

# **Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas *in vitro*: Revisión de Literatura**

**Stefano Vittorio Rizzo Zaldumbide**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas *in vitro*: Revisión de Literatura**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Stefano Vittorio Rizzo Zaldumbide**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2020

# Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas *in vitro*: Revisión de Literatura

Presentado por:

Stefano Vittorio Rizzo Zaldumbide

Aprobado:



---

María Alexandra Bravo, M.Sc.  
Asesora Principal



---

Rogel Castillo, M.Sc.  
Director  
Departamento de Ciencia y Producción  
Agropecuaria



---

Alejandra Sierra (Nov 12, 2020 13:23 CST)

Alejandra Sierra, M.Sc.  
Asesora



---

Luis Fernando Osorio, Ph.D.  
Vicepresidente y Decano Académico

## **Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas *in vitro*: Revisión de Literatura**

**Stefano Vittorio Rizzo Zaldumbide**

**Resumen.** El cultivo de plantas *in vitro* es una técnica de propagación que requiere de un control ambiental tanto físico como químico sumamente exigente. Los objetivos de esta revisión literaria fueron demostrar las ventajas de la luz LEDs en comparación con las luces convencionales y comparar las lámparas fluorescentes con las luces LEDs en la micropropagación. La revisión se realizó entre los meses de mayo y agosto del 2020 usando las bases de datos disponibles en la Biblioteca Wilson Popenoe. La iluminación es uno de los principales factores que afectan la morfogénesis en la micropropagación. Tres aspectos han demostrado grandes influencias en el crecimiento de plántulas *in vitro*, la calidad intensidad de luz y fotoperíodo. Las luces fluorescentes han sido las más populares y usadas, pero estas presentan distintas desventajas como altos consumos de energía, emisión de longitudes de ondas indeseadas y baja vida útil, con respecto a los LEDs. En cuanto a comparaciones del uso de LEDs y fluorescentes en la micropropagación, estas han alcanzado igual o mayor número de brotes por explante en distintos cultivos. El uso de iluminación de tipo LEDs tienen un gran potencial para ser usados en la micropropagación, presentando múltiples ventajas en distintos cultivos, controlando parámetros específicos para cada planta, mayor vida útil y reducción de costos.

**Palabras Claves:** Diodos emisores de luz, micropropagación, fotomorfogénesis, ambientes controlados.

**Abstract.** In vitro plant cultivation is a propagation technique that requires highly demanding physical and chemical environmental control. The objectives of this literary review were to demonstrate the advantages of LED light compared to conventional lights and to compare fluorescent lamps with LED lights in micropropagation. The review was conducted between May and August 2020 using the databases available at the Wilson Popenoe Library. Lighting is one of the main factors affecting morphogenesis in micropropagation. Three aspects have shown great influences on in vitro seedling growth, light intensity quality and photoperiod. Fluorescent lights have been the most popular and used, but these have different disadvantages such as high energy consumption, emission of unwanted wavelengths and low service life, with respect to LEDs. In terms of comparisons of the use of LEDs and fluorescents in micropropagation, they have reached equal to or greater number of shoots per explant in different crops. The use of LED-type lighting has great potential to be used in micropropagation, presenting multiple advantages in different crops, controlling plant-specific parameters, longer service life and cost reduction.

**Key words:** Light-emitting diodes, micropropagation, photomorphogenesis, controlled environments.

## ÍNDICE GENERAL

Portadilla.....	i
Página de Firmas.....	ii
Resumen .....	iii
Índice General.....	iv
Índice de Cuadros .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISIÓN LITERARIA.....</b>	<b>4</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>12</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>13</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>14</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Características de distintos tipos de lámparas usadas en iluminación de plantas.....	9
2. Efecto del uso de LEDs en micropropagación.....	11

Figura	Página
1. Salida espectral distintos tipos de luces.....	8

# 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura presenta varios retos, la población va en creciente aumento, por lo cual se debe cambiar la forma de producir los alimentos para superar el agotamiento de los recursos naturales, el cambio climático y la desigualdad. El consumo de alimentos incrementará, debido a esto se debe buscar la forma de obtener mayores productividades con enfoques sostenibles, en los espacios actualmente cultivados, ya que en un futuro habrá escasez de tierras idóneas para la producción de alimentos (FAO 2017).

El incremento de la producción y productividad pueden darse por un uso eficiente del recurso hídrico, insumos y la implementación de nuevas tecnologías. El crecimiento del sector agrícola depende mucho de estas tecnologías, entre ellas el uso de variedades resistentes, semillas mejoradas, modernas prácticas de manejo y la conservación de recursos usando nuevas maquinarias agrícolas (Mottaleb 2018).

Dentro de estas mejoras tenemos el uso de plántulas producidas mediante técnicas de propagación *in vitro*, la cual es una técnica en la que se extraen partes de una planta, conocidas como explantes, y se cultivan en condiciones de asepsia en un medio nutritivo artificial constituido por macronutrientes, carbohidratos, vitaminas, fitohormonas y aminoácidos, para así obtener miles de plantas a partir de un explante (Sandoval *et al.* 1991).

El cultivo de plantas *in vitro* es una técnica que requiere un control ambiental tanto físico y químico sumamente exigentes, por lo que se debe controlar y optimizar estos factores. Dentro de los principales factores abióticos que se pueden considerar, están: composición del medio de cultivo, pH, temperatura, humedad, luz y fotoperiodo (Castillo 2008). Estos factores son críticos y el control de ellos determinan el crecimiento y desarrollo de los tejidos vegetales (Loberant y Altman 2010).

La iluminación es importante y existen estudios con respecto al efecto de la calidad de la luz, en la multiplicación y formación de embriones somáticos, dependiendo de la variedad y especie (Rodríguez-Sahagun *et al.* 2011). El efecto de la luz y su calidad e intensidad han sido el propósito de diversas investigaciones, con el fin determinar las diferentes longitudes de ondas maximizando el efecto morfogénico (Casierra-Posada y Rojas 2009). Las longitudes de onda entre 300 y 900 nm son capaces de influenciar el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de su intensidad y duración junto con los factores climáticos (Casierra-Posada y Peña-Olmos 2015). Estudios recientes, han demostrado como diferentes porciones del espectro visible afectan metabólicamente a las plantas. Luz azul (450-495nm), roja (620-750 nm), roja lejana (750-850 nm), inclusive la luz verde (495-570 nm) cumplen roles específicos en la morfogénesis (Golovatskaya y Karnachuk 2015).

Tradicionalmente en laboratorios de cultivo de tejidos se han utilizado lámparas fluorescentes, las cuales presentan grandes desventajas como alto consumo de energía, baja intensidad de luz y alto poder calorífico, convirtiendo así a la electricidad en el mayor costo dentro de un laboratorio (Yu *et al.* 2020). Actualmente la luz emitida por diodos (LED) ha tenido un fuerte impacto en el área de micropropagación. Diferentes estudios han mostrado ventajas con respecto a la conversión de

energía, mayor vida útil, emisiones de longitudes de ondas específicas que mejoran la fotosíntesis de las plantas (Araujo *et al.* 2009).

Otra ventaja importante es la baja emisión de calor dirigido hacia la planta lo cual reduce los costos de control de temperatura mediante aire acondicionado. Así mismo, permite colocar las luces LEDs mucho más cerca de la planta y esto provee mayores concentraciones de fotones que conlleva a un incremento en la fotosíntesis. Finalmente, este tipo de fuentes emiten luz constante sin importar las condiciones, a diferencia de las lámparas fluorescentes que se ven afectadas por temperatura y el flujo de aire (Gupta y Jatothu 2013).

Los objetivos de esta revisión de literatura fueron:

- Describir las ventajas de la luz LEDs en comparación con las luces convencionales.
- Comparar el desempeño documentado de las lámparas fluorescentes con las luces LEDs en la micropropagación.



## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente revisión de literatura se realizó entre los meses de mayo y septiembre de 2020. Como fuente de información se utilizaron algunas bases de datos proporcionadas por la biblioteca “Wilson Popenoe” de la Escuela Agrícola Panamericana y Google Scholar. De las cuales, se obtuvo información de, SciELO Springer, AGORA y ELibro. Adicionalmente se consultó en las bases de datos de Research Gate, JSTOR, American Society for Horticultural Science, ScienceDirect y Nature.

Dentro de los criterios de búsqueda se especificó publicaciones con menos de 30 años de antigüedad, en idioma español e inglés. Las palabras claves empleadas fueron: [light-emitting diode, micropropagación, foto morfogénesis, ambientes controlados].

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### **La luz y las plantas**

La luz es la fuente de energía de las plantas, esta es un conjunto de ondas electromagnéticas de distintas frecuencias. Para su proceso de fotosíntesis las plantas aprovechan únicamente una pequeña parte del espectro electromagnético, específicamente dentro de los 400 a 700 nanómetros. Este rango se le conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA) y se encuentra ubicada entre las radiaciones UV e infrarrojas. Las plantas absorben esta fuente de energía por medio de biomoléculas fotosensibles y es utilizada en la fotosíntesis al ser convertida en una forma de energía bioquímicamente estable. Este es un proceso biológico que consta de dos partes, la primera es la absorción de la luz por complejos de pigmento-proteína llamadas antenas cosechadoras de luz, esta energía llega hasta los centros de reacción de los fotosistemas, donde obtiene ATP y NADPH, necesarios para la siguiente fase. La segunda fase comprende la captura y asimilación biológica de los elementos presentes en la materia orgánica, necesarios para la construcción biomolecular. Estas fases son denominadas convencionalmente fase luminosa y oscura (Taiz y Zieger 2006; De Las Rivas 2015).

La luz es absorbida principalmente por dos pigmentos fotosintéticos, estas moléculas son sensibles a la radiación luminosa y se encuentran enlazados con los complejos pigmento proteína. La clorofila es el pigmento más importante, ya que está relacionado directamente en el proceso de absorción y conversión de energía específicamente de la zona del color azul y rojo. Los carotenoides son otro pigmento que tienen como función principal proteger, por medio de mecanismos de disipación y extinción de energía, el aparato fotosensible y como función secundaria ser antenas, sobre el espectro de luz entre los 400 y 500 nm, lo que corresponde al color azul y verde, en el cual las clorofilas absorben muy poco (De Las Rivas 2015). Por ende, la calidad de luz que reciba una planta afecta no solo a la fotosíntesis proporcionando la energía necesaria para que esta ocurra, sino también en distintos procesos morfofisiológicos conocidos como fotomorfogénesis.

Además de este factor, la intensidad de la luz que incide sobre las superficies fotosintéticas determina en gran medida la capacidad fotosintética de estas. La intensidad de la luz influye directamente la morfología de las plantas, estos requerimientos difieren de cada tipo de planta y del estado que se encuentre en la micropropagación. El espectro y la densidad de flujo de fotones son dos de los principales factores que ayudan al desarrollo de las plantas. La densidad de flujo de energía irradiante y la densidad de flujo de fotones (DFF) son comúnmente usadas para medir la intensidad (Sager y McFarlane 1997).

Para la agricultura se ha venido utilizando la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF), esta es expresada en  $\mu\text{mol}$  de fotones/ $\text{m}^2/\text{s}$ , la cual es el total de cantidad de RFA (400-700 nm) que llega a un área determinada por cada segundo. Aunque la intensidad es importante para el desarrollo de las plantas, la cantidad de luz acumulada que esta recibe durante el transcurso de un día determina su desarrollo. La integral de luz diaria (ILD) es la medición de esta y se encuentra compuesta por la DFFF sumado a la cantidad de tiempo que se ha expuesto la planta a la luz en un día, en función de la intensidad y duración de la luz fotosintética (Demers *et al.* 1998; Potter y Duncombe 2011)

Finalmente, otro factor para tener en cuenta es el número diario de horas luz que recibe el cultivo, conocido como fotoperíodo, el cual tiene la capacidad de activar algunos fenómenos propios del desarrollo de las plantas como la germinación y floración (Wampash *et al.* 2011).

### **Fotomorfogénesis**

El control de la morfogénesis por la luz se denomina fotomorfogénesis, es decir los efectos provocados por los cambios en la cantidad y composición espectral de la luz en la inducción, crecimiento y desarrollo de órganos. Este proceso es completamente separado de la fotosíntesis, donde distintos patrones de crecimiento responden al espectro de luz (Beltrano y Giménez 2011; Meisel *et al.* 2011).

La luz puede afectar el desarrollo de las plantas ya sea como fuente de energía, calor o información. La composición espectral, intensidad, dirección y fotoperíodo son aspectos que cambian y afectan su crecimiento. Uno de los entes que se encargan de que el proceso de absorción de luz sea ejecutado son los fotorreceptores, estas moléculas proteicas son capaces de absorber luz ya que poseen cromóforos. Dentro de las plantas se han encontrado varios tipos de estos, como: los fitocromos que son capaces de absorber luz roja comprendida entre 600 y 700 nm y roja lejana entre 700-800 nm, estos poseen dos formas interfotocromos convertibles conocidas como fitocromo rojo (Fr) y fitocromo rojo lejano (Fr1), cambiando de una forma a otra dependiendo de la luz (Taiz y Zieger 2006).

Luego, tenemos a los criptocromos y las fototropinas que son receptores de luz azul de 400-500 nm y ultravioleta A de 320-400 nm. Actualmente se han encontrado fotorreceptores de ultravioleta B entre 280-320 nm, pero no se han definido (Carrasco-Ríos 2009). Entre estos pigmentos que propician la fotomorfogénesis, los más importantes son los que absorben luz roja y azul. La adecuada presencia de luz roja y el correcto funcionamiento de los fitocromos conllevan a varios efectos como fomentar la germinación, caída de hojas, correcta formación de primordios foliares, desarrollo de hojas primarias, inhibición de elongación internodal; y en los pigmentos que absorben luz azul como efectos positivos tenemos la elongación del hipocótilo, estimulación de síntesis de pigmentos fotosintéticos, activación de la expresión génica, aumento de la respiración celular y movimiento de los estomas y fototropismo (Planelló *et al.* 2010).

En la producción de plántulas *in vitro* la luz es utilizada principalmente para el proceso de fotomorfogénesis, a diferencia que en el campo donde las plantas emplean la luz sobre todo para fotosíntesis. Actualmente la mayoría de los laboratorios de cultivo de tejidos usan luz artificial y controlan temperatura. Distintos tipos de luces se han venido usando para transmitir energía, entre estas se encuentran los tubos fluorescentes. Distintos estudios han demostrado que luz cercana a la UV y azul mejora la tasa de crecimiento y morfogénesis en los explantes, además de una correcta proporción de las longitudes de onda y densidad de flujo (Mazza *et al.* 1999; Kakani *et al.* 2003). Tres aspectos son los que han mostrado grandes influencias en el crecimiento de plántulas *in vitro*, longitud de onda, densidad de flujo de fotones y fotoperíodo (George *et al.* 2008).

### **La luz en la micropropagación**

La micropropagación es una de las aplicaciones del cultivo de tejidos vegetales y una de las biotecnologías agrícolas más usadas para la producción masiva de plántulas, esta se centra en el cultivo de explantes en ambientes controlados. En este ambiente artificial se busca conseguir

excelentes condiciones de luz (calidad, intensidad y duración), humedad y temperatura. La asepsia o ausencia de microorganismos o agentes patógenos también es clave. Estos explantes se encuentran bajo una nutrición heterotrófica, empleando un medio de cultivo que actúa como sustrato y fuente energética dentro de envases plásticos o de vidrio. El medio de cultivo este compuesto, de una mezcla de sales minerales, vitaminas reguladoras de crecimiento, azúcar, agua y agar. Este crecimiento se da gracias a una característica que poseen las células vegetales conocido como totipotencia, o la capacidad de regenerar una planta cuando está sujeta a estímulos adecuados, gracias a la información que contienen estas. Este tipo de propagación tiene como finalidad la obtención de mayor cantidad plantas en menor tiempo, uniformidad genética y fenotípica, regeneración a partir de células, órganos o tejidos, entre otros (Olmos *et al.* 2010; Suarez 2020)

Factores como la humedad relativa, temperatura y luz son los factores que presentan mayor influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La luz es uno de los factores primordiales en el desarrollo de estos organismos, por ello la importancia de controlar este factor y optimizar su uso en cultivos *in vitro*. Entre los factores que la calidad del espectro de luz tiene influencia tenemos: elongación de tallo, ramificación lateral, extensión y pigmentación de la hoja (Heo *et al.* 2006).

Dentro de la producción de plántulas por micropropagación y en la producción en invernaderos se han venido utilizando distintos tipos de luces artificiales, como: lámparas fluorescentes, incandescentes, lámparas de vapor de sodio de alta presión (HPSL) y de haluro metálico, estas dos últimas conocidas como de descarga de alta intensidad (HID). Todo esto con la finalidad de aumentar la fotosíntesis y controlar el fotoperiodo.

Las lámparas incandescentes están compuestas de una bombilla hermética de vidrio con un filamento de tungsteno, así al calentarse empieza a emanar radiaciones electromagnéticas visibles. Este tipo de luz debe calentarse hasta los 2500 °C para emitir radiaciones visibles. Estos tienen una gran emisión de los rangos infrarrojos y rojos, decayendo a medida se acerca al azul (Figura 1). Además, estos sistemas consumen bastante electricidad, dado que generan calor, de tal manera que estos cultivos no pueden ser colocados muy cerca de la luz, porque podrían presentar problemas de foto estrés y por lo tanto sufrir daños (Gupta y Jatothu 2013).

Las fluorescentes (FL) son lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión, emite luz visible gracias a la fluorescencia de un recubrimiento de fósforo. Estas son las más populares y usadas debido a su producción de luz blanca. Como luz blanca nos referimos a la combinación de rayos luminosos de diferentes frecuencias, es decir el color blanco percibido por el ojo humano contiene una gran cantidad de componentes espectrales. Sin embargo, los fluorescentes no son energéticamente eficiente para soportar grandes producciones. Existen dos tipos de FL, los tubulares y compactos, los cuales contienen vapores de mercurio y argón. El 90% de sus emisiones se encuentran dentro de los 400 y 700 nm (Figura 1). Estos tienen picos de emisión cercanos a 400-450 nm (violeta-azul), 540-560 nm (verde-amarillo) y 620-630 nm (naranja-rojo), por lo que se aprecia como blanco, pero carecen de luz roja lejana, la cual es importante para un buen desarrollo de la planta, influyendo el alargamiento del tallo y la actividad del fitocromo (Gupta y Agarwal 2017; Bello-Bello *et al.* 2017; Shin *et al.* 2008; Pancorbo *et al.* 2017).

Las lámparas de descarga de alta presión o más conocidas como HID, funcionan a presión y temperaturas altas al igual que los FL, no obstante, estos tienen una mejor salida espectral y mayor

eficiencia luminosa que las ya mencionadas, por lo tanto, son consideradas de las opciones más eficientes (Bula *et al.* 1991). Existen tres tipos de HID según su vapor: mercurio, sodio y haluro metálico. A excepción de las lámparas de mercurio de alta presión, las compuestas de mercurio y sodio, específicamente de alta presión han sido ampliamente utilizados en la agricultura. Las HPSL han venido en declive, ya que contienen una alta emisión en el rango entre con 560 a 610 nm (amarillo-naranja) (Figura 1), la cual es desequilibrada con relación a los rangos de absorción de los pigmentos ya mencionados. Sin embargo, las lámparas de halogenuros metálicos con el uso de vapor de mercurio y gases inerte mejoraron la calidad espectral, con varios picos de emisión distribuidos uniformemente en todo el espectro con un alto porcentaje de luz azul (Figura 1) (Gupta y Agarwal 2017)

Sin embargo, todos estos tipos de luces tienen un amplio rango de longitud de onda que va desde los 350 nm hasta los 750 nm, tan amplia que es innecesaria y de baja calidad para promover un buen crecimiento de las plantas (Bula *et al.* 1991; Tamayo 2014). En los últimos años se han buscado diversos mecanismos de iluminación para mejorar el desarrollo del proceso de fotosíntesis en las plantas, existiendo fuentes artificiales como bombillas metal, bombillas incandescentes, bombillas de vapor de mercurio, bombillas fluorescentes, sin embargo, su uso provoca gran consumo de energía eléctrica, baja vida útil, gases nocivos para la salud de las personas. Pero de estos tipos de bombillas, sobresale la iluminación artificial LED que ha tomado más fuerza sobre los demás tipos de iluminación artificial utilizada para la estimulación del crecimiento de las plantas (Ramos y Ramírez 2016).

Los diodos emisores de luz (LEDs) son la fuente de luz más nueva, y pueden ser empleados para producir longitudes de onda deseadas, tales como el azul y rojo en mayores proporciones (Figura 1) (Tamayo 2014). Estas fuentes de luz de estado sólido emiten luz sobre el flujo de electricidad desde un chip de diodo semiconductor. LEDs pueden emitir longitudes de onda entre los 250 nm (UV-C) hasta los 1000 nm correspondiente al infrarrojo. Estos fueron inventados en 1962, pero no fue hasta 1980 que fueron usados en la agricultura, debido a su baja potencia (Bourget 2008). La NASA mediante sus programas de ciencias biológicas patrocinaron la primera investigación con este tipo de luz, con la finalidad de desarrollar un sistema de iluminación energéticamente eficiente, compacta y con la capacidad de modificar su espectro (Bula *et al.* 1991; Hoenecke *et al.* 1992). Posteriormente la NASA desarrolló varias matrices de iluminación LED que fueron probadas y utilizadas en un transbordador espacial para probar el crecimiento en un futuro en el espacio. Las investigaciones se realizaron en el “Kennedy Space Center”, enfocándose en las combinaciones espectrales de LEDs, incluyendo los colores rojo lejano y azul (Wheeler *et al.* 2003; Mitchell y Sheibani 2019).

Los diodos LED's tienen un gran potencial para ser usados en la micropropagación (Loberant y Altman 2010). Las ventajas de estos diodos están en la conversión eficiente de energía, volumen pequeño, larga vida, emiten una radiación con longitudes específicas que son eficientes para la fotosíntesis (Araujo *et al.* 2009). A esto se suma que la emisión térmica y costos de mantenimiento son más reducidos que provocan que sean más amigables con el medio ambiente (Lee *et al.* 2010).

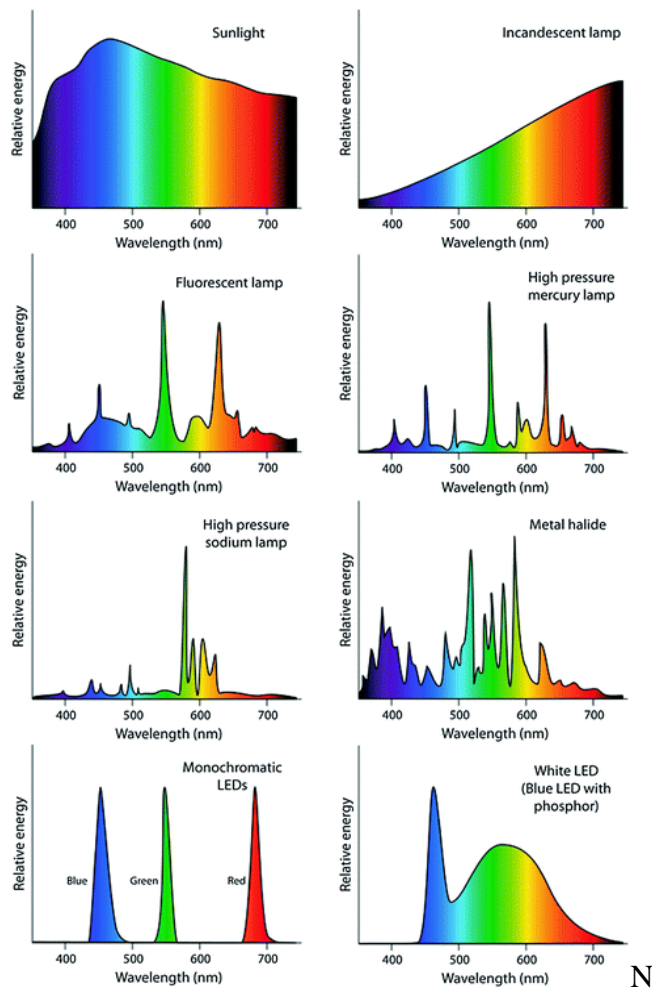


Figura 1. Salida espectral distintos tipos de luces.  
Fuente: Gupta y Agarwal 2017.

Gupta y Jatothu (2013) confirman que el uso de sistemas LEDs tiene muchas ventajas con respecto a otras fuentes de luz, como bajo requerimiento de energía, pudiendo ser operado mediante baterías, esta baja energía hace más rentable la propagación *in vitro*, los LEDs instalados de manera correcta tienen una vida útil entre las 25,000 y 100,000 horas, comparados con luces fluorescentes que su vida oscila entre las 10,000 y 15,000 horas, los incandescentes con 1,000 horas, los HID con 10,000 a 30,000 horas de vida útil (Cuadro 1). Otra ventaja es la eficiencia de la energía suministrada, ya que la mayoría se convierte en radiación deseada, teniendo emisiones entre 80 y 150 lumens (lm) por watt (W) utilizado, esto con una mínima emisión de calor y su eficiencia no varía por la forma o tamaño de los tubos o bombillos. Asimismo, en su requisito de energía para que empiece a funcionar y emita luz se observan grandes mejoras con respecto a luces tradicionales, necesitando apenas 0.1 a 5 W para empezar a funcionar. A diferencia de otros tipos de luz, en esta se puede emitir el color deseado sin necesidad de filtros, así generando solo el tipo de luz o espectro específicamente deseado para las plantas. La generación de calor es muy baja, así que los cultivos pueden ser colocados a cortas distancias sin percibir ningún daño o foto estrés, además que su tamaño es relativamente pequeño, de 2 a 5 cm (Gupta y Jatothu 2013).

Cuadro 1. Características de distintos tipos de lámparas usadas en iluminación de plantas.

<b>Tipo de lámpara</b>	<b>Salida espectral</b>	<b>Eficacia luminosa (lm / W)</b>	<b>Requisito de energía (W)</b>	<b>Vida útil (horas)</b>
Incandescente	Amplio Espectro	20	15-1000	1000
Fluorescente	Amplio Espectro	100-120	5-125	1000-30 000
Sodio de Alta Presión	Amplio Espectro	80-125	35–1000	10.000-30.000
Halogenuros metálicos	Amplio Espectro	100-120	35–400	10,000-20,000
LED	Longitudes de onda específicas	80-150	0.1–5	> 50,000

Fuente: Gupta y Agarwal 2017.

Los costos de producción son unas de las mayores limitantes en la propagación comercial de plántulas provenientes de micropropagación. La electricidad puede constituir entre el 20 al 60% de los costos totales, dependiendo del país. Bajo el uso de LEDs se puede reducir significativamente estos, llegando hasta un ahorro entre 50 y 75% de electricidad (Miler *et al.* 2019; Tomar *et al.* 2007).

Otro aspecto importante es que los dispositivos que emiten luces LED tienen un ángulo menor a 180 grados lo que significa que toda la luz generada se enfoca en la parte frontal del módulo, situación contraria de los otros equipos artificiales que generan luz en varias direcciones, debiendo utilizar accesorios adicionales para direccionar la luz hacia la planta (Macias *et al.* 2012).

### **Uso de “LEDS” en micropropagación**

La aplicación comercial del cultivo de tejidos vegetales ha ganado popularidad en las últimas décadas como un medio para la producción rápida de propágulos a gran escala. También es una de las técnicas más confiables para la conservación de germoplasma *ex situ* de especies de plantas raras y en peligro de extinción. La tecnología nos brinda la oportunidad de controlar el desarrollo de las plantas regulando numerosos parámetros que influyen en el crecimiento y desarrollo (Castillo 2008; Sharry *et al.* 2015).

Tradicionalmente, la inducción de cambios en el crecimiento y desarrollo de las plantas *in vitro* se ha investigado mediante diversos parámetros microambientales como la composición del medio, los reguladores del crecimiento de las plantas, la temperatura del espacio, el contenido de CO<sub>2</sub> y

varios tratamientos químicos (Kozai y Xiao 2006), mientras se iluminan los cultivos mediante lámparas de descarga de gas (GDIs), comúnmente lámparas fluorescentes (FL).

Los GDIs emiten luz blanca con patrones de emisión de 400 a 700 nm a intensidades fijas. La morfogénesis de las plantas y sus aspectos relacionados están regulados principalmente por varios fotorreceptores que son activados por fotones en las regiones azul, roja y roja lejana del espectro de luz. Una parte significativa de la salida espectral emanada por GDIs no es utilizada por los cultivos de plantas (Gupta y Jatothu 2013).

Además, el exceso de irradiación de luz causa fotoinhibición y daño fotooxidativo en las plantas (Kasahara *et al.* 2004). Además del desperdicio de energía debido a los fotones de longitudes de onda indeseables y el exceso de irradiación de luz, los GDIs también disipan mucha energía en forma de calor. Por lo tanto, los GDIs pueden no ser la opción ideal para iluminar los cultivos mantenidos *in vitro*, y existe la necesidad de una fuente de luz eficiente para mejorar la tasa de micropropagación y reducir el costo.

Los diodos emisores de luz (LED) se han propuesto recientemente como una fuente de luz versátil y energéticamente eficiente para diversas aplicaciones del cultivo de tejidos vegetales. La emisión de banda de ondas estrecha y el control dinámico de la intensidad de la luz en los sistemas de iluminación basados en LED permiten la personalización de la calidad espectral para adaptarse a los requisitos de las plantas (Gupta y Jatothu 2013).

La precisión en la conversión de energía eléctrica en fotones de longitudes de onda específicas con la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) deseada con una pérdida de calor insignificante hace que los LED sean más eficientes energéticamente que todas las demás fuentes de iluminación artificial disponibles. Los rápidos avances en el campo de la tecnología LED para reducir los costos de fabricación están ampliando el alcance de su aplicación en la micropropagación comercial.

La multiplicación asexual de plantas por regeneración *in vitro* es fundamental para la propagación de las plantas, manteniendo su fidelidad genética. Las dos vías de desarrollo distintas implicadas en la regeneración de las plantas son la organogénesis y la embriogénesis somática. Las plántulas regeneradas así obtenidas deben aclimatarse y finalmente transferirse a condiciones *ex vitro* para un mayor crecimiento. Se ha estudiado la influencia de la iluminación LED en la organogénesis *in vitro*, así como en la embriogénesis somática, en una variedad de especies de plantas (Cuadro 2). Dado que se sabe que los fotorreceptores de las plantas son estimulados principal y significativamente por las regiones rojas y azules del espectro de luz, la mayoría de los estudios se han centrado en evaluar el impacto del azul monocromático y mixto (440-480 nm) y rojo (630-665 nm) tratados con luces LEDs (Gupta y Agarwal 2017).



Cuadro 2. Efecto del uso de LEDs comparado con las Fluorescentes (FL) en la micropropagación.

Planta	Tipo de Luz	DFFF	Fotoperiodo	Parámetros	Efectos	Referencia
Banano ( <i>Musa acuminata</i> ) "Grande naine"	100% Rojo	160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	16h de luz/ 8h de oscuridad	Número de brotes por explante	9.11 brotes	Ankita <i>et al.</i> 2017
	FL				5.40 brotes	
Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ) "CTC-07"	50% Rojo + 50%	60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	16h de luz/ 8h de oscuridad	Número de macollas por explante	3.0 macollas	Medeiros de Araújo <i>et al.</i> 2016
	FL	46 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$			3.33 macollas	
Caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ) RB98710	82% Rojo + 12% Azul	80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	16 h de luz/ 8 h de oscuridad	Número de brotes por explante	5.58 brotes	Tomaz Ferreira <i>et al.</i> 2017
	FL	50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$			4.58 brotes	
<i>Stevia reubadiana</i> Bertoni	100% Rojo	40-50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	16 h de luz/ 8 h de oscuridad	Número de brotes por explante	9.11 brotes	Ramírez-Mosqueda <i>et al.</i> 2017a
	FL				5.40 brotes	
Vainilla ( <i>Vanilla planifolia</i> ) "Jacks"	100% Rojo	40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	16h de luz/8 h de oscuridad.	Número de brotes por explante	5.80 brotes	Ramírez-Mosqueda <i>et al.</i> 2017b
	FL				5.27 brotes	
<i>Dendrobium officinale</i>	100% Azul	70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	16 h de luz/ 8h de oscuridad	Numero de brotes por explante	11.5 brotes	Lin <i>et al.</i> 2011
	FL				5.5 brotes	

## 4. CONCLUSIONES

- Las luces LEDs con respecto a luces convencionales presentan múltiples ventajas como emisión de longitudes específicas deseadas, larga vida útil, bajo consumo de energía y mínima emisión de calor.
- Las luces fluorescentes, aunque son las más usadas presentan múltiples desventajas, como alto consumo de energía, emisión de longitudes de onda indeseadas y una corta vida útil.
- Con las luces LEDs se han alcanzado igual o mayor número de brotes por explante en diferentes cultivos comparado con luces fluorescentes.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Realizar investigaciones con el uso de LEDs a distintas intensidades y combinaciones de espectros en los cultivos que se producen en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Escuela Agrícola Panamericana.

## 6. LITERATURA CITADA

- Ankita T, Sengar RS, Ramji S, Bijender S, Mukesh K, Singh SK. 2017. Effect of various light-emitting diodes on growth and photosynthetic pigments of banana (*Musa acuminata*) CV. grande naine in vitro plantlets. *Biotech Today: An International Journal of Biological Sciences*. 7(1):58-61. doi: 10.5958/2322-0996.2017.00008.4
- Araujo A, Pasqual M, de Castro EM, Yuriko L. 2009. Light quality in the biometrics and leaf anatomy of *Cattleya loddigesii* L. seedlings (Orchidaceae) micropropagated. *Ciencia Rural*. 39(9):2506-2511. doi: 10.1590/S0103-84782009000900019
- Bello-Bello JJ, Perez-Sato JA, Cruz-Cruz CA, Martinez-Estrada E. 2017. Light- Emitting Diodes: Progress in Plant Micropropagation. *InTech*. 6(1):93-103. doi:10.5772/67913
- Beltrano J, Giménez DO. 2011. Fotomorfogénesis Vegetal. Argentina: Universidad Nacional de La Plata; [consultado el 28 de sep. de 2020]. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/51978/mod\\_resource/content/1/Fotomorfog%C3%A9nesis.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/51978/mod_resource/content/1/Fotomorfog%C3%A9nesis.pdf)
- Bourget CM. 2008. An Introduction to Light-emitting Diodes. *HortScience*. 43(7):1944-1946. doi: 10.21273/HORTSCI.43.7.1944\_
- Bula RJ, Morrow RC, Tibbitts TW, Barta D. 1991. Light- emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience*. 26(2):203-205. doi: 10.21273/HORTSCI.26.2.203
- Carrasco-Ríos L. 2009. Efecto de la radiación Ultravioleta-B en plantas. *Idesia (Arica)*. 27(3):59-76. doi: 10.4067/S0718-34292009000300009
- Casierra-Posada F, Peña-Olmos J. 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(1);84-92. doi: 10.18257/raccefyn.276
- Casierra-Posada F, Rojas JF. 2009. Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica). *Agronomía Colombiana*. [consultado el 12 de sep. de 2020]. 27(1):49-55.
- Castillo A. 2008. Propagación de plantas por cultivo in vitro: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo. INIA. [consultado el 12 de ago. 2020]. 8p. [http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/lb/ad/2004/ad\\_382.pdf](http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/lb/ad/2004/ad_382.pdf)

- De Las Rivas J. 2015. La luz y el aparato fotosintético. En: Azcón-Nieto J, Talón M, editores. Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2 ed. Madrid: McGraw-Hill España. p. 165-189.
- Demers DA, Dorais M, Wien CH, Gosselin A. 1998. Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *Scientia Horticulturae*. 74(4):295-306 doi: 10.1016/S0304-4238(98)00097-1
- FAO, Food and Agriculture Organization. 2017. The future of food and agriculture-Trends and challenges. Roma
- George EF, Hall MA, De Klerk G. 2008. Plant propagation by tissue culture. 1a Ed. Dordrecht, Netherlands: Springer; [consultado 8 de jul. de 2020]. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-5005-3#about>
- Golovatskaya IF, Karnachuk RA. 2015. Role of green light in physiological activity of plants. *Russ J Plant Physiol*. 62(6):727-740. doi: 10.1134/S1021443715060084.
- Gupta SD, Agarwal A. 2017. Artificial lighting system for plant growth and development: Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment. En: Dutta S, editor. *Light Emitting Diodes for Agriculture*. Kharagpur: Springer. p. 1-25.
- Gupta SD, Jatothu B. 2013. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*. 7(3):211-220. Doi: 10.1007/s11816-013-0277-0
- Heo JW, Lee CW, Paek KY. 2006. Influence of mixed LED radiation on the growth of annual plants. *J. Plant Biol*. 49(4):286-290. doi: 10.1007/BF03031157
- Hoenecke ME, Bula RJ, Tibitts TW. 1992. Importance of “blue” photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *HortScience*. 27(5):427-430. doi: 10.21273/HORTSCI.27.5.427
- Kakani VG, Reddy KR, Zhao D, Sailaja K. 2003. Field crop responses to Ultraviolet-B (UV-B) radiation: A review. *Agricultural and Forest Meteorology*. 120(1):191-218. doi: 10.1016/j.agrformet.2003.08.015
- Kasahara M, Kagawa T, Sato Y, Kiyosue T, Wada M. 2004. Phototropins mediate blue and red light-induced chloroplast movements in *Physcomitrella patens*. *Plant Physiology*. 135(3):1388-1397. doi: 10.1104/pp.104.042705

- Kozai T, Xiao Y. 2006. A Commercialized Photoautotrophic Micropropagation System. En: Gupta SD, Ibaraki Y, editores. Plant Tissue Culture Engineering. Focus on Biotechnology, volumen 6. Dordrecht: Springer. p. 355-371
- Lee H, Laguna A, Murguía J, Iglesias L, García B, Escobedo D, Martínez Y, Barredo F, Santana N. 2010. Un protocolo de embriogénesis somática para la regeneración y caracterización *in vitro* de *Laelia anceps* ssp. *Dawsonii*. Revista fitotecnia mexicana. [consultado el 29 de jun. de 2020]. 33(4):323-332
- Lin Y, Li J, Li B, He T, Chun Z. 2011. Effect of the light quality on growth and development of protocorm-like bodies of *Dendrobium officinale* in vitro. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 105(3):329-335. doi: 10.1007/s11240-010-9871-9
- Loberant B, Altman A. 2010. Micropropagation of Plants. Wiley Online Library. 1-16. <https://doi.org/10.1002/9780470054581.eib442>
- Macias H, Ramos Y, Ulianov Y. 2012. Estudio de los beneficios de cambio de bombillas de sodio de alta presión por diodos emisores de luz de alto brillo. El Hombre y la Máquina. [consultado el 09 de sep. de 2020]. 24(39):12-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?idp=1&id=47824590003&cid=19827>
- Mazza CA, Battista D, Zima AM, Szwarcberg-Bracchitta M, Giordano CV, Acevedo A, Scopel AL, Ballaré CL. 1999. The effects of solar ultraviolet-B radiation on the growth and yield of barley are accompanied by increased DNA damage and antioxidant responses. Plant, Cell and Environment. 22(1):61-70. doi: 10.1046/j.1365-3040.1999.00381.x
- Medeiros de Araújo M, Barboza A, Oliveria-Filho RA, Camara T, Willadino L, Gouveia-Neto A. 2016. The effect of spectral light quality on in vitro culture of sugarcane. Acta Scientiarum. Biological Sciences. 38(2):157-161. doi:10.4025/actascibiolsci.v38i2.31109
- Meisel LA, Urbina DC, Pinto ME. 2011. Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales lumínicas. En: Squeo FA, Cardemill L, editores. Fisiología Vegetal. 1 ed. La Serena, Chile: Ediciones Universidad de La Serena. p. 1-10
- Miler N, Kulus D, Wozny A, Rymarz D, Hajzer M, Wierzbowski K, Nelke R, Szeffs L. 2019. Application of wide-spectrum light-emitting diodes in micropropagation of popular ornamental plant species: a study on plant quality and cost reduction. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant. 55(1):99-108. doi: 10.1007/s11627-018-9939-5
- Mitchell CA, Sheibani F. 2019. LED advancements for plant-factory artificial lighting. En Kozai T, Niu G, Takagaki M, editores. Plant Factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production. 2 ed. Inglaterra. Elsevier. p. 167-184.

- Mottaleb KA. 2018. Perception and adoption of a new agricultural technology: Evidence from a developing country. *Technology in Society*. DOI: 10.1016/j.techsoc.2018.07.007
- Olmos S, Luciani G, Galdeano E. 2010. Micropropagación. En: Levitus G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L. *Biotechnología y Mejoramiento Vegetal II*. Argentina: Ediciones INTA. p. 353-362.
- Pancorbo D, Quispe R, Damian W. 2017. Influencia de la iluminación LEDs en plántulas in-vitro de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Inia Canchan en el Laboratorio de Biotecnología-Abancay. [tesis de pregrado]. Abancay, Peru: Universidad Tecnológica de los Andes.
- Potter DJ, Ducombe P. 2011. The effect of electrical lighting power and irradiance on indoor-grown cannabis potency and yield. *Journal of Forensic Sciences*. 57(3):618-622. doi: 10.1111/j.1556-4029.2011.02024.x
- Ramírez-Mosqueda MA, Iglesias-Andreu LG, Bautista-Aguilar JR. 2017a. The Effect of Light Quality on Growth and Development of *In vitro* Plantlet of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Sugar Tech*. 19(3):331-336. doi: 10.1007/s12355-016-0459-5
- Ramírez-Mosqueda Ma, Iglesias-Andreu LG, Luna-Sánchez IJ. 2017b. Light quality affects growth and development of *in vitro* plantlet of *Vanilla planifolia* Jacks. *South African Journal of Botany*. 109(1):288-293. doi: 10.1016/j.sajb.2017.01.205
- Ramos Y, Ramírez E. 2016. Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores- Vertical Farming (VF). *Informador Técnico*. 80(2):111. doi: 10.23850/22565035.480
- Rodriguez-Sahagun A, Rodriguez JM, Rodriguez-Garay B, Acevedo-Hernandez G. 2011. Effect of light quality and culture medium on somatic embryogenesis of *Agave tequilana* Weber var. Azul. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 104(2):271-275. DOI: 10.1007/s11240-010-9815-4
- Sager JC, McFarlane JC. 1997. Radiation. En: Langhans RW, Tibbits TW, editores. *Plant Growth Chamber Handbook*. Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Special Report no.99. Ames: Iowa State University Press. p. 1-29.
- Sandoval J, Brenes G, Perez Sanchez L. 1991. Micropropagación de Banano y Platano en el CATIE. Informe Técnico CATOE N° 186. [consultado el 23 ago. de 2020]. [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3124/Micropropagacion\\_de\\_platano\\_y\\_banano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3124/Micropropagacion_de_platano_y_banano.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

- Sharry SE, Adema M, Abedini W. 2015. Plantas de probeta: Manual para la propagación de plantas por cultivo de tejidos *in vitro*. 1a ed. La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata; [consultado el 12 de ago. de 2020]. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46738/Documento\\_completo\\_\\_pdf-PDFA.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46738/Documento_completo__pdf-PDFA.pdf?sequence=1)
- Shin KS, Murthy HN, Heo JW, Hahn EJ, Paek KY. 2008. The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30(3):339-343. doi: 10.1007/s11738-007-0128-0
- Suarez IE. 2020. Cultivo de tejidos vegetales. 1a Ed. Colombia: Fondo Editorial Universidad de Cordova; [consultado 30 de jun. de 2020]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2553/Libro%20Cultivo%20de%20Tejidos%20Vegetales%20Edici%c3%b3n%2003-03-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Taiz L, Zeiger E. 2006. Fisiología vegetal. 3a ed. Castelló de la Plana: Universitat Jaume. ISBN: 9788480216012.
- Tamayo Astudillo CF. 2014. Tasa de incremento lumínico óptimo durante la aclimatación *in vitro* de *Nothofagus alpina* (*Nothofagus alpina* Poepp et Endl (Oerst)). [tesis de pregrado]. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Tomar UK, Negi U, Sinha AK, Kumar P. 2007. An overview of the economic factors influencing micropropagation. India: My Forest; [consultado el 27 de jun. de 2020]. [https://www.researchgate.net/publication/236149384\\_An\\_Overview\\_of\\_the\\_Economic\\_Factors\\_Influencing\\_Micropropagation](https://www.researchgate.net/publication/236149384_An_Overview_of_the_Economic_Factors_Influencing_Micropropagation)
- Tomaz Ferreira L, Medeiros de Araújo M, Ulisses C, Camara TR, Willadino L. 2017. Using LED lighting in somatic embryogenesis and micropropagation of an elite sugarcane variety and its effect on redox metabolism during acclimatization. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 128(1):211-221. doi: 10.1007/s11240-016-1101-7
- Wampash GB, Nieves GR, Barriga FM. 2011. Implementación, adecuación y valoración de un sistema de climatizado, para el área de incubación del Laboratorio de Micropropagación de del Campus Juan Lunardi Cantón Paute, Provincia del Azuay. [tesis de pregrado]. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Wheeler RM, Sager JC, Prince RP, Knott WM, Mackowiak CL, Stutte GW, Yorio NC, Ruffe LM, Peterson BV, Goins G. 2003. Crop production for advanced life support systems- Observations from the Kennedy Space Center Breadboard Project. Cocoa Beach: NTRS. [consultado el 08 de jul. de 2020]. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20030032422>



Yu L, Song C, Sun L, Li L, Xu Z, Tang, C. 2020. Effects of light-emitting diodes on tissue culture plantlets and seedlings of rice (*Oryza sativa* L). *Journal of Integrative Agriculture*. 19(7): 1743-1754. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62793-0