



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TESIS

CON EL TEMA:

**“DISEÑO Y DESARROLLO DE MICROCONTROLADOR PARA ESPECTRO RGB
EN DESARROLLO DEL CULTIVO EN PLANTULA”**

QUE PRESENTAN:

**MARIA DE LOURDES MARTINEZ RAMOS
LUIS OCTAVIO NERI VELAZQUEZ
NORMA ROCIO RIVERA MARTINEZ**

ASESORA

MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO

REVISORES

**MIS. CHRISTIAN GUILLERMO MURGUIA VADILLO
DRA. MAYRA ITZCALOTZIN MONTERO CORTES**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIEROS EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO. MARZO, 2025.



Instituto Tecnológico de Tlajomulco
Dirección
Subdirección Académica

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 03/Marzo/2025
No. DE OFICIO: D.SA/DEP/344/2025

ASUNTO: Autorización de impresión
definitiva y digitalización.

C. MARIA DE LOURDES MARTINEZ RAMOS
C. LUIS OCTAVIO NERI VELAZQUEZ
C. NORMA ROCIO RIVERA MARTINEZ
PASANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
P R E S E N T E

Dado que el Comité dictaminó como **APROBADA** su TITULACIÓN INTEGRAL: OPCIÓN I (TESIS), con el tema
"DISEÑO Y DESARROLLO DE MICROCONTROLADOR PARA ESPECTRO RGB EN DESARROLLO DEL
CULTIVO EN PLANTULA" y determinó que dan cumplimiento con los requisitos establecidos, se les
notifica que tienen la autorización para su impresión definitiva y digitalización.

Sin otro particular quedo de usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®

C. MARÍA ISABEL BECERRA RODRÍGUEZ
DIRECTORA DEL PLANTEL



C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio
C.c.p.- Minutario. -
MIBR/RNP/VHPS/mjhc*



2025
Año de
La Mujer
Indígena

KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández
Gómez C.P.45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal. Tel. 33 29 02 11 30 ext.1015
e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Tlajomulco
Dirección
Subdirección Académica
Departamento de Ingenierías

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 01/Marzo/2025
No. DE OFICIO: D.SA/DING/053/2025

ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	MARIA DE LOURDES MARTINEZ RAMOS
NO. DE CONTROL:	20940359
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
NOMBRE DEL PROYECTO:	"DISEÑO Y DESARROLLO DE MICROCONTROLADOR PARA ESPECTRO RGB EN DESARROLLO DEL CULTIVO EN PLANTULA"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®

MC. FABIOLA BEJARANO REBOLLEDO
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS

 MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO Nombre y firma del asesor	 MIS CRISTIAN GUILLERMO MURGUIA VADILLO Nombre y firma del revisor	 DRA. MAYRA ITZCALOTZIN NONTERO CORTES Nombre y firma del revisor
--	---	--

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio

C.c.p.- Minutario. -

FBR/mjhc*



2025
Año de
La Mujer
Indígena

KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández
Gómez C.P.45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal. Tel. 33 29 02 11 30 ext.1015
e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Tlajomulco
Dirección
Subdirección Académica
Departamento de Ingenierías

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 01/Marzo/2025
No. DE OFICIO: D.SA/DING/056/2025

ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	LUIS OCTAVIO NERI VELAZQUEZ
NO. DE CONTROL:	20940376
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
NOMBRE DEL PROYECTO:	"DISEÑO Y DESARROLLO DE MICROCONTROLADOR PARA ESPECTRO RGB EN DESARROLLO DEL CULTIVO EN PLANTULA"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®
Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®*


MC. FABIOLA BEJARANO REBOLLEDO
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS

 MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO Nombre y firma del asesor	 MIS CRISTIAN GUILLERMO MURGUIA VADILLO Nombre y firma del revisor	 DRA. MAYRA ITZCALOTZIN NONTERO CORTES Nombre y firma del revisor
---	--	---

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio
C.c.p.- Minutario. -
FBR/mjhc*



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández
Gómez C.P.45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal. Tel. 33 29 02 11 30 ext.1015
e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Tlajomulco

Dirección

Subdirección Académica

Departamento de Ingenierías

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 01/Marzo/2025

No. DE OFICIO: D.SA/DING/052/2025

ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	NORMA ROCIO RIVERA MARTINEZ
NO. DE CONTROL:	20940384
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
NOMBRE DEL PROYECTO:	"DISEÑO Y DESARROLLO DE MICROCONTROLADOR PARA ESPECTRO RGB EN DESARROLLO DEL CULTIVO EN PLANTULA"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®

MC. FABIOLA BEJARANO REBOLLEDO
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS

 MTI. VIOLETA HAIDE PLAZOLA SOLTERO Nombre y firma del asesor	 MIS CRISTIAN GUILLERMO MURGUIA VADILLO Nombre y firma del revisor	 DRA. MAYRA ITZCALOTZIN NONTERO CORTES Nombre y firma del revisor
---	--	--

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio

C.c.p.- Minutario. -

FBR/mjhc*



2025
Año de
La Mujer
Indígena

KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández
Gómez C.P.45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal. Tel. 33 29 02 11 30 ext.1015
e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx



RESUMEN

Este proyecto desarrolla un sistema innovador de iluminación LED para el cultivo de plantas *in vitro*, utilizando energía solar como fuente renovable. Su objetivo principal es optimizar el crecimiento de plantas *in vitro* en condiciones controladas, garantizando un uso eficiente de la luz y reduciendo el impacto ambiental mediante el aprovechamiento de energía limpia.

El sistema incorpora un **riel motorizado** que permite ajustar tanto la **intensidad lumínica** como la **distancia de las luces**, facilitando un control preciso de las condiciones de cultivo en diferentes etapas de desarrollo. Además, integra **sensores de monitoreo en tiempo real**, asegurando que las plantas reciban una iluminación óptima sin riesgo de daño.

La metodología consistió en el diseño e implementación de un **sistema de iluminación LED ajustable**, alimentado por **paneles solares**, y complementado con **sensores de luz y motores** para el control dinámico de la posición de las luces. Se realizaron pruebas en condiciones controladas, evaluando distintas configuraciones lumínicas y su impacto en el crecimiento vegetal. Los resultados demostraron que el sistema **maximiza el uso de energía**, mientras que las plantas exhibieron un desarrollo óptimo en comparación con sistemas convencionales.

Para facilitar la operación y personalización del sistema, se desarrolló una **aplicación web interactiva**, que permite:

La interfaz muestra, Intensidad en tiempo real, distancia de las luces hacia la plántula, muestra un temporizador para el encendido y apagado de las luces, y un cuadro de texto para enviar la distancia en centímetros de altura de las luces, selectores de color para su respectivo modulo que muestra los valores en RGB y en hexadecimal, se puede modificar individualmente, además cuenta con una barra para aumentar o disminuir la intensidad de ambos módulos.

- Controlar la **intensidad de las luces en tiempo real**.
- Monitorear la **distancia de las luces respecto a las plántulas**.
- Visualizar un **temporizador** para el encendido y apagado de las luces.
- Ingresar y ajustar la **altura de los módulos LED** mediante un cuadro de texto.
- Seleccionar el **color de iluminación** para cada módulo, con visualización en **RGB y hexadecimal**.
- Modificar la intensidad de manera individual mediante una **barra deslizante**.

El sistema propuesto no solo representa una **solución eficiente y sostenible** para el cultivo de plantas *in vitro*, sino que también constituye un **avance en la agricultura de precisión**. Su capacidad de operar de forma **autosuficiente gracias a la energía solar** lo convierte en una alternativa viable para **zonas remotas**, reduciendo costos operativos y mejorando el acceso a tecnologías de cultivo controlado en diversas regiones.

ABSTRACT

This project develops an innovative LED lighting system for the cultivation of plants in vitro, using solar energy as a renewable source. Its main objective is to optimize the growth of plants in vitro under controlled conditions, guaranteeing an efficient use of light and reducing the environmental impact through the use of clean energy.

The system incorporates a motorized rail that allows you to adjust both the light intensity and the distance of the lights, facilitating precise control of the growing conditions at different stages of development. In addition, it integrates real-time monitoring sensors, ensuring that plants receive optimal lighting without risk of damage.

The methodology consisted of the design and implementation of an adjustable LED lighting system, powered by solar panels, and complemented with light sensors and motors for dynamic control of the position of the lights. Tests were carried out under controlled conditions, evaluating different light configurations and their impact on plant growth. The results demonstrated that the system maximizes energy use, while the plants exhibited optimal development compared to conventional systems.

To facilitate the operation and customization of the system, an interactive web application was developed, which allows:

The interface shows, Real-time intensity, distance of the lights to the seedling, shows a timer for turning the lights on and off, and a text box to send the distance in centimeters of height of the lights, color pickers for their respective module that shows the values in RGB and hexadecimal, It can be individually modified, it also has a bar to increase or decrease the intensity of both modules.

Control the intensity of the lights in real time.

Monitor the distance of the lights from the seedlings.

Display a timer for turning lights on and off.

Enter and adjust the height of the LED modules using a text box.

Select the lighting color for each module, with RGB and hex display.

Modify the intensity individually using a sliding bar.

The proposed system not only represents an efficient and sustainable solution for in vitro plant cultivation, but also constitutes a breakthrough in precision agriculture. Its ability to operate self-sufficient thanks to solar energy makes it a viable alternative for remote areas, reducing operating costs and improving access to controlled cultivation technologies in various regions.

ÍNDICE

Tabla de contenido

	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
ÍNDICE	5
INTRODUCCIÓN	9
MARCO TEÓRICO	11
Diseñar e implementar un sistema de iluminación LED .	11
Desarrollar una aplicación web que permite seleccionar el espectro lumínico óptimo para la propagación de plantas <i>in vitro</i> .	11
Implementar en el sistema de iluminación una fuente híbrida con paneles solares.	12
Evaluar el sistema de luces en el desarrollo de plantas propagadas en condiciones <i>in vitro</i> .	12
Aplicaciones	13
Fases de cultivo: Establecimiento y crecimiento rápido	14
Crecimiento rápido	15
ANTECEDENTES	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
Problema Central	16
JUSTIFICACIÓN	17
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
HIPÓTESIS	19
MATERIALES Y MÉTODOS	20
Diseño del Sistema de Iluminación LED	20
Implementación del Hardware	21
Configuración del Microcontrolador ESP32	21
Instalación del Sistema de Iluminación LED	21
Desarrollo del Software	22
Programación del ESP32	22
Desarrollo de la Aplicación Web	22

Validación del Efecto de la Luz	22
Sistema de Iluminación LED de Alta Eficiencia	24
Control de Intensidad y Movimiento de la Iluminación	24
Sensores de Iluminación y Proximidad	24
Motores y Mecanismo de Desplazamiento	24
Sistema de Control	25
Distribución y Gestión de Energía	25
Proceso de Ajuste Manual	25
Pruebas y Validación	26
Elección del Espectro de Luz	27
Potencia y Eficiencia de los LEDs	27
Riel Motorizado	28
Control de Intensidad	28
Integración con Energía Solar	28
Selección del Panel Solar	29
Almacenamiento de Energía: Baterías	29
Capacidad de las Baterías	30
Tipo de Batería	30
Sistema de Gestión de Energía (BMS)	30
Gestión de la Energía	31
Procedimiento y Descripción de las Actividades Realizadas	32
Diseño experimental y análisis de datos	33
Crecimiento en Función del Tipo de Luz LED	33
Crecimiento en Función del Tipo de Luz LED	34
RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
Resultados de las Pruebas de Funcionamiento del sistema de iluminación LED	35
Pruebas y Validación del Sistema	36
Problemas presentados en el proyecto	37
Puntos a mejorar del sistema de iluminación LED	37
Evaluación del experimento en planta usando el sistema de iluminación LEDs	40
CONCLUSIÓN	42
ANEXOS	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de desarrollo de plántulas expuestas al sistema de iluminación LEDs, al día 30, 60 y 180 días.	44
Tabla 2. Especificaciones de los materiales utilizados	48

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Plántula in vitro semillas	13
FIGURA 2 Diagrama eléctrico final	28
FIGURA 3 Primer diseño del sistema eléctrico LED	31
FIGURA 4 Diagrama De conexión	35
FIGURA 5 Proyecto General	41
FIGURA 6 Aplicación de valores en el código	42
FIGURA 7 Elementos de la página Web	43
FIGURA 8 Resultados de plántulas	46
FIGURA 9 Luces LED utilizadas	50
FIGURA 10 Avance de plántulas en crecimiento	50
FIGURA 11 Efecto de luces en plántulas	51
FIGURA 12 Gráfica comparativa de los tres bimestres	51
FIGURA 13. Avance de crecimiento de plántulas	52
FIGURA 14. Librerías	53
FIGURA 15. Variables de controlador--Variables globales	54

INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas *in vitro* es una técnica esencial en biotecnología y agricultura, permitiendo la producción controlada de plantas en condiciones ambientales óptimas. Esta técnica es clave para la mejora genética, la conservación de especies y la producción masiva de cultivos en áreas con limitaciones agrícolas. Sin embargo, uno de los factores más críticos en el desarrollo de las plantas *in vitro* es la gestión de las condiciones ambientales, especialmente la luz.

La intensidad, la calidad y la duración de la luz son fundamentales para optimizar la fotosíntesis, y su control adecuado es necesario para promover un crecimiento saludable y eficiente de las plantas. Por esta razón, el diseño de sistemas de iluminación de alta precisión se vuelve imprescindible. Tradicionalmente, los sistemas de iluminación utilizados en el cultivo de plantas *in vitro* se basan en tecnologías convencionales, como lámparas fluorescentes o de sodio, que no ofrecen un control preciso sobre la intensidad ni el espectro de luz necesario en cada etapa del ciclo de vida de las plantas.

Además, estos sistemas dependen principalmente de fuentes de energía tradicionales, lo que incrementa el costo operativo. En este sentido, se hace urgente la búsqueda de alternativas sostenibles y eficientes que permitan optimizar los recursos disponibles sin comprometer la productividad ni el bienestar ambiental. Una solución a este desafío radica en la combinación de iluminación LED, que ofrece un control más exacto sobre el espectro y la intensidad lumínica, y el uso de energía solar, lo que permite reducir el impacto ambiental y hacer el sistema autosuficiente. Sin embargo, la implementación efectiva de estas tecnologías requiere de un control automatizado y preciso de los parámetros lumínicos, lo cual es posible gracias a la programación y la integración de sistemas electrónicos avanzados.

En este contexto, la programación desempeña un papel clave en el desarrollo del sistema propuesto. La creación de un sistema automatizado que ajuste de

manera precisa la intensidad lumínica y la proximidad de las luces LED a las plantas en función de sus necesidades en tiempo real es fundamental para maximizar su crecimiento y salud. Utilizando plataformas de microcontroladores y sensores, es posible programar algoritmos que gestionen de forma eficiente el movimiento del riel motorizado, la activación de las luces. Además, el uso de la programación no solo optimiza el funcionamiento del sistema, sino que también permite la personalización y adaptación a distintos tipos de plantas y etapas de crecimiento. La combinación de programación, tecnología LED y energía solar abre nuevas posibilidades para la biotecnología y la agricultura sostenible, haciendo que los sistemas de cultivo controlado sean más eficientes, económicos y accesibles, especialmente en áreas remotas o con recursos limitados. Este enfoque no solo representa una innovación en el campo de la fotobiología, sino que también demuestra cómo las tecnologías emergentes, como la programación, pueden contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles y escalables en el ámbito agrícola.

MARCO TEÓRICO

Diseñar e implementar un sistema de iluminación LED con cambio de color, equipado con un sensor de proximidad e instalado sobre un riel ajustable para regular la distancia.

La eficiencia en el cultivo de plantas *in vitro* depende en gran medida de la gestión de la luz, ya que la fotosíntesis es crucial para el desarrollo adecuado de las plantas. El sistema de iluminación LED propuesto, con la capacidad de cambiar de color, puede adaptar el espectro lumínico a las necesidades específicas de las plantas en diferentes etapas de su crecimiento. Los LEDs son conocidos por su eficiencia energética, capacidad para controlar el espectro lumínico y la baja emisión de calor, lo que los hace ideales para el cultivo en condiciones controladas. Al integrar un sensor de proximidad, el sistema podrá ajustar automáticamente la distancia de la luz a las plantas, optimizando la intensidad de la luz sin causarles daño. La instalación sobre un riel motorizado, además, permitirá regular la distancia de manera precisa, adaptándose a las necesidades de las plantas de manera dinámica.

Desarrollar una aplicación web que permite seleccionar el espectro lumínico óptimo para la propagación de plantas *in vitro*.

La luz, en su calidad y espectro, es uno de los factores clave en el crecimiento de las plantas *in vitro*. Diversos estudios han demostrado que la luz azul y roja son esenciales para la fotosíntesis y el crecimiento celular en plantas. La aplicación web propuesta permitirá a los usuarios seleccionar el espectro lumínico óptimo según las necesidades específicas de las plantas en propagación, ya sea para la germinación, la fase vegetativa o el desarrollo de flores. Mediante una interfaz sencilla, los usuarios podrán ajustar las proporciones de luz roja y azul, asegurando que las condiciones de luz sean las más adecuadas para maximizar la eficiencia en el proceso de propagación. La integración con el sistema de iluminación permitirá un control en tiempo real de los parámetros lumínicos, haciendo el proceso más flexible y ajustado a las necesidades particulares de cada cultivo.

Implementar en el sistema de iluminación una fuente híbrida con paneles solares.

La sostenibilidad y la autosuficiencia energética son principios fundamentales en la agricultura controlada, especialmente en zonas remotas o áreas con infraestructura eléctrica limitada. La integración de paneles solares al sistema de iluminación proporciona una fuente de energía renovable que hace posible que el sistema opere de manera autónoma. El uso de una fuente híbrida, combinando energía solar y una fuente de respaldo, permitirá al sistema ser más eficiente en términos de costos operativos y sustentabilidad, asegurando su funcionamiento incluso en condiciones de baja radiación solar. Además, este enfoque contribuirá a la reducción de la huella de carbono del proyecto, alineándose con prácticas agrícolas sostenibles.

Evaluar el sistema de luces en el desarrollo de plantas propagadas en condiciones *in vitro*.

La evaluación del sistema de iluminación en el desarrollo de plantas *in vitro* es esencial para medir su efectividad en condiciones controladas. En este contexto, el sistema de iluminación con LEDs regulables proporcionará condiciones lumínicas precisas que podrán ser ajustadas según el tipo de planta y sus necesidades durante las diferentes fases de su desarrollo. Se evaluará la eficiencia en la fotosíntesis, el crecimiento radicular, la calidad de las plántulas y la reducción de patologías causadas por condiciones de luz inadecuadas. Además, se analizarán los efectos de los diferentes espectros de luz en la tasa de propagación, la morfología de las plantas y la adaptabilidad a condiciones de cultivo *in vitro*. La recopilación de estos datos permitirá determinar qué ajustes en el sistema de iluminación ofrecen los mejores resultados en términos de desarrollo y salud de las plantas.



FIGURA 1 Plántula in vitro semillas

Aplicaciones

En el ámbito del mejoramiento genético, las técnicas de propagación *in vitro* han permitido desarrollar nuevas variedades que son resistentes a diversas enfermedades y están adaptadas a condiciones ambientales específicas. Este avance se ha convertido en un pilar fundamental no sólo para optimizar cultivos de alto rendimiento, sino también para implementar programas de restauración ecológica, en los cuales la propagación de especies nativas es esencial para la conservación de la biodiversidad. La capacidad de controlar de manera precisa las condiciones del medio de cultivo posibilita acelerar procesos biológicos que, en un entorno natural, tomarían mucho más tiempo, lo que se traduce en beneficios tanto en términos de eficiencia como de calidad del material vegetal obtenido.

No obstante, la adopción de estas técnicas avanzadas enfrenta desafíos significativos. La instalación y mantenimiento de laboratorios especializados, junto con la adquisición de equipos de última generación, implica una inversión económica considerable que puede limitar su acceso y aplicación a menor escala. Además, el manejo de estos sistemas requiere personal altamente capacitado, capaz de operar y optimizar los procesos de cultivo *in vitro*. En este contexto, la propuesta de un sistema de iluminación innovador cobra especial relevancia, ya que se plantea como una herramienta que puede mejorar de manera sustancial las condiciones lumínicas para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Al proporcionar un entorno controlado y óptimo, este sistema no solo

potenciará la eficiencia del cultivo *in vitro*, sino que también contribuirá a reducir algunos de los costos operativos asociados, facilitando la transferencia de tecnología a programas de mejoramiento genético y proyectos de restauración ecológica.

Controlar la intensidad y color de la luz de manera precisa

La mayoría de los sistemas de iluminación no ofrecen un control preciso de la intensidad y del espectro de luz. Esto puede afectar negativamente el rendimiento de las plantas *in vitro* y la calidad de los productos generados.

Entender la relación entre intensidad, color y crecimiento

Existe una falta de comprensión detallada sobre cómo la intensidad y el color de la luz impactan en el crecimiento y desarrollo de las plantas en diferentes entornos. La capacidad de controlar y registrar estos parámetros es esencial para la investigación y la optimización de los procesos biológicos.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto en Arduino es diseñar un regulador de intensidad de luces LED conectado a un display para proporcionar retroalimentación visual en tiempo real sobre la intensidad y color de la luz. Además, se busca implementar una función que permita la conversión de la intensidad lumínica a unidades específicas, como nanómetros, para un análisis más detallado del espectro de luz y su impacto en el crecimiento de las plantas.

Este sistema no solo contribuirá a la optimización de las condiciones de crecimiento, sino que también facilitará la investigación científica en el ámbito de la agricultura y la biotecnología vegetal.

Fases de cultivo: Establecimiento y crecimiento rápido

Se analizan en detalle las fases de crecimiento por las cuales pasa todo cultivo. Cabe recordar que para llegar a esta instancia se deben haber realizado varios pasos previos en forma adecuada, como el tratamiento de las semillas, la limpieza de contenedores y su llenado con medio de crecimiento de buena calidad.

Comprender las fases de crecimiento que atraviesan los cultivos es esencial para su planificación. Una pequeña plántula que recién ha germinado tiene necesidades muy diferentes a las de una planta grande que ya está casi lista para ser llevada al campo. El desarrollo de casi todos los cultivos puede ser dividido en tres fases: establecimiento, crecimiento rápido y endurecimiento. En cada una de estas fases, las plantas tienen requerimientos diferentes de luz, agua, espacio en el vivero, tipo de atención y trabajos necesarios para mantenerlas vigorosas. Los objetivos del viverista también son distintos para cada fase, atendiendo a la meta final de producir las “plantas objetivo”, que en este caso es el camote y café que son las que tenemos en el Instituto.

Crecimiento rápido

Durante esta fase las plantas, y en particular sus brotes, aumentan rápidamente su tamaño. Frecuentemente, el tallo terminal se aproxima al tamaño objetivo. Las plantas necesitan por lo menos algo de protección durante esta fase. Se busca un crecimiento rápido (aunque no excesivo) de los brotes.

ANTECEDENTES

El presente proyecto se centra en el desarrollo de un sistema de iluminación LED adaptable para la propagación de plantas *in vitro*. Para ello, incorpora sensores de proximidad y una fuente de energía híbrida, permitiendo un uso más eficiente y sostenible de la iluminación.

Este sistema busca reemplazar las luces tradicionales, que dependen exclusivamente de la red eléctrica, por una iluminación RGB alimentada por energía solar. De esta manera, se optimiza el consumo energético y se mejora la sostenibilidad del proceso de cultivo.

A continuación, se presentan antecedentes relevantes que sustentan la importancia y viabilidad de este proyecto:

Investigaciones Previas: Diversos estudios han demostrado que el uso de luces LED puede aumentar la tasa de crecimiento y la calidad de las plántulas en cultivos *In vitro*. Investigaciones han revelado que la combinación de luces rojas y azules produce resultados superiores en comparación con las luces de espectro completo.

Aplicaciones en *In vitro*: El uso de luces LED se ha implementado en laboratorios de micropropagación, donde se busca optimizar la producción de tejidos vegetales y mejorar la tasa de enraizamiento. (Piqueras, 2024)

Desarrollo Sostenible: La adopción de tecnologías LED se alinea con prácticas agrícolas sostenibles, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y el uso eficiente de recursos. El uso de sistemas de iluminación con luces de colores en cultivos *in vitro* ha sido objeto de diversas investigaciones que buscan optimizar el crecimiento y desarrollo de las plantas. (Rural, 2024)

Efecto de espectros lumínicos en plántulas de tomate. Un estudio publicado en la *Revista de la Facultad de Agronomía* evaluó cómo diferentes espectros e intensidades de luz LED afectan el crecimiento de plántulas de tomate. Los resultados indicaron que la combinación de luces rojas y azules influye significativamente en la morfología y acumulación de biomasa en las plantas. (Aguado, 2024)

Influencia de la luz LED en vitroplantas de papa. Investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en Venezuela estudiaron el impacto de la luz LED en el desarrollo *in vitro* de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Encontraron que la iluminación LED es adecuada para la micropropagación, observando un crecimiento favorable en las variedades evaluadas. (Marilyn, 2023).

Integración de tecnologías para el cuidado de plantas. La incorporación de dispositivos tecnológicos en el cuidado de plantas ha ganado relevancia en los últimos años. Por ejemplo, sensores que monitorizan las condiciones del sustrato y el entorno de las plantas, sistemas de riego controlados desde dispositivos móviles y lámparas de luz artificial que mejoran las condiciones de las plantas de interior son algunas de las innovaciones disponibles en el mercado. Estos avances facilitan el mantenimiento de jardines y plantas, permitiendo a los usuarios adaptar las condiciones de crecimiento de manera eficiente. (Pajuelo, 2024).

Iluminación LED en la propagación de plantas *in vitro*. La implementación de sistemas de iluminación LED en laboratorios de biotecnología ha demostrado mejoras significativas en la micropropagación de diversas especies vegetales. Por ejemplo, el Laboratorio de Biotecnología del INIA Quilamapu en Chile adoptó tecnología LED en sus cámaras de crecimiento, logrando plantas más vigorosas y reduciendo los costos energéticos en más del 50% en comparación con sistemas de iluminación tradicionales. Este avance permitió acortar el tiempo de desarrollo y mejorar la calidad de las plantas producidas, facilitando su aclimatación en invernaderos. (smartlighting, 2022).

Espectros lumínicos personalizados para el desarrollo vegetal. La capacidad de las luces LED para emitir espectros específicos permite adaptar la iluminación a las necesidades particulares de cada etapa del desarrollo vegetal. Por ejemplo, en el cultivo de *Lilium* spp. 'Corvara', se evaluaron diferentes proporciones de luz roja y azul, encontrando que una relación de 80:20 favoreció el aumento en la altura de la planta y el diámetro de la flor, mientras que una proporción de 60:40 prolonga la vida en florero. Estos resultados indican que la calidad de la luz modifica el crecimiento y desarrollo de las plantas, resaltando la importancia de seleccionar espectros lumínicos adecuados para optimizar la producción. (Flores Perez, 2021)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura convencional ha sido el pilar de la producción de alimentos a nivel mundial. Sin embargo, el crecimiento de las plantas en campo abierto o en viveros presenta múltiples desafíos, como factores climáticos incontrolables (temperatura, humedad, plagas y enfermedades), uso excesivo de agua y suelo, y tiempos prolongados de crecimiento.

En contraste, el cultivo *in vitro* permite la producción masiva de plántulas en un ambiente completamente controlado, optimizando el desarrollo de las plantas y reduciendo la dependencia de recursos naturales. Esta técnica es especialmente útil para la propagación de plantas de interés agrícola, pues garantiza un crecimiento uniforme y libre de patógenos, además de reducir el uso de agua y suelo en las primeras fases de desarrollo.

A pesar de sus ventajas, muchos laboratorios aún utilizan sistemas de iluminación ineficientes, como tubos fluorescentes o luces LED de espectro fijo, los cuales no se adaptan a las necesidades específicas de cada fase del crecimiento de las plántulas. Además, estos sistemas dependen en gran medida de la red eléctrica, aumentando los costos operativos.

Problema Central

En la producción de plántulas para la agricultura, se presentan dos problemáticas principales. En primer lugar, el uso de métodos tradicionales de propagación, como el cultivo en campo abierto o en viveros, resulta poco eficiente. Estos métodos exponen a las plantas a factores difíciles de controlar, lo que puede afectar su desarrollo y reducir la tasa de éxito en la producción. Además, la propagación tradicional es más lenta y requiere un mayor espacio, lo que limita la producción a gran escala en periodos cortos.

En segundo lugar, existe un mayor riesgo de enfermedades y plagas, lo que compromete la calidad de las plántulas antes de su trasplante, afectando así su adaptación y rendimiento en el campo.

Otro problema que surge en la propagación *in vitro* es la presencia de deficiencias en los sistemas de iluminación utilizados.

Los sistemas de iluminación actuales no permiten ajustar la intensidad y espectro de luz según las necesidades de cada etapa de crecimiento de la plántula.

El uso de energía eléctrica convencional incrementa los costos y hace que la producción de plántulas dependa de la red eléctrica, lo cual puede ser un problema en zonas con acceso limitado a electricidad.

Se desaprovecha el potencial de la luz LED programable, que podría optimizar la fotosíntesis y mejorar el crecimiento de las plantas, reduciendo el tiempo de propagación.

JUSTIFICACIÓN

El cultivo in vitro se ha consolidado como una alternativa superior a los métodos tradicionales de propagación de plantas, ya que permite obtener material vegetal de alta calidad a través de un crecimiento más rápido, uniforme y libre de enfermedades en un entorno controlado. Esta técnica ha revolucionado la biotecnología vegetal, acelerando la multiplicación de explantes y ofreciendo la posibilidad de mantener condiciones óptimas de desarrollo. Sin embargo, para maximizar estos beneficios es crucial contar con un sistema de iluminación que se adapte de forma precisa a cada fase del crecimiento de las plántulas, a la vez que minimice el consumo energético, factor indispensable en un proceso de producción eficiente y sostenible.

En este contexto, la propuesta de implementar un sistema de iluminación LED programable alimentado por energía solar se presenta como una solución innovadora y de alto impacto. Este sistema no solo permite optimizar el crecimiento de las plantas al proporcionar la intensidad y el espectro lumínico adecuado en cada etapa del cultivo, sino que también reduce los costos operativos al disminuir la dependencia de la electricidad convencional. La utilización de paneles solares para alimentar el sistema no solo promueve una gestión más eficiente de los recursos energéticos, sino que también fomenta la sostenibilidad agrícola al integrar prácticas respetuosas con el medio ambiente. Además, esta tecnología resulta particularmente beneficiosa para regiones con acceso limitado a la red eléctrica, ampliando el alcance del cultivo in vitro a pequeños y medianos productores y democratizando el acceso a técnicas avanzadas de propagación.

En conclusión, el desarrollo de un sistema de iluminación LED programable alimentado por energía solar no solo representa una mejora en la eficiencia del cultivo in vitro, sino que también puede impulsar la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y económicamente viables.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de iluminación ajustable con movimiento con un sensor de proximidad y alimentado por una fuente híbrida (eléctrica y solar).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar un sistema de iluminación LED con cambio de color, equipado con un sensor de proximidad e instalado sobre un riel ajustable para regular la distancia.
- Desarrollar una aplicación web que permite seleccionar el espectro lumínico óptimo para la propagación de plantas *in vitro*.
- Implementar en el sistema de iluminación una fuente híbrida con paneles solares.
- Evaluar el sistema de luces en el desarrollo de plantas propagadas en condiciones *in vitro*

HIPÓTESIS

El sistema de iluminación mejora el crecimiento de las plantas *in vitro* al proporcionar condiciones lumínicas personalizadas comparado con luces comerciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del Sistema de Iluminación LED

El diseño del sistema de iluminación se basó en la integración de luces LED de distintos espectros con un sistema de control electrónico para ajustar la intensidad y el color. El sistema se dividió en los siguientes componentes principales:

- Microcontrolador ESP32: Encargado de la gestión de la iluminación y la comunicación con la aplicación web.
- Paneles solares: Proveen energía para el funcionamiento del sistema.
- Luces LED RGB: Configurables en diferentes intensidades y colores según el tratamiento experimental.
- Controlador de corriente y voltaje: Regula la alimentación de los LEDs y el ESP32.
- Pantalla LCD: Muestra el tiempo restante para el encendido y apagado de las luces.
- Sensor de proximidad: Mide la distancia en centímetros de las luces a las plántulas.
- Motor de paso: Sube o baja el riel donde se encuentran los paneles.
- Aplicación web: Interfaz para el ajuste manual de la iluminación de los módulos LED.

Implementación del Hardware

Instalación de los Paneles Solares

- Se utilizaron paneles solares fotovoltaicos para proveer energía al sistema.
- Se conectaron a una batería de almacenamiento para garantizar un suministro estable.
- Se integró un controlador de carga para regular la distribución de energía hacia el sistema de iluminación.

Configuración del Microcontrolador ESP32

- Se programó el ESP32 para:
- Controlar el encendido y apagado de las luces según un temporizador.
- Ajustar la intensidad y color de la luz mediante PWM (modulación por ancho de pulso).
- Ajustar la distancia de los paneles led.
- Mostrar la distancia entre el panel y el frasco de la plántula.
- Enviar y recibir información desde la aplicación web.
- Se conectó la pantalla LCD al ESP32 para mostrar:
- Nombre de la aplicación web.

Instalación del Sistema de Iluminación LED

- Se instalaron 42 frascos, cada uno con dos plantas (A y B), distribuidos en cuatro grupos según la luz LED asignada:
- 10 frascos con luz blanca.
- 10 frascos con luz violeta.
- 11 frascos con luz azul.
- 11 frascos con luz roja.
- Se colocaron tres paneles LED RGB en cada riel de su respectivo módulo de iluminación.
- Se programó el ESP32 para que cada grupo de frascos recibiera la luz correspondiente durante periodos específicos.

Desarrollo del Software

Programación del ESP32

- Se utilizó Arduino IDE (C++) para desarrollar el código del ESP32.
- Se configuraron los pines de salida para controlar los módulos LED.
- Se estableció comunicación con la aplicación web mediante protocolo HTTP.
- Se programó un temporizador para el encendido y apagado automático de las luces.
- Se programó para recibir la distancia del sensor.

- Se programó el motor para recibir la distancia y posicionar los paneles led rgb.

Desarrollo de la Aplicación Web

- Se creó una interfaz web que permite:
- Seleccionar el color de iluminación para cada módulo LED.
- Ajustar la intensidad de la luz mediante una barra deslizante.
- Mostrar valores RGB (0-255) en tiempo real.
- Mostrar el tiempo restante para el apagado o encendido de las luces.
- Mostrar la distancia de las luces a la plántula.
- Ingresar la distancia a mover el motor de paso.
- La aplicación se diseñó para comunicarse con el ESP32 y enviar comandos de control.

Validación del Efecto de la Luz

- Se expusieron las plantas a cada tratamiento lumínico durante X semanas.
- Se registraron datos sobre el número de hojas, nodos y altura de cada planta para evaluar el impacto del sistema de iluminación.

Diagrama

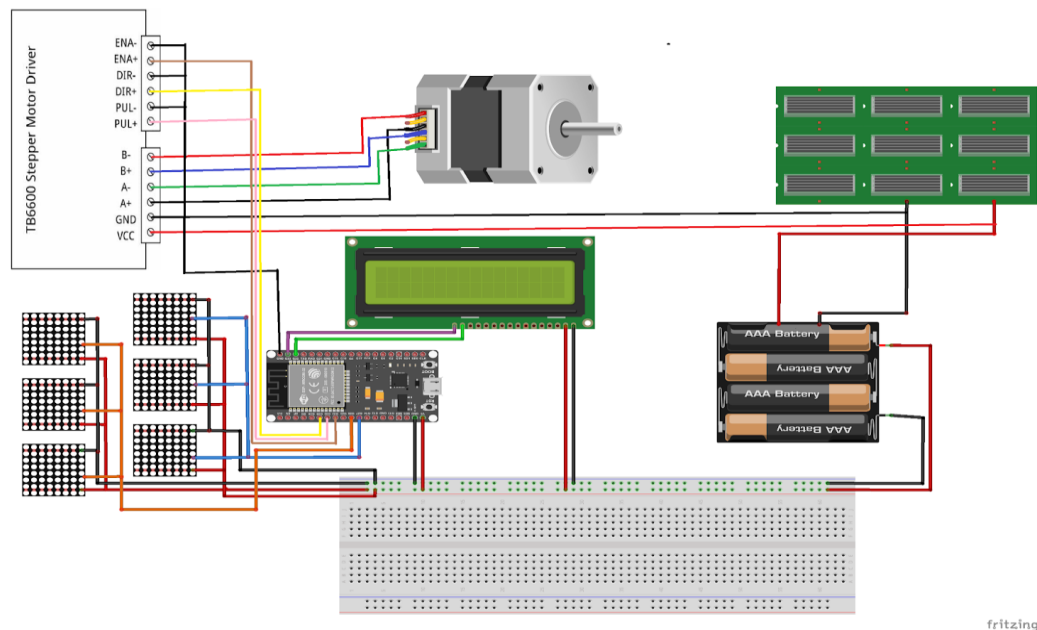


FIGURA 2 Diagrama eléctrico final

- A) Panel led mandando energía a la batería y el driver tb6600, B) batería
B) conectada a la protoboard, C) protoboard dando energía a la pantalla
C) lcd, esp32 y paneles led rgb, D) esp32 enviando señales al motor de
D) paso, pantalla lcd y paneles led.

Sistema de Iluminación LED de Alta Eficiencia

El sistema de iluminación está basado en LEDs de alta eficiencia, optimizando la producción lumínica con un consumo energético reducido. Esto es especialmente relevante en sistemas alimentados por energía solar, donde la gestión eficiente de los recursos es crucial para garantizar la sostenibilidad del cultivo.

Control de Intensidad y Movimiento de la Iluminación

Para asegurar una iluminación adecuada en cada etapa del crecimiento vegetal, se implementa un mecanismo de regulación de intensidad. Este sistema permite ajustar la emisión de luz según las necesidades específicas de las plantas. Además, un riel motorizado permite modificar la posición de las luces, evitando

problemas como el fotodaño por sobreexposición o el estiramiento de las plantas por iluminación insuficiente.

Sensores de Iluminación y Proximidad

Para optimizar la distribución de luz, se incorporan sensores que monitorean constantemente las condiciones lumínicas:

- **Sensores de intensidad lumínica:** Miden en tiempo real la cantidad de luz recibida y permiten ajustar la potencia de los LEDs.
- **Sensores de proximidad:** Detectan la distancia entre las luces y las plantas, facilitando la regulación de la posición de los LEDs para evitar déficits o excesos lumínicos.

Motores y Mecanismo de Desplazamiento

El ajuste de la posición de las luces se logra mediante motores paso a paso, seleccionados por su capacidad de proporcionar desplazamientos precisos y controlados. El sistema de movimiento incluye:

- **Riel deslizante:** Fabricado en aluminio o acero inoxidable para combinar resistencia y ligereza.
- **Carros deslizantes:** Elementos móviles con rodamientos de baja fricción que transportan los LEDs.
- **Guías lineales:** Aseguran la alineación y estabilidad del desplazamiento.

Sistema de Control

El control del sistema se basa en microcontroladores como Arduino o Raspberry Pi, encargados de procesar datos de los sensores y gestionar la iluminación y el movimiento de los motores. Los principales componentes son:

- **Controlador de motores:** Regula el funcionamiento de los motores, controlando velocidad y dirección.
- **Interfaz de usuario:** Permite ajustes manuales o la programación de rutinas automáticas.

Distribución y Gestión de Energía

El sistema se alimenta mediante energía solar, almacenada en baterías para garantizar operación continua. La energía se distribuye mediante un circuito de baja tensión con un controlador de carga que optimiza el suministro a LEDs, motores y sensores.

Proceso de Ajuste Manual

1. **Monitoreo:** Los sensores proporcionan datos sobre intensidad de luz y proximidad de las luces a las plantas.
2. **Análisis:** Un operador evalúa los datos y determina si es necesario ajustar la iluminación.
3. **Corrección:** La intensidad de la luz y la posición de las lámparas se ajustan manualmente mediante los controles del sistema.

Pruebas y Validación

Las pruebas se realizarán en un entorno controlado y se centrarán en:

- **Intensidad lumínica:** Medición con sensores para verificar la iluminación adecuada en cada fase de crecimiento.
- **Distancia entre luces y plantas:** Evaluación del ajuste manual de la posición de las luces.
- **Consumo energético:** Análisis del balance entre generación solar y demanda del sistema.
- **Crecimiento de las plantas:** Observación del impacto de la iluminación en el desarrollo vegetal.

Los resultados obtenidos permitirán realizar ajustes y optimizar el funcionamiento del sistema, refinando la programación del microcontrolador, calibrando los sensores y mejorando la eficiencia energética.

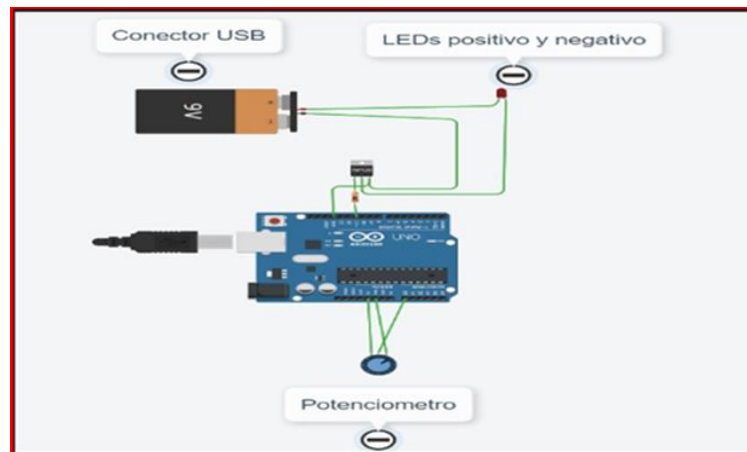


FIGURA 3 Primer diseño del sistema eléctrico LED

A) Conector USB permite suministrar energía a los LEDs y, en algunos casos, programar o controlar los LEDs desde un dispositivo como una computadora o celular, B) LEDs positivo y negativo, (diodos emisores de luz) son componentes electrónicos que emiten luz cuando pasa corriente a través de ellos, C) Potenciómetro, se usa para ajustar la intensidad de los LEDs, permitiendo controlar el brillo de la luz emitida, de forma manual al girar el eje del potenciómetro.

Elección del Espectro de Luz

El espectro de luz es un factor determinante en el crecimiento de las plantas, ya que influye directamente en la fotosíntesis y en los procesos de desarrollo vegetal. Para optimizar el rendimiento del cultivo, se seleccionaron LEDs con espectros específicos que favorecen las distintas fases de crecimiento:

- **Luz Azul (430–450 nm):** Es esencial para la germinación y el crecimiento vegetativo, promoviendo la formación de hojas y raíces.
- **Luz Roja (640–660 nm):** Crucial para la floración y el desarrollo de frutos, ya que es la longitud de onda más absorbida por las plantas.
- **Luz Violeta (380–420 nm):** Permite ajustar el equilibrio del espectro lumínico y complementar la acción de las otras longitudes de onda, sin afectar negativamente la eficiencia fotosintética.

- **Luz Blanca:** Proporciona un espectro completo que simula la luz solar, favoreciendo la fotosíntesis y promoviendo un desarrollo integral de las plantas.

El espectro combinado se ajusta para simular condiciones óptimas de luz solar, optimizando la fotosíntesis en cada etapa de desarrollo.

Potencia y Eficiencia de los LEDs

La selección de los LEDs se basa en la demanda lumínica del cultivo y en la capacidad del sistema para generar suficiente energía a partir de la fuente solar. Para maximizar la eficiencia, se consideran los siguientes aspectos:

- **Potencia de los LEDs:** Se eligen LEDs con potencias entre 1 y 3 vatios, dependiendo del espacio y la intensidad lumínica requerida. Es fundamental que estos componentes generen suficiente intensidad sin producir excesivo calor, lo que podría afectar negativamente a las plantas.
- **Eficiencia Lumínica (lúmenes por vatio):** Se seleccionan LEDs de alta eficiencia para maximizar la conversión de energía en luz, minimizando las pérdidas energéticas.

Riel Motorizado

El sistema incorpora un riel motorizado que facilita el movimiento de los LEDs a lo largo de una trayectoria determinada. Este movimiento es esencial, ya que permite ajustar la distancia entre las luces y las plantas en función de la etapa de crecimiento. A medida que las plantas crecen, la distancia entre la fuente de luz y las plantas puede modificarse para mantener una intensidad lumínica constante, favoreciendo así un crecimiento uniforme.

Control de Intensidad

Se implementa un sistema de atenuación (dimming) que permite regular la intensidad de la luz en función de la etapa de crecimiento de las plantas. Durante las fases vegetativas, es posible que las plantas requieran una mayor intensidad lumínica, mientras que en la fase de floración, se puede reducir la intensidad para evitar el exceso de luz, garantizando así un entorno óptimo para el desarrollo de las plantas.

Integración con Energía Solar

El diseño del sistema de iluminación considera que debe ser alimentado por un panel solar, lo que requiere una cuidadosa selección de componentes que sean eficientes en términos de consumo energético. Los LEDs elegidos deben tener un bajo consumo para maximizar el aprovechamiento de la energía solar capturada. Además, el sistema debe incluir baterías que almacenen la energía generada durante el día, garantizando su uso durante la noche o en momentos de baja disponibilidad de luz solar.

Selección del Panel Solar

El primer paso en la integración del panel solar es la selección del modelo adecuado, capaz de generar suficiente energía para alimentar tanto las luces LED como los componentes adicionales del sistema, como sensores y la motorización del riel. Para esta selección se consideran los siguientes factores:

- **Potencia del Panel Solar:** La potencia del panel debe ser suficiente para cubrir las necesidades energéticas del sistema, tanto en condiciones de máximo consumo (cuando las luces están a plena potencia) como en situaciones de baja radiación solar. Los paneles solares suelen tener potencias que varían entre 50 W y 300 W, dependiendo del tamaño del sistema y de las necesidades energéticas.
- **Eficiencia del Panel:** Se seleccionan paneles solares de alta eficiencia, ya que estos convierten una mayor cantidad de luz solar en electricidad. Esto es crucial para maximizar la producción de energía, incluso en áreas con menor cantidad de luz solar directa.
- **Ubicación del Panel Solar:** Es fundamental ubicar el panel solar en un lugar donde reciba la mayor cantidad posible de radiación solar durante el día. En el caso de cultivos en interiores, como los de plantas in vitro, el panel puede instalarse en el exterior o en una estructura que permita capturar la luz solar de manera óptima.

Almacenamiento de Energía: Baterías

Para garantizar el funcionamiento del sistema durante la noche o en días nublados, es fundamental almacenar la energía generada durante el día en baterías. Este almacenamiento permite que el sistema sea autosuficiente, incluso en ausencia de luz solar. La selección de las baterías adecuadas se basa en los siguientes criterios:

Capacidad de las Baterías

La capacidad de las baterías debe ser suficiente para almacenar la energía generada por el panel solar durante el día, cubriendo las necesidades de iluminación y otros componentes durante las horas nocturnas o períodos sin sol. La capacidad de almacenamiento se mide en amperios-hora (Ah) o vatios-hora (Wh), dependiendo de la cantidad de energía consumida diariamente.

Tipo de Batería

Las baterías de iones de litio son una opción popular debido a su alta eficiencia, larga vida útil y menor peso en comparación con las baterías de plomo-ácido. Estas baterías también ofrecen una mejor capacidad de carga y descarga, lo cual es crucial para los ciclos repetidos de carga que un sistema solar con LEDs puede requerir.

Sistema de Gestión de Energía (BMS)

Un sistema de gestión de energía (Battery Management System, BMS) es esencial para controlar la carga y descarga de las baterías. El BMS asegura que las baterías no se sobrecarguen ni se descarguen en exceso, protegiendo su vida útil y optimizando su rendimiento.

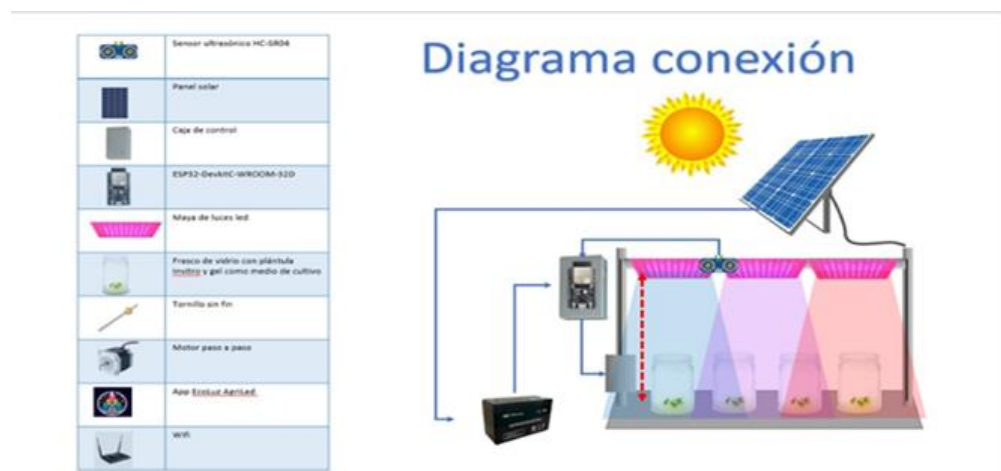


FIGURA 4 Diagrama De conexión

Se simula la conexión de los materiales utilizados

Gestión de la Energía

Para garantizar un funcionamiento eficiente y autosuficiente, la gestión de la energía es crucial. El sistema debe ser capaz de equilibrar la producción de energía solar con las necesidades energéticas del sistema, asegurando que siempre haya suficiente energía para el funcionamiento de las luces LED y otros componentes. Para lograrlo, se implementan los siguientes mecanismos:

- **Controlador de Carga Solar**
 - Un controlador de carga es un dispositivo esencial para gestionar el flujo de electricidad entre el panel solar, las baterías y el sistema de consumo (luces LED, sensores, etc.).
 - Este controlador regula la cantidad de energía que va a las baterías y evita sobrecargas o descargas excesivas, protegiendo tanto el panel como las baterías. Además, puede optimizar la carga de las baterías durante las horas de mayor radiación solar.
- **Inversor (si es necesario)**
 - Si el sistema utiliza un panel solar que produce corriente continua (CC) y el sistema de iluminación LED requiere corriente alterna (CA), se necesita un inversor para convertir la energía.
 - En muchos sistemas de iluminación LED, especialmente aquellos con tecnología avanzada, las luces pueden ser diseñadas para funcionar directamente con corriente continua, eliminando la necesidad de un inversor.
- **Monitoreo de Energía en Tiempo Real**
 - Incorporar sensores y dispositivos de monitoreo ayuda a gestionar el rendimiento del sistema de manera eficiente.
 - Estos dispositivos pueden medir el nivel de carga de las baterías, la producción de energía solar y el consumo de energía en tiempo real. La información obtenida permite tomar decisiones informadas sobre cuándo ajustar la intensidad de las luces, el movimiento de las luces LED en el riel motorizado, o cuándo hacer ajustes en el sistema de almacenamiento de energía.

Procedimiento y Descripción de las Actividades Realizadas

- Diseño e Implementación del Sistema de Iluminación LED
 - Se diseñó e implementó un sistema de iluminación LED con cambio de color, equipado con un sensor de proximidad, instalado sobre un riel ajustable para regular la distancia.
 - Se desarrolló una aplicación web que permite seleccionar el espectro lumínico óptimo para la propagación de plantas *in vitro*.
 - Se implementó en el sistema de iluminación una fuente híbrida con paneles solares.
 - Se evaluó el sistema de luces en el desarrollo de plantas propagadas en condiciones *in vitro*.
- Investigación y Diseño del Sistema
 - Se identificaron las necesidades específicas de los cultivos y se diseñó un sistema de iluminación LED adaptado a esas necesidades.
- Adquisición de Materiales y Equipos
 - Se realizó la compra de luminarias LED, sensores y otros componentes necesarios para la implementación del sistema.
- Instalación y Programación del Sistema
 - Se montaron los sistemas LED y los circuitos electrónicos, asegurando su correcto funcionamiento.
 - Se creó un programa correspondiente para el funcionamiento del hardware.
- Monitoreo y Ajustes
 - Se realizó un seguimiento continuo del desempeño del sistema e implementación de ajustes para optimizar los resultados.
- Evaluación y Cierre del Proyecto
 - Se analizaron los resultados obtenidos, comparándolos con los objetivos planteados, y se documentaron los aprendizajes.

Diseño experimental y análisis de datos

Se realizó las evaluaciones en los días 30 y 60 de cultivo en los diferentes tratamientos de los parámetros de desarrollo de la planta que incluyeron: longitud del

explante (LE), número de nudos (NN), número de hojas (NH), y número de raíces adventicias (NRA). Se empleó un diseño experimental completamente al azar los datos presentados corresponden a seis repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos durante el experimento se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias se determinó por la prueba de Tukey ($P < 0.05$)

Crecimiento en Función del Tipo de Luz LED

Se cortaron explantes con 4 nudos cada entrenudo se sembraron en el medio MS, macronutrientes y micronutrientes (Murashige y Skoog, 1962) y las vitaminas L2 (Phillips y Collins, 1979) suplementado con 3% de sacarosa, 2.5g L^{-1} de gelrite y 0.5mg L^{-1} de BAP. El medio es ajustado a un pH de 5.8 con NaOH después se esterilizó por 15 min a 121°C . Los explantes se subcultivaron cada 30 días en contenedores de vidrio con capacidad de 473 mL con 50mL de medio de cultivo y se mantienen en un fotoperiodo de 16 h luz a 27°C .

Para evaluar el efecto del sistema de iluminación en la propagación *in vitro* de plantas de Dioscorea, se variaron las coloraciones de las luces con los siguientes tratamientos. T1. Luz azul, T2. Luz blanca, T3. Luz roja, T4. Luz violeta. Se realizó la evaluación de los parámetros de desarrollo de la planta cada 30 días, hasta el día 60, las plántulas se obtuvieron a $27 \pm 2^{\circ}$ en condiciones de fotoperiodo (16h luz).

Crecimiento en Función del Tipo de Luz LED

En términos generales, se observó que la luz roja Experimento para evaluar el efecto de sistema de iluminación en la multiplicación *in vitro* de camote e cerro

Se cortaron explantes con 4 nudos cada entrenudo se sembraron en el medio MS, macronutrientes y micronutrientes (Murashige y Skoog, 1962) y las vitaminas L2 (Phillips y Collins, 1979) suplementado con 3% de sacarosa, 2.5g L^{-1} de gelrite y 0.5mg L^{-1} de BAP. El medio es ajustado a un pH de 5.8 con NaOH después se esterilizó por 15 min a 121°C . Los explantes se subcultivaron cada 60 días en contenedores de vidrio con capacidad de 473 mL con 50 mL de medio de cultivo y se mantienen en un fotoperiodo de 16 h luz a 27°C .

Para evaluar el efecto del sistema de iluminación en la propagación *in vitro* de plantas de Dioscorea, se variaron las coloraciones de las luces con los siguientes tratamientos. T1. Luz azul, T2. Luz blanca, T3. Luz roja, T4. Luz violeta. Se realizó la evaluación de los parámetros de desarrollo de la planta cada 30 días, hasta el día 60, las plántulas se obtuvieron a $27\pm 2^{\circ}$ en condiciones de fotoperiodo (16h luz).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Resultados de las Pruebas de Funcionamiento del sistema de iluminación LED

Las pruebas realizadas permitieron verificar el correcto desempeño de los distintos componentes del sistema. En primer lugar, se comprobó que la activación de los LEDs se llevó a cabo de manera adecuada, encendiéndose según el color asignado en su respectivo módulo. Asimismo, la pantalla LCD muestra el nombre de la página (ecoluz. local) y su dirección ip asignada.

Por otro lado, las pruebas con la aplicación web confirmaron que el control remoto de los paneles LED e intensidad operó de manera efectiva, permitiendo la gestión de los LEDs sin inconvenientes. Además, se verificó que el motor

desplazó el riel a la distancia solicitada, cumpliendo con los parámetros establecidos. Finalmente, el sensor de proximidad registró correctamente la distancia medida entre los paneles y los frascos, garantizando su precisión en la detección de objetos.

Los resultados obtenidos confirman el correcto funcionamiento del sistema, evidenciando su eficacia en la automatización y control de la iluminación en el entorno de cultivo in vitro.

Pruebas y Validación del Sistema

- Se verificó la correcta activación de los LEDs según el color asignado a cada frasco.
- Se comprobó que la pantalla LCD muestra la información programada.
- Se realizaron pruebas con la aplicación web para garantizar que el control remoto de la iluminación fuera efectivo.
- Se comprobó que el motor mueve el riel a la distancia solicitada.
- Se comprobó la distancia medida por el sensor de proximidad.



FIGURA 5 Proyecto General

A) Instalación del hardware del proyecto, B) Colocación de luces en riel con motor y frascos con plántulas, C) Pantalla mostrando el nombre de la aplicación web, D) Elemento de la aplicación web

En la figura 5A se muestra el cableado del ESP32 al driver TB6600 y las luces led, todo esto alimentado por la batería conectada al panel solar, en 5B se muestra la instalación de los paneles led con luz blanca donde cada módulo contiene 3 paneles LED RGB ensamblado al riel, el riel está previamente conectado al motor de paso encargado del movimiento, además de los frascos de plántulas a una distancia mínima de 7 cm del panel LED, la figura 5C muestra el nombre de la página web, así como su respectiva ip, todo esto mandado por el ESP32 a la pantalla LCD, al final en 5D Se muestra la interfaz de la página web y sus respectivos elementos.

Problemas presentados en el proyecto.

En el transcurso del proyecto se presentó que los componentes electrónicos no recibían la suficiente energía, ocasionando que el brillo de los paneles LED no sea el máximo que ofrecen o funcionaran un corto periodo de tiempo, interfiriendo con su fotoperiodo.

Puntos para mejorar del sistema de iluminación LED

- Mejorar las conexiones del prototipo.
- Mejorar el alcance de la red de internet
- Instalación del sensor AS7265X para la medición del espectro de luz en nanómetros.
- Opción de uso en pantalla táctil para las modificaciones sin necesidad de entrar a la página web.

```

// ENDPOINT para mover el motor
else if (request.indexOf("GET /moveMotor") >= 0){
    int pos = getQueryParam(request, "pos").toInt();
    if (pos > 12000) {
        pos = 12000;
    }

    if(pos >= 0){
        stepper.moveTo(pos);
        stepper.runToPosition();
        handleGetDistance(client);
    } else {
        Serial.println("Error: Parámetros inválidos.");
    }
}

void handleSetConfiguracion() {
    intensidad = server.arg("intensidad").toInt();
    if (intensidad < 1) { intensidad = 1; }
    Serial.print("Intensidad: "); Serial.println(intensidad);
    if (colorNegro) {
        pendingIntensity = intensidad;
    } else {
        server.send(200, "text/plain", "Configuración recibida y aplicada.");
    }
}

void handleSetColores() {
    String rgb1 = server.arg("rgb1");
    String rgb2 = server.arg("rgb2");
    int r1, g1, b1, r2, g2, b2;
    sscanf(rgb1.c_str(), "%d,%d,%d", &r1, &g1, &b1);
    sscanf(rgb2.c_str(), "%d,%d,%d", &r2, &g2, &b2);

    Serial.print("Módulo 1 - R: "); Serial.print(r1);
    Serial.print(" G: "); Serial.print(g1);
    Serial.print(" B: "); Serial.println(b1);
    Serial.print("Módulo 2 - R: "); Serial.print(r2);
    Serial.print(" G: "); Serial.print(g2);
    Serial.print(" B: "); Serial.println(b2);

    if (colorNegro) {
        pendingR1 = r1; pendingG1 = g1; pendingB1 = b1;
        pendingR2 = r2; pendingG2 = g2; pendingB2 = b2;
    } else {
        lastR1 = r1; lastG1 = g1; lastB1 = b1;
        lastR2 = r2; lastG2 = g2; lastB2 = b2;
    }
    server.send(200, "text/plain", "Colores recibidos y aplicados.");
}

//Temporizador
void handleGetTiempo() {
    unsigned long currentMillis = millis();
    unsigned long tiempoRestante = 0;
    if (colorNegro) {
        if (currentMillis - lastChangeTime < tiempoNegroMillis) {
            tiempoRestante = (tiempoNegroMillis - (currentMillis - lastChangeTime)) / 1000;
        }
    } else {
        if (currentMillis - lastChangeTime < tiempoColorMillis) {
            tiempoRestante = (tiempoColorMillis - (currentMillis - lastChangeTime)) / 1000;
        }
    }
    String response = "{\"tiempoRestante\": " + String(tiempoRestante) + "}";
    server.send(200, "application/json", response);
}

```

FIGURA 6 Aplicación de valores en el código

A) Código para aplicar la posición del riel (movimiento del motor), B) Código para aplicar colores en los módulos correspondientes, C) Código para aplicar la intensidad en las luces, D) Código para mostrar el temporizador de encendido y apagado de luces.

En la figura 6. Se muestra el código encargado de aplicar los cambios en la página web, en 6A verifica la solicitud http recibida extrayendo el valor pos (posición), limita el número de pos evitando que se pase del valor máximo (20 cm), y envía las revoluciones correspondientes para mover el motor, en 6B recibe las solicitudes http y extrae el valor rgb1 y rgb2 que contienen los valores de RGB del 0 al 255, imprime en el terminal los valores de los colores, si los LEDs están apagados guarda el valor y lo aplica cuando estén encendidos, si están encendidos los aplica directamente en los paneles, pero en 6C recibe la petición http y extrae los valores de la barra de intensidad, establece el valor mínimo de la barra para que el usuario no pueda ingresar un valor menor, imprime en el monitor el valor de la intensidad y verifica si los paneles están apagados para guardar la configuración, si están encendidos los aplica directamente, para 6D

se solicita el tiempo restante antes encender o apagar las luces, almacena el tiempo desde que se encendió el ESP32 al tiempo actual, si las luces están apagadas calcula el tiempo restante para el encendido, si están encendidas se calcula el tiempo para el apagado, el tiempo de apagado es constante (8 horas apagado y 16 horas encendidos), después de calcular el tiempo en minutos muestra en la página web el tiempo restante.

Modulo 1 A	Intensidad B Enviar Colores Enviar Intensidad C RGB: (53, 0, 170) RGB: (78, 0, 135) D
Temporizador E Tiempo restante: 958:23	
F Distancia: 5 cm	Control de Motor Subir Bajar G Ingresa la distancia (7-19 cm)

FIGURA 7 Elementos de la página Web

A) Selector de colores para cada módulo, B) Barra que controla la intensidad, C) Botones para enviar los valores de color e intensidad, D) Valores actuales en RGB de los módulos, E) Temporizador que muestra el tiempo restante de encendido o apagado de luces., F) Distancia entre las luces y las plantulas, G) Botones para subir o bajar a la distancia maxima y minima del riel, cuadro de texto para mover el riel a la distancia requerida.

Evaluación del experimento en planta usando el sistema de iluminación LEDs

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias (prueba de Tukey, $P < 0.05$). En este estudio se utilizaron plantas de camote de cerro (*Dioscorea remotiflora*), obtenidas a partir de plántulas cultivadas en condiciones *in vitro*. Se tomaron fragmentos con 2 a 3 nudos, los cuales se establecieron en frascos

de vidrio con medio de cultivo MS (Murashige y Skoog) suplementado con carbón activado (1 g/L). El desarrollo de las plantas fue evaluado a los 30, 60 y 180 días, considerando los siguientes parámetros: número de hojas (NH), número de nudos (NN), número de brotes (NB), número de raíces (NR) y longitud del explante (LE).

En el día 30, se observó que el tratamiento T2 (luz blanca) presentó el mayor número de hojas y brotes, con un valor de 2.40 para ambos. Por otro lado, en el tratamiento T1 (luz azul), estos mismos parámetros alcanzaron valores de 2.11 y 1.88, respectivamente. Sin embargo, en cuanto a la longitud del explante, T1 mostró un valor superior (1.99) en comparación con los demás tratamientos.

En el día 60, el tratamiento T2 (luz blanca) continuó mostrando el mayor número de hojas, brotes y nudos, además de una mayor longitud del explante, consolidándose como el tratamiento más efectivo para el desarrollo del área foliar hasta este punto. Le siguió el tratamiento T1 (luz azul), cuyos valores fueron ligeramente inferiores en comparación con T2. Sin embargo, T1 presentó el mayor valor en el número de raíces (1.30), seguido por el tratamiento T4 (luz violeta) con un valor de 1.25, aunque sin diferencias significativas entre ellos.

En el día 180, al comparar con las evaluaciones anteriores, los tratamientos T2 (luz blanca) y T1 (luz azul) mantuvieron los mejores valores en el desarrollo del área foliar. Sin embargo, el tratamiento T4 (luz violeta) mostró un mayor desarrollo radicular desde el día 60, superando a los demás tratamientos. Para el día 180, alcanzó un valor de 3.50, con una diferencia significativa respecto a los otros tratamientos.

En el estudio de (Macías & Hinojosa, 2024, p.26), se menciona que la luz violeta favoreció un notable desarrollo en el número de hojas, número de raíces, longitud de raíz y número de nudos. Por lo tanto, si se mantienen condiciones de iluminación adecuadas y se optimiza la longitud de onda de la luz violeta, es posible obtener plantas con un buen desarrollo tanto foliar como radicular (Cuadro 1).

Cabe mencionar que el tratamiento T3 (luz roja) mostró valores muy bajos en los parámetros evaluados. Tras un periodo de estancamiento, las plantas presentaron contaminación, lo que posteriormente provocó su muerte.

Tabla 1. Parámetros de desarrollo de plántulas expuestas al sistema de iluminación LEDs, al día 30, 60 y 180 días.

30 días					
Tratamiento	NH	NN	NR	NB	LE
T1 (Azul)	2.11±0.60 ^{AB}	2.056±0.63 ^A	1.00±0.00 ^A	1.88±0.78 ^{AB}	1.99±1.02 ^A
T2 (Blanca)	2.4±0.87 ^A	1.60±0.69 ^A	0.90±0.31 ^A	2.40±0.84 ^A	1.35±0.53 ^{AB}
T3 (Roja)	0.85±1.39 ^B	0.55±0.95 ^B	0.30±.483 ^B	0.90±1.46 ^B	0.70±1.13 ^B
T4 (Violeta)	1.55±1.01 ^{AB}	1.55±0.64 ^A	1.00±0.00 ^A	1.50±0.57 ^{AB}	1.29± 0.41 ^{AB}
60 días					
Tratamiento	N° Hojas	N° Nudos	N°Raíz	N° Brotes	L. Explante
T1 (Azul)	3.77±1.97 ^A	3.05±1.33 ^A	1.00±0.55 ^{AB}	2.44±1.55 ^A	3.02±0.69 ^A
T2 (Blanca)	5.10±2.86 ^A	3.10±0.87 ^A	1.30±0.53 ^A	2.75±0.71 ^A	3.41±2.04 ^A
T3 (Roja)	2.40±2.17 ^A	1.90±1.77 ^A	0.60±0.51 ^B	1.75±1.56 ^A	1.79±1.84 ^A
T4 (Violeta)	3.50±2.06 ^A	2.85±1.22 ^A	1.25±0.26 ^A	1.95±1.14 ^A	2.84±0.81 ^A
180 días					
Tratamiento	N° Hojas	N° Nudos	N°Raíz	N° Brotes	L. Explante
T1 (Azul)	5.50±3.81 ^A	2.50±1.09 ^{AB}	1.05±0.46 ^{BC}	4.11±1.83 ^{AB}	4.07±1.66 ^A
T2 (Blanca)	7.10±4.41 ^A	3.75±0.89 ^A	1.55±0.64 ^B	4.90±2.54 ^A	4.00±2.44 ^A
T3 (Roja)	3.35±3.19 ^A	2.00±1.84 ^B	0.75±0.54 ^C	2.20±2.09 ^B	2.54±2.59 ^A
T4 (Violeta)	5.10±2.14 ^A	2.90±1.15 ^{AB}	3.50±0.00 ^A	3.50±0.00 ^{AB}	3.95±0.92 ^A

NH (Número de hojas), NN (Número de nudos), NR (Número de raíz), NB (Número de Brotes), LE (Longitud de explante). T1 (Luz azul), T2 (Luz blanca), T3 (Luz roja), T4 (Luz violeta). En el cuadro se representan las medias con su desviación estándar, las diferentes letras entre columnas indican diferencias significativas con la prueba Tukey ($P < 0.05$).

Los datos recopilados se organizaron en tablas y gráficos para analizar el impacto de los diferentes tipos de luz LED en el crecimiento de las plántulas de camote *in vitro*. Se evaluaron los siguientes parámetros de desarrollo: Número de hojas (NH), Número de nudos (NN), Número de brotes (NB), Longitud de explante (LE), Número de raíces (NR).

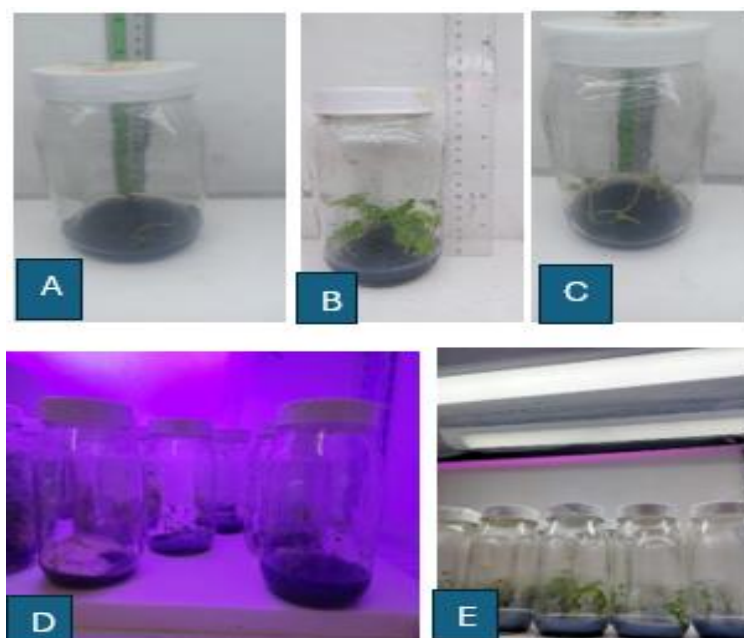


FIGURA 8 Resultados de plántulas

A) Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones de medias (prueba de Tukey, $P < 0.05$), B) El tratamiento T2 (luz blanca) presentó el mayor número de hojas y brotes, con un valor de 2.40 para ambos, C) Fragmentos con 2 a 3 nudos con medio de cultivo MS (Murashige y Skoog) suplementado con carbón activado (1 g/L), D) En el día 180, al comparar con las evaluaciones anteriores, los tratamientos T2 (luz blanca) y T1 (luz azul) mantuvieron los mejores valores en el desarrollo del área foliar, E)

CONCLUSIÓN

Este sistema de iluminación LED, que incorpora tecnologías avanzadas como sensores de proximidad y paneles solares es una tecnología con la cual las lámparas de colores tradicionales no cuentan, tiene el potencial de optimizar significativamente el cultivo de plantas *in vitro*. La capacidad para ajustar el espectro lumínico y la distancia de la luz no solo mejora la eficiencia del proceso de propagación, sino que también contribuye a la sostenibilidad y reducción de costos. Al integrar la funcionalidad de una aplicación web y realizar evaluaciones

detalladas sobre el impacto del sistema en el desarrollo de las plantas, este proyecto puede proporcionar soluciones innovadoras en la biotecnología y la agricultura controlada.

El desarrollo e implementación del sistema de iluminación LED ajustable con cambio de color, sensor de proximidad y fuente híbrida con paneles solares ha demostrado ser una solución innovadora y efectiva para mejorar el cultivo de plantas *in vitro*. Los resultados obtenidos en la evaluación del sistema de luces indican que las plantas expuestas a diferentes espectros lumínicos presentaron un crecimiento y una tasa de propagación superiores en comparación con los métodos tradicionales. Este avance subraya la importancia de contar con un sistema de iluminación que no solo favorezca la fotosíntesis, sino que también sea adaptable a las necesidades específicas de las plantas en entornos controlados.

Además, la integración de una aplicación web para la selección del espectro lumínico óptimo y el uso de paneles solares como fuente híbrida de energía destacan la sostenibilidad y eficiencia energética del sistema. La combinación de energía solar con la red eléctrica no solo reduce el consumo de energía, sino que también fomenta prácticas agrícolas más ecológicas y sostenibles.

Este sistema no solo representa un avance significativo en la biotecnología aplicada a la agricultura, sino que también abre la puerta a un futuro en el que la optimización del uso de recursos y la mejora de los métodos de cultivo sean accesibles y escalables, contribuyendo al desarrollo de soluciones más sostenibles en la industria agrícola y de la biotecnología.

MEJORAS

Mejorar la integración de datos: Sería beneficioso incorporar un sistema de monitoreo que recopile y analice datos en tiempo real sobre el crecimiento de las plantas, las condiciones de luz, y otros factores ambientales. Esto podría ayudar a ajustar dinámicamente las condiciones de cultivo para lograr el máximo rendimiento.

ANEXOS

Materiales, Arduino uno, Teclado matricial 4 x 4, Pantalla LCD, Potenciómetro, Cable de 3 vías 18 awg, Cable para proto, Protoboard, Panel led WS2812B-64, ESP32, Nema 17 motor a pasos 4 kg/1.7a bipolar + Driver TB6600 4a, Panel solar, Rieles, Sensor color TCS34725, Pantalla oled

Tabla 2. Especificaciones de los materiales utilizados

Clave	Descripción
Interfaz de conversión I2C para Lcd Arduino Pic	Controlador de un display LCD desde Arduino. -Voltaje de entrada 5~9v , -Voltaje de salida 3,3~5v,-Microcontrolador:ATMEL ATMEGA328,-Pines digitales entradas/salidas:14,-Pines analogicos entradas/salidas:6,-Interfaz(protocolo):I2C/TWI/SPI,-Potenciómetro:Ajustar contraste y luz de fondo,-Lineas de salida:4,-Direccion del dispositivo: 0°20 / 0°27
Neopixel Matriz Cjmcu 8*8 Ws2812 5050 Rgb Led	-Fuente de alimentacion:5 VDC, -Leds 64 Rgb Neopixel 5050 WS2812,-Dispone de dos puertos de 3 pines(uno de entrada y otro de salida),al de entrada se le conecta 5V, GND y el pin de datos,-Cada led puede llegar a consumi hasta 60 ma(en blanco puro),por lo que el total del panel puede llegar a 3,5 A, siendo aconsejable utilizar una fuente de alimentacion adecuada,
TOA-1/8L	Terminal de laton de ojillo c/forro rojo
TIP-122	Transistor de potencia
ARD-010	Placa de programacion uno
405	Placa fenolica 7*5 cms.P/prototipos varios
GP-14	Gabinete de plastico gris c/tapa 223*14
USB-476	Arnes USB 2,0 dorado p/impresora 1,8 m
C22BL-1000	Cable p/conexiones estandado blanco calibre 22
C22CA-1000	Cable p/conexiones estandado cafe calibre 22
C22R-1000	Cable p/conexiones estandado rojo calibre 22
C22N-1000	Cable p/conexiones estandado negro calibre 22
ARD-312	Juego de 120 cables DL 15 cmstipo dupont
101-5K	Potenciómetro minitura sin switch 5 k
R1K 1/2	Resistencia de carbon 1/2 watt 5% tolerancia
P-05	Perilla baquelita indicador c/prisionero flec
82606	Switch palanca 2P 1T 2 Pos(SI-NO) 15 AMP
BOD12H78KW	zolyet Kit de panel solar monocristalino de 20 vatios y 12 voltios + controlador de carga PWM de 10 A +
	Pintura vinilica negra
	Brocha
	Caja de madera
Kit	Kit De 15 Pcs Optical Eje Guia Rodamiento Carcasas 400mm
NEMA23-TB6600	Motor a pasos nema 17 4kg/cm con controlador TB6600
C22R-1000	Cable para conexiones Estandado rojo calibre 22
C22N-1000	Cable para conexiones Estandado negro calibre 22
C22CA-1000	Cable para conexiones Estandado cafe calibre 22
C22B-1000	Cable para conexiones Estandado blanco calibre 22
ESP32	microcotrolaador programable esp32-devroom-32
Protoboard	400 puntos
Pantalla oled	Módulo de pantalla OLED 128x64 píxeles 3,3-5 V I2C IIC para R3/Raspberry Pi/Mega

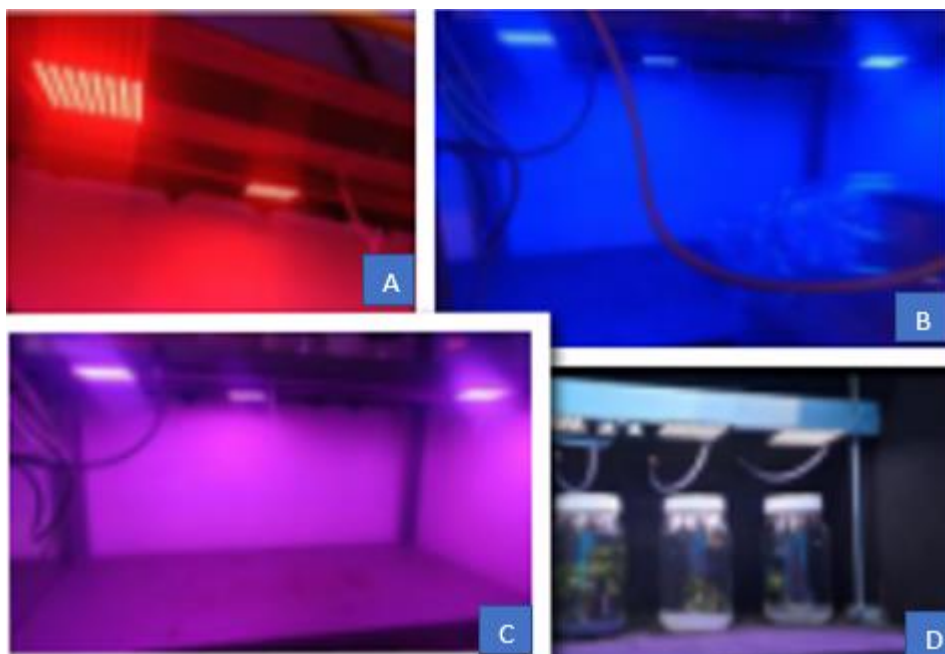


FIGURA 9 Luces LED utilizadas

A) Luz roja, B) Luz azul, C) Luz violeta, D) Luz blanca

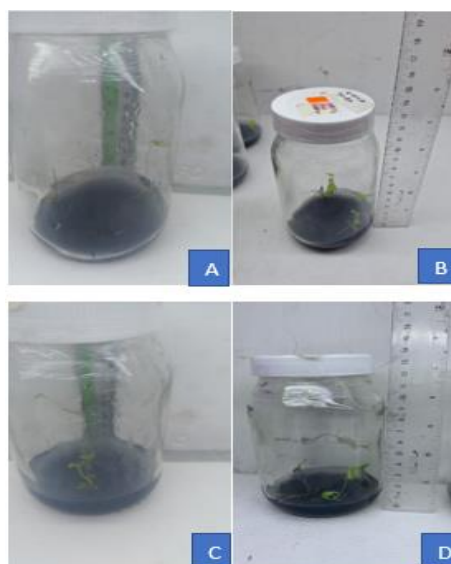


FIGURA 10 Avance de plántulas en crecimiento

A) Crecimiento de a-3.3 cm, B) Crecimiento de b 4 cm, C) Plántulas de camote tratamiento T4-R4, tercer reporte 90 días después con crecimiento de a-6.6 cm, b 5.6 cm con diferencia de a-4.6 cm y b 3.6cm, D) Resultado de crecimiento de a 4.6 cm.

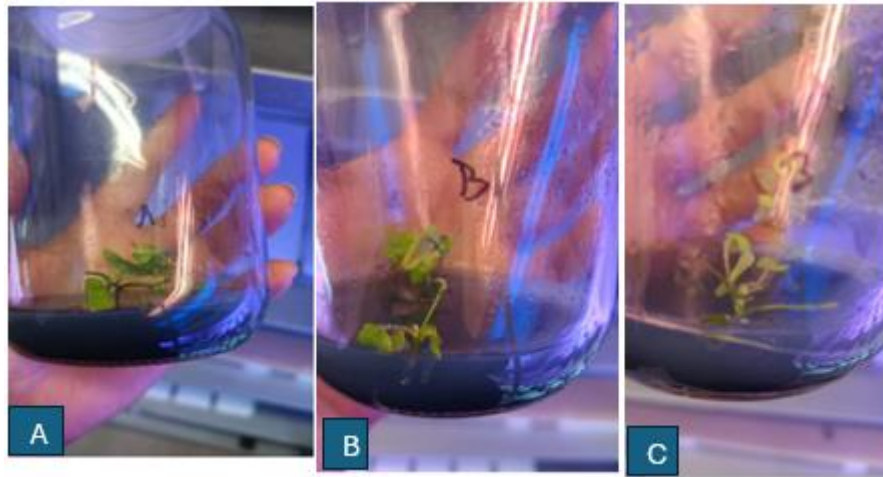


FIGURA 11 Efecto de luces en plántulas

A)Efecto de la luz violeta: Se detectó un crecimiento equilibrado en hojas, nodos y raíces, indicando que podría ser un espectro adecuado para fases específicas del desarrollo, B)Efecto de la luz blanca: Aunque la luz blanca combina diferentes espectros, su influencia en el crecimiento fue de 2.7 cm y 1.5 cm para B al término de 60 A-2.7 cm, B-3.3 cm, C)La siguiente imagen muestra el color azul para la germinación y crecimiento de plántulas de camote. B-2.5 cm

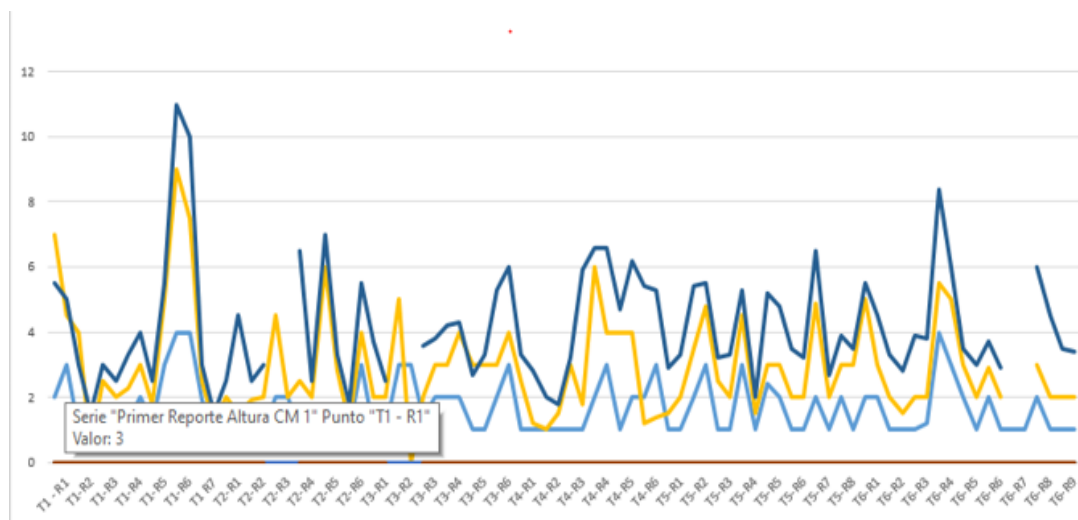


FIGURA 12 Gráfica comparativa de los tres bimestres

A) Azul cielo primer bimestre, B) Amarillo segundo bimestre, C) Azul fuerte tercer bimestre

Crecimiento en las Plántulas

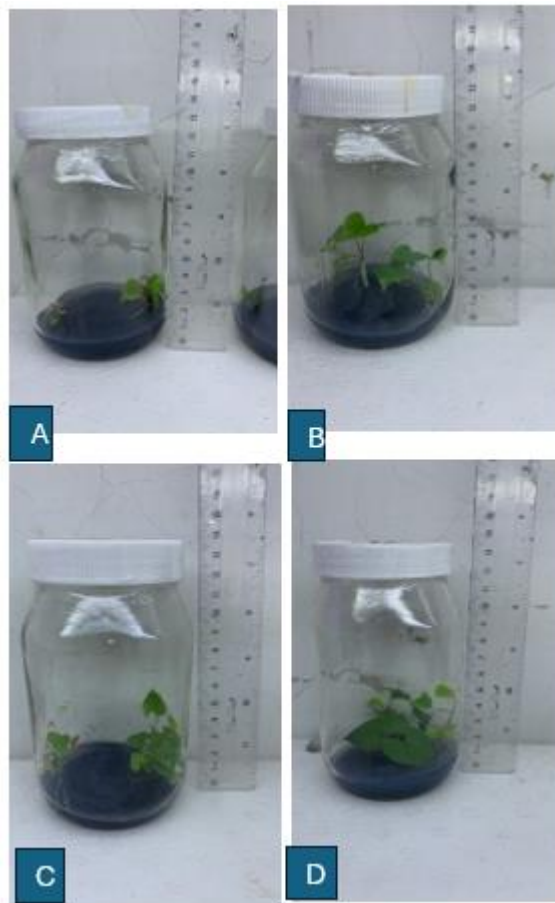


FIGURA 13. Avance de crecimiento de plántulas

A) Cantidad de raíces, plántula con luz roja, B) Altura con luz blanca C) Cantidad de nodos con luz Azul, D) Cantidad de hojas con luz violeta

Código

Se muestran las librerías que se utilizaron

```
#include <WiFi.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
#include <WebServer.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <ESPmDNS.h>
#include <Ultrasonic.h>
#include <AccelStepper.h>
#include <MultiStepper.h>
#include <ArduinoJson.h>
```

FIGURA 14. Librerías

include = librería, <Wifi.h> = Conectarse a una red WiFi, <Adafruit_NeoPixel.h> = controlar tiras de LEDs RGB direccionables, < WebServer.h> = crea un servidor web en el dispositivo, <Wire.h> = conectar y controlar dispositivos como sensores, <LiquidCrystal> = controla pantalla LCD, <ESPmDNS.h = acceso a un servidor web, <Ultrasonic.h> = para medir la distancia de un riel o activar luces automáticamente, <AccelStepper.h> = controlar motores paso a paso, <MultiStepper.h> controlar múltiples motores paso a paso de manera simultánea, <ArduinoJson.h> = manipulación de datos en formato JSON (JSON = para intercambiar datos entre sistemas).

```

// Inicializar la pantalla LCD con la dirección 0x27 y tamaño 16x2
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Crear servidor en el puerto 80
WebServer server(80);

// Variables para controlar la intensidad y los tiempos
int intensidad = 100; // Intensidad predeterminada
int tiempoNegro = 480; // Minutos con color negro (apagado)
int tiempoColor = 960; // Minutos con el color seleccionado

unsigned long lastChangeTime = 0; // Última vez que cambiamos el estado
bool colorNegro = false; // Estado de los LEDs (negro o color seleccionado)
unsigned long tiempoNegroMillis = tiempoNegro * 60000; // Convertir minutos a milisegundos
unsigned long tiempoColorMillis = tiempoColor * 60000; // Convertir minutos a milisegundos

// Variables globales para los últimos valores de color y configuración
int lastR1, lastG1, lastB1, lastR2, lastG2, lastB2;
int pendingIntensity = -1; // Variable para almacenar la intensidad pendiente si los LEDs están apagados
int pendingR1 = -1, pendingG1 = -1, pendingB1 = -1; // Colores pendientes de ser aplicados
int pendingR2 = -1, pendingG2 = -1, pendingB2 = -1; // Colores pendientes de ser aplicados

// Contenido HTML
const char* htmlContent = R"rawliteral(
<!DOCTYPE HTML>
<html>
<head>
  <title>ECO LUZ AGRILED</title>
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0"> <!-- Metaetiqueta viewport -->

```

FIGURA 15. Variables de controlador--Variables globales

Variables = las variables son espacios de memoria que se utilizan para almacenar valores que pueden cambiar durante la ejecución de un programa,

variables globales = son aquellas variables que se declaran fuera de cualquier función (generalmente al principio del código).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/5117?utm_source=chatgpt.com

<https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/5117>

https://elpais.com/tecnologia/tu-tecnologia/2024-12-07/dispositivos-tecnologicos-para-que-tus-plantas-sean-la-envidia-de-cualquiera.html?utm_source=chatgpt.com

<https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/144110>

<https://nucleorural.com/ciencia-a-tu-alcance/la-luz-led-transforma-la-produccion-agricola-nid-10650>

https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/5117?utm_source=chatgpt.com

https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/5117?utm_source=chatgpt.com

https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/5117?utm_source=chatgpt.com

https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/5117?utm_source=chatgpt.com