso doméstico



Variables Evaluadas

Número de Hojas por Explante

A partir del día 7 después de establecimiento en el medio de cultivo con los tratamientos, se contó el número de hojas por explante cada siete días hasta el día 21.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se usó un diseño completo al azar, con dos tratamientos. Se establecieron 25 repeticiones por tratamiento. Para un total de 50 unidades experimentales.

Los datos colectados se analizaron mediante la prueba t de Student $p < 0.05$.

Revisión de Literatura

Estrategia de Búsqueda

Se llevó a cabo entre los meses de junio y septiembre de 2025, se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos SciELO, ScienceDirect, CrossRef, Frontiers, ResearchGate y repositorios institucionales de Zamorano, INIAP, CIAT, UCA, BUAP, Nanzan Univ. Se realizó una búsqueda con la ayuda de la plataforma de Google Scholar y la Biblioteca Wilson Popenoe, mediante palabras clave como “sweet potato”, “light spectrum”, “LED lights”, “camote”, “fotoperiodo”, “micropropagación” y “cultivo in vitro”.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Se incluyeron solo artículos originales reportados en la literatura científica en los últimos 33 años (1991 a 2024), escritos en el idioma inglés y español, siendo seleccionados 29 documentos que constaban de artículos, libros, tesis universitarias, manuales técnicos e informes institucionales sobre el cultivo de camote (*Ipomoea batatas*), propagación *in vitro*, calidad de luz y fotoperiodo. Se excluyeron artículos que hablaran sobre otras especies vegetales no relacionadas al cultivo de camote (*Ipomoea batatas*), documentos que no consideraban el uso de luz LED y publicaciones que no tenían un respaldo académico o registradas en bases de datos científicas.

Resultados y Discusión

Experimento Preliminar

Los resultados del experimento de camote indican que no hay diferencia estadística entre usar lámparas LED y el uso de LED doméstica en el promedio de número de hojas *in vitro* plantas de camote (Cuadro 2). Este fue un experimento a pequeña escala y de carácter preliminar donde se está aprendiendo a usar las lámparas LED Fluence Ray 22. Por ello, en investigaciones futuras será importante realizar ajustes en las lámparas LED y ampliar el tamaño del experimento.

Cuadro 2

*Análisis estadístico de la diferencia del efecto de dos tipos de luces LED *in vitro* plantas de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) en el número de hojas por explante en etapa de multiplicación.*

Prueba estadística utilizada	Prueba t Student
Valor t	0.48
Valor p	0.0633
Promedio número de hojas tratamiento 1 (Fluence LED)	7.09
Promedio número de hojas tratamiento 2 (LED Doméstica)	6.85

Se ha demostrado que plantas *in vitro* bajo luz LED han tenido excelentes resultados en cultivos *in vitro*, debido a que presentan un mayor ahorro de energía en comparación a luces fluorescentes, siendo más eficientes en la conversión de energía eléctrica a energía lumínica aprovechable por las plantas cultivadas *in vitro*, disminuyendo así los costos de producción y contribuyendo a reducir la problemática de crisis energética mundial, además, al utilizar luz LED se reducen otros costos como el uso de un sistema de ventilación, ya que, la radiación emitida por luz LED es casi nula, resultando en una gran ventaja frente a fuentes de luz fluorescente que debido a su emisión de luz infrarroja elevan la temperatura dentro del cuarto de cultivo provocando en las plantas estrés térmico, lo cual, afecta negativamente procesos de fotosíntesis (Navarro, 2013).

Revisión de Literatura

La Luz y las Plantas

La luz es un factor clave para el crecimiento y desarrollo de las plantas, controla el funcionamiento de ecosistemas terrestres a través de procesos fotobiológicos, como son, la fotosíntesis, fotoperiodo y fototropismo (Carrasco Ríos, 2009). Además, gran parte de la radiación solar que ingresa a la Tierra corresponde al espectro electromagnético, donde, el 40% corresponde a la luz visible o radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Carrasco Ríos, 2009).

Durante el proceso de fotosíntesis, la radiación fotosintéticamente activa o PAR (400- 700 nm) cumple un papel clave en el metabolismo primario de las plantas, ya que, tiene estrecha relación con la clorofila y otros pigmentos conocidos como “pigmentos antenas”, los cuales, capturan la energía luminosa y les proveen color a las plantas, con el objetivo de transformar la luz recibida en glucosa y posteriormente la generación de biomasa como fuente de energía (Hernández Navarrete y Aguirre Becerra, 2024).

Asimismo, las plantas cuentan con receptores, los más importantes son: fototropinas, fitocromos y criptocromos, quienes son los responsables de procesos como la elongación o alargamiento de las plantas, fototropismo (fenómeno en el cual las plantas se inclinan hacia la dirección de la luz), el ciclo circadiano y la autodefensa de las plantas ante altas intensidades de radiación UV (Hernández Navarrete y Aguirre Becerra, 2024).

La Luz y las Plantas in vitro

La luz funciona como una señal ambiental indispensable para que procesos como la fotosíntesis y morfogénesis se lleven a cabo. Esta señal lumínica da lugar a mecanismos de crecimiento, regulación fisiológica y a factores que intervienen en procesos metabólicos como el fotoperíodo y su duración. Las plantas detectan la luz a través de fotorreceptores como el criptocromo, fitocromo y fototropinas quienes influyen directamente en la fotomorfogénesis. El espectro de luz que las plantas pueden absorber se encuentra en la región fotosintéticamente activa

(PAR), situándose entre los 400 a 700 nm, sin embargo, no todo este espectro es utilizado en su totalidad o eficientemente, ya que, espectros como el rojo y naranja (610-720 nm), azul y púrpura (400-510 nm) y, en menor medida, el espectro amarillo y verde (510-610 nm) son necesarios para procesos de morfogénesis y el crecimiento de las plantas como células, tejidos y órganos vegetales (Fan et al., 2022).

En laboratorios de micropropagación la luz representa uno de los factores ambientales más importantes, pues influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es por esta razón, que actualmente se está implementando el uso de lámparas LED, ya que permiten el ajuste de espectros de luz de acuerdo con la necesidad del cultivo, emiten menos calor, permiten regular la intensidad de luz, mayor vida útil y mayor eficiencia en el uso de energía. Siendo los diodos emisores de luz (LED) los que se están aplicando a cultivos *in vitro* con el objetivo de solventar los problemas de eficiencia lumínica, espectros mixtos y estrés térmico en plantas por la alta emisión de calor que emiten otras lámparas como son las lámparas de sodio de alta presión y lámparas fluorescentes (Xu et al., 2020).

Lámparas Fluorescentes (FL)

Las lámparas fluorescentes (FL) poseen descargas de vapor de aluminio a baja presión, este tipo de lámpara es el más utilizado debido a la producción de luz blanca (compuesta por varios espectros), sin embargo, no es la mejor opción, ya que, no son eficientes energéticamente en producción a gran escala. El 90% de sus emisiones de luz se encuentran entre los 400-700 nm, con picos de emisión próximos a 400- 450 nm (violeta-azul), 540-560 nm (verde-amarillo) y 620-630 nm (naranja-rojo), sin embargo, carecen de espectro de luz importante como es el rojo lejano, el cual, interviene en procesos fisiológicos como elongación del tallo y actividad del fitocromo (Rizzo, 2020).

Lámparas de Sodio de Alta Presión (HPSL)

Las lámparas de sodio de alta presión (HPSL) en los últimos años han presentado un gran declive, debido a su alta emisión espectral de 560-610 nm (amarillo-naranja), la cual, resulta desequilibrada para los pigmentos absorbentes de las plantas. Al emitir un amplio espectro que las

plantas no absorben completamente, se reduce la eficiencia lumínica, afectando su desarrollo y calidad. Además, este tipo de lámpara carece del espectro de luz azul, necesario para un buen desarrollo vegetativo, y, otra de sus desventajas es la alta generación de calor que producen, causando estrés térmico en las plantas cultivadas (Rizzo, 2020).

Lámparas LED Fluence Ray 22

Las lámparas LED Fluence Ray 22 cuentan con seis espectros de luz disponibles, estos son: PhysioSpec Indoor™, el cual, mejora el rápido crecimiento y desarrollo de la planta en interiores; PhysioSpec Greenhouse™ proporciona mayor cantidad de fotones azules que ayudan a equilibrar el alargamiento producido por la exposición a luz roja lejana producida por el sol; AnthoSpec™ cuenta con un espectro doble de 450 nm a 660 nm y contribuye a una mayor producción y acumulación de antocianinas en la planta; UVSpec™ espectro de luz ultravioleta que contribuye a una mejor respuesta fotomorfogénica de la planta; PrSpec™ espectro de luz roja (660 nm), retrasando procesos de floración en plantas de día corto, convirtiendo el fitocromo Pr (inactivo) en Pfr (activo), con el objetivo de evitar floración prematura; PfrSpec™ espectro de luz roja lejana (730 nm), estimula floración en plantas de día corto al alargar el periodo de oscuridad (Fluence, 2021; Grow Your 420, 2021).

Al momento de instalar lámparas LED Fluence Ray 22 se deben considerar ciertos aspectos, entre ellos la altura, ya que, se deben colocar mínimo a 15.2 cm por encima del dosel de la planta, también, es importante considerar temperatura, la cual, no debe superar los 35 °C. Las lámparas Fluence cuentan con PPF (Flujo de Fotones Fotosintéticos) bastante eficiente de 54-100 $\mu\text{mol/s}$, alta eficiencia energética de 2.6 $\mu\text{mol/J}$ y con una gestión térmica pasiva, es decir, sin uso de un sistema de ventilación adicional (CGS, 2020).

Se han realizado investigaciones en camote donde se menciona que al exponer las plantas a 16 horas luz, se presentó mayor longitud en tallos, sin embargo, las plantas que se expusieron a 9 horas luz mostraron mayor número de raíces, rendimiento y producción total de biomasa, por otro

lado, se menciona que plantas expuestas a 24 horas luz aumentaron su producción con respecto a plantas expuestas a 12 horas luz (Nur Fatihah y Rohayu Ma`Arup, 2022)

Nur Fatihah y Rohayu Ma`Arup, (2022), realizaron una investigación, en la cual, expusieron plantas de camote a dos tipos de fotoperiodo, los cuales son: el primero a la exposición de 8 horas luz con el uso de lámparas LED blancas de 6500 K, se utilizó esta temperatura de color con el objetivo de que las condiciones de luz sean similares a la luz natural (fotoperiodo corto); el segundo fue la exposición de 12 horas de luz natural (fotoperiodo largo), como resultado, se demostró que las plantas expuestas a un fotoperiodo largo presentaron mayor número de hojas y altura por planta, por lo que, el mayor número de excedentes fotosintéticos son transportados hacia la raíz de reserva donde se almacenan, resultando en mayor rendimiento de la raíz reservante. Además, se demostró que fotoperiodos de día corto no mejoran el crecimiento de partes aéreas de la planta, debido a que todas las reservas de carbono se dirigen hacia el tubérculo y no hacia las hojas y tallo. Como conclusión del estudio, se recomendó exponer a las plantas de camote a fotoperiodos de día largo, con el objetivo de obtener mejores rendimientos a nivel agronómico.

(Chen et al., 2018) demostraron en su estudio que características morfológicas y bioquímicas son influenciadas por espectros de luz LED a los que se exponen las plantas *in vitro*, mejorando la anatomía foliar en cuanto a grosor y expansión, así como también, se observaron mejoras en la ultraestructura de los cloroplastos, finalmente, mostraron que la luz LED también confiere una mayor elongación y grosor de tallo.

(Chen et al., 2020) en su estudio observaron que las plantas de papa cultivadas bajo el espectro de luz roja (600-700 nm) tienen ácido Indol-3- Acético (IAA) en mayor cantidad, manteniendo un mejor crecimiento y elongación de tallos, mayor actividad radicular, mayor concentración de IAA (dirigiendo los asimilados hacia órganos de reserva como los tubérculos), mayor acumulación y síntesis de almidón, mientras que plantas expuestas a luz azul (400-500 nm) mostraron todo lo contrario, sin embargo, bajo este espectro, se presentaron las mayores concentraciones de Clorofila a

y Clorofila a +b, mayor área foliar, estomas más grandes en tamaño (debido a que la luz azul es clave para el desarrollo estomático). Sin embargo, en este estudio las plantas expuestas bajo la combinación de espectros de luz LED rojo y azul, presentaron mayor contenido de carbohidratos y proteínas solubles, mayor tamaño de estomas, mayor índice de salud, tasa de crecimiento más rápida, menor densidad de estomas y micro tubérculos más grandes. Finalmente, se concluyó que los espectros de luz más ideales son la combinación de luz roja y azul a una proporción 3:1.

(CHEN et al., 2018), mostraron que al utilizar el espectro de luz roja en su totalidad no es tan eficiente, debido a que se presentó mayor peso fresco en micro tubérculos individuales, más, sin embargo, no aumento en número, sugiriendo que la luz roja es promotora de crecimiento, pero no es viable para la proliferación. (He y Qin, 2020a) mencionan en su estudio que las plantas de camote deben de estar expuestas a una alta intensidad de luz para mejorar su crecimiento y desarrollo. Los resultados del estudio mostraron que la luz LED + luz natural incrementaron el peso fresco y seco de las hojas de camote reflejando mayor crecimiento y actividad fotosintética, el aumento en biomasa estuvo asociada a un mayor grosor de las hojas desarrolladas bajo irradiancia, lo que favoreció el transporte de electrones y la tasa de asimilación fotosintética de CO₂ en las hojas adaptadas bajo su temperatura e irradiancia de crecimiento.

(He y Qin, 2020b) en su estudio evaluaron el impacto de distintas longitudes de ondas emitidas por luz LED, como son la región espectral azul y rojo, en el crecimiento de plantas in vitro de camote, además, se evaluaron variables como número de hojas, longitud del tallo, ancho y longitud de las hojas. Como resultado se mostró que la luz LED roja favoreció el crecimiento de las plantas con un mayor alargamiento de tallo y desarrollo foliar, mientras que la luz LED azul favoreció el desarrollo de hojas. En conclusión, la combinación de ambos espectros de luz permite en las plantas tener mejor crecimiento y multiplicación foliar en plántulas de camote bajo condiciones in vitro.

Una ventaja de las luces LED es que al no ser una fuente emisora de calor permite poder colocarlas más cerca de las plantas, lo que conlleva a una mayor concentración de fotones resultando

en un incremento de procesos fotosintéticos, además, la emisión de luz LED es constante a diferencia de la luz fluorescente que su emisión varía de acuerdo a factores como temperatura y flujo de aire (Rizzo, 2020).

Conclusiones

No se observaron diferencias en el crecimiento de vitro plantas de camote bajo luces LED domésticas y luces LED Fluence RAY 22.

En base a la revisión de literatura realizada en este estudio, se concluye que el uso de lámparas LED es el más factible para su uso en micropropagación, ya que, a diferencia de las lámparas fluorescentes estas cuentan con los espectros de luz necesarios para la planta, tienen reducción térmica (disminuye la generación de calor), son más eficientes en el uso de energía y no carecen de espectros de luz importantes como son el rojo lejano y azul.

Recomendaciones

Se recomienda para futuros experimentos ampliar el número de unidades observacionales.

Se recomienda realizar ajustes en los atenuadores del sistema de las lámparas LED Fluence RAY 22 utilizadas, con el objetivo de darles un mejor aprovechamiento en su funcionamiento.

Se sugiere realizar experimentos para encontrar el ajuste de intensidad óptimo de los atenuadores del sistema de luces LED según el cultivo.

Referencias

- Canada Grow Supplies. (2020). *Fluence Ray 22"*. CGS. <https://canadagrowsupplies.com/products/fluence-ray-22-grow-light?utm>
- Carrasco Ríos, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Scielo*, 27(3). https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292009000300009&script=sci_arttext&tlng=en (Artículo de investigación).
- Cartagena, L. (2019). *Plan de exportación de camote (Ipomoea batatas) de Honduras a Holanda* [Tesis Pregrado]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/0ad3a769-606f-4cca-83ee-01c2daceafe6/content#:~:text=Actualmente%2C%20Honduras%20se%20encuentra%20entre,de%2015%2C000%20ton%20a%20a%C3%B1o>
- Casierra-Posada, F. y Peña-Olmos, J. E. (2015). Modificaciones fotomorfogénicas inducidas por la calidad de la luz en plantas cultivadas. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 39(0), 84. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.276>
- Centro Internacional de la Papa. (2016). *Como crece el camote*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://cipotato.org/es/sin-categorizar/como-crece-el-camote/>
- Centro Internacional de la Papa. (2017). *Datos y cifras del camote*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://cipotato.org/es/sweetpotato/sweetpotato-facts-and-figures/?utm>
- Chen, L., Xue, X., Yang, Y., Chen, F., Zhao, J., Wang, X., Khan, T. A. Y Hu, Y. K. (2018). Effects of red and blue LEDs on in vitro growth and microtuberization of potato single-node cuttings. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 5(Issue 2). <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2018224>
- Chen, L., Zhang, K., Gong, X., Wang, H., Gao, Y., Wang, X., Zeng, Z. Y Hu, Y. (2020). Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets in vitro and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(1), 108–119. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62633-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62633-X)
- Cobeña, G., Cañarte, E., Mendoza, A., Cárdenas, F. y Gúzman, Á. (2017). *Manual Técnico del cultivo de camote*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4789/3/INIAPEEPM106.pdf>
- Fan, C., Manivannan, A. y Wei, H. (2022). Light Quality-Mediated Influence of Morphogenesis in Micropropagated Horticultural Crops: A Comprehensive Overview. *BioMed Research International*, 2022(1). <https://doi.org/10.1155/2022/4615079>
- Fluence. (2021). *RAY Series*. Agri Expo. <https://pdf.agriexpo.online/pdf/fluence-bioengineering/ray-series/178219-27181.html>
- Gómez, E. (2024). *Descubre el cultivo in vitro de plantas*. Carniplant. https://www.carniplant.es/xipblog/post/36_descubre-el-cultivo-in-vitro-de-plantas.html?page_type=post&utm
- Grow Your 420. (2021). *Fluence RAY44 LED Grow Light Review*. Grow Your 420. <https://www.growyour420.com/reviews/fluence-ray44-review/?utm>

- He, J. y Qin, L. (2020a). Growth and photosynthetic characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves grown under natural sunlight with supplemental LED lighting in a tropical greenhouse. *Journal of Plant Physiology*, 252, 153239. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153239>
- He, J. y Qin, L. (2020b). Growth and photosynthetic characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves grown under natural sunlight with supplemental LED lighting in a tropical greenhouse. *Journal of Plant Physiology*, 252, 153239. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153239>
- Hernandez Navarrete, C. E. y Aguirre Becerra, H. (2024). *La luz y su efecto en las plantas*. Universidad Autónoma de Querétaro. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000009563.pdf>
- IndexBox. (2021). *The Sweet Potato Market in Latin America and the Caribbean Peaked at \$3.4B*. Global Trade. <https://www.globaltrademag.com/the-sweet-potato-market-in-latin-america-and-the-caribbean-peaked-at-3-4b/?utm>
- Intriago, L., Lemache, A., Loor, G., Loyola, D., Marcillo, F., Mejía, J., Mendoza, F., Montalvan, E., Moreira, A. y Orosco, B. (2020). *Micropropagación* [Tesis]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://es.slideshare.net/slideshow/micropropagacin-236422891/236422891?utm>
- Murillo, M., Pedraza, M., Gutiérrez, N., Rodríguez, M., Lobit, P. y Martínez, A. (2016). Calidad de la luz led y desarrollo in vitro de *Oncidium tigrinum* y *Laelia autumnalis* (orchidaceae). *Agrociencia*, 50(8). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000801065&script=sci_arttext
- Navarro, V. (2013). *Análisis de la utilización de luz emitida por lámparas de diodo (LEDs) en la producción in vitro para la obtención de semilla prebásica de Solanum tuberosum* [Tesis]. Universidad Católica Argentina (UCA), Argentina. <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/394/1/doc.pdf>
- Nur Fatihah, N. y Rohayu Ma`Arup (2022). The Effect Of Short-Day And Long-Day Photoperiod On Morphology, Yield And Quality Of Sweet Potato. *Malaysian Journal Of Biochemistry & Molecular Biology*, 2(Especial). https://www.researchgate.net/publication/368292576_the_effect_of_short-day_and_long-day_photoperiod_on_morphology_yield_and_quality_of_sweet_potato_ipomea_batatas_l_lam
- Olmos, L. (2023). *Cultivo de tejidos vegetales, una técnica de gran importancia en la agricultura actual*. Tecnología Hortícola. <https://www.tecnologiahorticola.com/cultivo-tejidos-vegetales-tecnica-propagacion-importancia-agricultura-actual/?utm>
- OSRAM. (2025). *Ficha Técnica Del Producto Led Star Classic A 40 4.9w 840 Frosted E27: Led Pcr Lamp With Classic A Ed Pcr Lamp With Classic A*. <https://www.ledvance.es/consumidor/productos/lamparas/lamparas-led/lamparas-led-de-osram/lamparas-led-con-plastico-reciclado/lamparas-led-con-plastico-reciclado-c373079>
- PHILIPS. (2018). *Led Lamps General CAM lectura digital*. https://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Central%20America/ODLI20180308_001-UPD-es_CE-Led-Lamps-General-CAM.pdf
- Rizzo, V. (2020). *Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas in vitro: Revisión de Literatura* [Proyecto Especial De Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano,

Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7ad4cd68-8ded-4fa6-a10f-35540b970b07/content>

Roca, W. y Mroginski, L. (1991). Cultivo de tejidos en la agricultura fundamentos y aplicaciones. *Centro Internacional De Agricultura Tropical (CIAT)*, Artículo 151. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Cultivo_de_tejidos_en_la_agricultura.pdf

Ruvalcaba, J. (2021). *El camote, su origen americano y su peculiar expansion por el orbe.*

Saeedi, S. A., Vahdati, K., Sarikhani, S., Daylami, S. D., Davarzani, M., Gruda, N. S. y Aliniaiefard, S. (2023). Growth, photosynthetic function, and stomatal characteristics of Persian walnut explants in vitro under different light spectra. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1292045. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1292045>

Singh, A. (2023). *Role of Lights in Plant Tissue Culture.* Plant Cell Technology. https://plantcelltechnology.com/blogs/blog/blogrole-of-lights-in-plant-tissue-culture?srsId=AfmBOooH3FwQgtcLUYPmciMnLbMtpxHp4UISZ7G_IzPH1Lzo57KUhqEq&utm

Xu, Y., Yang, M., Cheng, F., Liu, S. y Liang, Y. (2020). Effects of LED photoperiods and light qualities on in vitro growth and chlorophyll fluorescence of *Cunninghamia lanceolata*. *BMC Plant Biology*, 20(1), 269. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02480-7>

Anexos

Anexo A

Cronograma de actividades

Actividad/mes	Nov	Enero	MAYO	JUNIO	JULIO	Ag	sep	Oct
Reunión para elaborar APEG			█					
Entrega de borrador			█	█				
Entrega APEG			█					
Establecimiento de meristemas			█	█	█			
Establecimiento del experimento			█	█	█			
Toma de datos			█	█	█			
Redacción del documento				█	█	█		
Presentación					█	█	█	

Anexo B

Toma de datos n° 1.

Luz fluorescente



Luz LED:



Anexo C

Toma de datos n° 2.



Anexo D

Toma de datos n° 3:



Anexo E

Toma de datos n°4:

