



Evaluación del efecto de luces LEDs en el desarrollo morfogénico y fisiológico *in vitro* de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey

Fernández Catota, Gabriel Andrés

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal, Mgtr.

4 de Julio del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de titulación: “Evaluación del efecto de luces LEDs en el desarrollo morfogénico y fisiológico *in vitro* de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey” , fue realizado por el señor: **Fernández Catota, Gabriel Andrés**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 4 de julio del 2023



Firmado electrónicamente por:
**PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA**

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal, MSc.

C. C 1708262348

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos

4/7/23, 13:52

TESIS

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO
TESIS 2023 UTITULACIÓN

NOMBRE DEL ALUMNO
GABRIEL ANDRES FERNANDEZ CATOTA

NOMBRE DEL ARCHIVO
Proyecto Titulación Fernández.docx

SE HA CREADO EL INFORME
4 jul 2023

Resumen

Fragmentos marcados	1	0,1 %
Fragmentos citados o entrecorridos	0	0 %
Coincidencias de la Web		
researchgate.net	1	0,1 %

1 Fragmento

Fragmento del alumno **MARCADO**

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Mejor coincidencia en la Web

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA **TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO TEMA "IDENTIFICACIÓN,...**

Figures -

ResearchGate https://www.researchgate.net/publication/340260866_DEPARTAMENTO_DE_CIENCIAS_DE_LA_VIDA_Y_DE_LA_AGRICULTURA_CARRERA_DE



firmado electrónicamente por:
**PABLO ANIBAL
LANDAZURI ABARCA**

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal, MSc.

C.C. 1708262348



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Fernández Catota, Gabriel Andrés**, con cédula de ciudadanía No 1720485778, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo titulación: “**Evaluación del efecto de luces LEDs en el desarrollo morfogénico y fisiológico *in vitro* de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey**”, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 4 de julio del 2023

Fernández Catota, Gabriel Andrés
C.C. 1720485778



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Fernández Catota, Gabriel Andrés**, con cédula de ciudadanía No 1720485778 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Evaluación del efecto de luces LEDs en el desarrollo morfogénico y fisiológico *in vitro* de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 4 de julio del 2023

Fernández Catota, Gabriel Andrés
C.C 1720485778

Dedicatoria

Quiero dedicar el presente trabajo de tesis a DIOS, ya que su infinita sabiduría impartida a lo largo de mi investigación, me permitió desarrollar mi proyecto con gran determinación.

Dedico de manera muy especial mi proyecto de tesis a MI MADRE MARTHA, su apoyo y amor incondicional que me brinda día a día, fue fundamental para la conclusión de este trabajo. Fuiste el pilar más primordial e importante durante toda mi carrera e investigación y esta, es mi manera de rendirte HONORES y mostrarte mi respeto y amor hacia TI. Este logro es fruto de tu esfuerzo y sacrificio, y te lo dedico plenamente a TI, pues eres la razón de mi éxito.

A mi familia (PADRE – MADRE – HERMANO), quienes supieron compartir y brindarme el apoyo necesario, para llevar a cabo la finalidad de mis estudios, su ayuda me permitió obtener la oportunidad de obtener una educación y lograr desarrollarme profesionalmente.

Agradecimiento

Expreso mi total agradecimiento a Dios y mi Familia, su apoyo y colaboración para con mi persona, son el impulso necesario que me permiten conseguir grandes resultados en todo momento, su sabiduría impartida, me ha permitido forjar un criterio con principios estoicos, en constante desarrollo, para así, no abdicar ante las dificultades que se imponen en el camino.

Expreso mis agradecimientos a los docentes participantes de esta investigación, ya que estuvieron a lo largo de mi proyecto de titulación, quienes supieron impartir sus conocimientos hacia mi persona, permitiéndome orientar de mejor manera y lograr con éxito la finalización de mi tesis.

GRACIAS.

Índice de contenidos

Carátula	1
Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas	12
Índice de figuras.....	13
Resumen	14
Abstract.....	15
CAPÍTULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
Antecedentes	16
Justificación.....	18
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos específicos	19
Hipótesis.....	19
CAPÍTULO II	20
MARCO REFERENCIA	20
Origen de la fresa.....	20

Morfología de la fresa	20
Raíces	20
Tallo.....	21
Hojas	21
Estolones.....	21
Flores.....	21
Fruto.....	22
Clasificación taxonómica.....	22
Micropropagación de plantas	22
Micropropagación de fresas	23
Medio de cultivo	23
Componentes orgánicos	24
Compuestos minerales	24
Vitaminas y aminoácidos	24
Reguladores de crecimiento	25
Auxinas.....	25
Citocininas.....	25
Giberelinas	25
Etapas de la micropropagación.....	26
Etapa 0: Selección del material vegetativo	26
Etapa 1: Establecimiento del cultivo	26
Etapa 2: Multiplicación del cultivo.....	26
Etapa 3: Enraizamiento	26
Etapa 4: Aclimatación	27

La luz e importancia en las plantas	27
Luz en las plantas	27
Receptores de luz.....	28
Emisiones de luz.....	28
Proporciones de luz y su efecto en las plantas	29
CAPÍTULO III	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
Ubicación de la investigación.....	30
Métodos.....	31
Obtención del material vegetativo (Fragaria x ananassa variedad Monterrey).....	31
Desinfección del material vegetativo.....	31
Preparación del medio para la etapa inicial y siembra de explantes	31
Preparación del medio para la etapa de multiplicación y siembra de explantes	32
Preparación del sustrato de enraizamiento y siembra de explantes	32
Diseño del experimento.....	32
Características de la unidad experimental.....	33
Croquis del diseño experimental	33
Análisis estadístico	34
Variables medidas en las etapas de multiplicación y enraizamiento del cultivo in vitro de fresas.....	34
Etapa de multiplicación del cultivo in vitro de fresas	34
Etapa de enraizamiento del cultivo in vitro de fresas.....	34
Medición del contenido de clorofila en la etapa de enraizamiento del cultivo in vitro de fresas	35
CAPÍTULO IV	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36

Resultados.....	36
Etapa de multiplicación.....	36
Etapa de enraizamiento	37
Discusión	42
CAPÍTULO V	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
Conclusiones	45
Recomendaciones.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

Índice de tablas

Tabla 1 Ecuación para la obtención de clorofila ($\mu\text{mg. ml}^{-1}$)	35
Tabla 2 Influencia de diferentes combinaciones de luces LED`s en: Longitud de explantes, número de hojas, total de explantes y coeficiente de multiplicación en explantes de <i>Fragaria x ananassa</i> var. Monterrey in vitro.....	36
Tabla 3 Influencia de diferentes combinaciones de luces LED`s en: Longitud de raíces, número de raíces y porcentaje de enraizamiento en explantes de <i>Fragaria x ananassa</i> var. Monterrey in vitro	38
Tabla 4 Influencia de diferentes combinaciones de luces LED`s para clorofila α , clorofila β y clorofila total de la etapa de enraizamiento en <i>Fragaria x ananassa</i> var. Monterrey in vitro	39

Índice de figuras

Figura 1 Visión satelital del lugar del estudio experimental.....	30
Figura 2 Croquis del diseño experimental	33
Figura 3 Porcentaje de enraizamiento en explantes de <i>Fragaria</i> x <i>ananassa</i> var. Monterrey in vitro bajo la Influencia de diferentes combinaciones de luces LED`s.	38
Figura 4 Influencia de diferentes combinaciones de luces LED`s para la cantidad de clorofila α , clorofila β y clorofila total en explantes de <i>Fragaria</i> x <i>ananassa</i> var. Monterrey in vitro mediante el extractante etanol al 95%.....	39
Figura 5 Efecto de luces LEDs en el desarrollo morfológico y fisiológico in vitro en la micropropagación de <i>Fragaria</i> x <i>ananassa</i> var. Monterrey.....	41

Resumen

Durante la micropropagación, existen factores que intervienen en los procesos metabólicos de las especies vegetales, un factor primordial es la luz, ya que permite el desarrollo morfogénico y fisiológico en explantes. En esta investigación el objetivo fue evaluar el efecto de diferentes espectros de luces LEDs en el desarrollo morfogénico y fisiológico in vitro de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey. Se cultivaron así, explantes de fresa (estolones) para las etapas de multiplicación y enraizamiento aplicando tratamientos de luz LED blanca (T0), luz LED azul (T1), luz LED roja (T2) y la combinación de luces LED azul-roja (T3) con longitudes de onda de $40 \mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Se evaluaron variables de longitud de explantes y raíces, número de hojas y raíces, porcentaje de enraizamiento y clorofila α , β y total. El diseño fue un DCA, con 4 repeticiones por tratamiento y cuando hubo diferencias significativas entre tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Se calculó la media \pm desviación estándar de las variables. Se evidenciaron resultados óptimos al aplicar luces LEDs rojas en *F. x ananassa*, obteniendo valores superiores de longitud de explantes de 5.38 cm, número de hojas 18.50, longitud de raíces 3.70 cm, número de raíces 15.00 cm, enraizamiento del 91.67%, clorofila α , β y total 29.67; 47.07; 76.74 $\mu\text{mg.ml}^{-1}$, en relación al testigo. La aplicación de luminarias LEDs del espectro rojo son una alternativa eficaz para el aporte óptimo de luz en explantes de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey ya que promueven procesos morfogénicos y fisiológicos in vitro.

Palabras clave: MICROPROPAGACIÓN, DIODOS EMISORES DE LUZ, EXPLANTES, IN VITRO.

Abstract

During micropropagation, there are factors that intervene in the metabolic processes of plant species, a primary factor is light, since it allows morphogenic and physiological development in explants. In this research, the objective was to evaluate the effect of different spectrums of LED lights on the in vitro morphogenic and physiological development of *Fragaria x ananassa* variety Monterrey. Strawberry explants (spurs) were cultivated for the multiplication and rooting stages applying treatments of white LED light (T0), blue LED light (T1), red LED light (T2) and the combination of blue-red LED lights (T3) with wavelengths of $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Variables of explant and root length, number of leaves and roots, rooting percentage and α , β and total chlorophyll were evaluated. The design was a DCA, with 4 repetitions for treatment and when there were significant differences between treatments they were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). The mean \pm standard deviation of the variables was calculated. Optimal results were evidenced when applying the red LED light in *F. x ananassa* with higher values of explant length of 5.38 cm, number of leaves 18.50, length of roots 3.70 cm, number of roots 15.00 cm, rooting of 91.67%, chlorophyll α , β and total 29.67; 47.07; 76.74 $\mu\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}$, in relation to the control. The application of red spectrum LED luminaires are an effective alternative for the optimal supply of light in explants of *Fragaria x ananassa* var. Monterrey since they promote morphogenic and physiological processes in vitro.

Keywords: MICROPROPAGATION, LIGHT-EMITTING DIODES, EXPLANTS, IN VITRO.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El cultivo de fresa (*Fragaria sp.*) es una especie frutícola consumida por variedad de personas en todo el mundo, siendo un cultivo de gran aceptación, su fruto posee un gran contenido de vitaminas acompañado de un agradable sabor. En Ecuador se ha realizado la implementación de este cultivo a campo abierto contribuyendo a la soberanía alimentaria del país y se ha incorporado nuevos métodos de producción, aplicando tecnologías de micropropagación o cultivo *in vitro*, permitiendo así un eficiente desarrollo y crecimiento de fresas (Lema & Chiqui, 2010).

Al existir diversidad de técnicas que se emplean para la producción de cultivos, la micropropagación o cultivo *in vitro*, hace referencia al desarrollo de células vegetales que son cultivadas en condiciones de asepsia en un medio de cultivo que contiene una composición química y es desarrollado en condiciones ambientales reguladas y controladas. Esta técnica permite obtener material genético de alta calidad permitiendo la conservación genética de especies vegetales, producción de plantas de calidad superior y plantas que presentan mayor resistencia y tolerancia a factores de estrés entre otras (Bures *et al.*, 2018).

Se han encontrado diversos estudios que demuestran la aplicación de LEDs en la micropropagación, particularmente se ha encontrado mayormente cultivo *in vitro* de especies ornamentales y se ha destacado principalmente en consideración cultivos referentes a orquídeas, crisantemos, *Spathyphyllum* y *Zantedechias* (Bures *et al.*, 2018).

Massa *et al.* (2006), demostraron eficazmente la aplicación de luminarias LEDs en diferentes cultivos como espinacas, lechugas, rábano y trigo. Generalmente cerca del 15% de luz azul que se necesita para el crecimiento normal de las plantas, y sus rendimientos han sido alcanzados, comparables al crecimiento en condiciones de luz blanca.

La producción de plantas de fresa se realiza en campo, sin embargo, se puede mejorar mediante el uso de micropropagación, disminuyendo la posibilidad de enfermedades o agentes contaminantes que se presentan en condiciones exteriores de producción, es por ello que se presentan varias alternativas, Bures *et al.* (2018), diseñaron un sistema de luces fluorescentes de manera tradicional, que presentó desventajas en este tipo de luces, ya que, generan un alto consumo de energía y produce una amplia gama de longitudes de onda, innecesarias y dañinas para el desarrollo de las plantas.

Se ha realizado micropropagación de fresas en laboratorio, controlando así, condiciones de carácter físico-químicas, nutricionales y ambientales. Los sistemas tradicionales de iluminación han presentado limitaciones respecto a la calidad de luz espectral, por lo que el uso de luces LEDs empleados en los sistemas de producción, permiten a los fabricantes generar luminarias con capacidades de luz espectral especializadas, disponiendo de esa manera altas eficiencias de conversión fotoeléctrica, intensidades de luz necesarias para cada cultivo y bajos rendimientos acorde a costos de producción. Además, en la micropropagación se ha considerado un factor clave que es la fijación de carbono, ya que las plantas, utilizan la radiación fotosintéticamente activa (PAR) para aportar una adecuada calidad de luz e intensidad necesaria para la realización efectiva de procesos fotosintéticos (Navarro, 2013). Al aplicar herramientas de iluminación LEDs, se permite obtener una alternativa efectiva de fuente de luz para promover adecuados procesos fotosintéticos y que influyen en la morfogénesis de especies vegetales, permitiendo así, un adecuado desarrollo y crecimiento de explantes cultivados vía *in vitro* (Ramos & Ramírez, 2016).

En la Carrera de Ingeniería Agropecuaria se han realizado estudios con el uso de LEDs en cultivo *in vitro* de mora, encontrando que la combinación de las luces, fueron específicas para cada fase de la micropropagación (multiplicación luz verde y enraizamiento luz blanca fluorescente y luz LED azul), que incrementaron los parámetros de calidad de planta, multiplicación y enraizamiento (Moya, 2019).

Justificación

Las plantas necesitan de la luz para poder realizar todos sus procesos vitales, principalmente procesos fotosintéticos, por ende, es necesario la radiación lumínica proveniente de la luz del sol, que es utilizada por la molécula de clorofila y que influye directamente en procesos morfogénicos en las especies vegetales. El uso de luces LEDs como una fuente de radiación lumínica para las plantas ha permitido tener un gran potencial, ya que permite promover el crecimiento vegetativo, regula procesos de floración de variedad de plantas y permiten promover un mayor poder de emisión de longitudes de onda específicos para realizar procesos metabólicos en las plantas.

La producción de plantas de fresa se realiza tradicionalmente por reproducción asexual: por estolones y coronas, que por malas prácticas de manejo han facilitado la transmisión de enfermedades tales como *Pestalotia sp*, *Fusarium oxysporum*, *Verticillium sp*, entre otros. Una alternativa para emplear en la producción de fresas es la micropropagación incorporando luces LEDs, ya que emiten longitudes de onda específicas para las plantas. En este sentido, los LEDs se pueden ajustar para solo producir los espectros que las plantas necesitan para las respuestas morfogénicas, a su vez, permiten una efectiva exposición de luz con respecto al periodo de exposición, mejor desarrollo y calidad de plántulas, control sanitario del material vegetativo, producción intensiva de fresas en menor tiempo, disminución de costos energéticos y un control efectivo de agentes biológicos contaminantes (Cañal, 2001).

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de luces LEDs en el desarrollo morfogénico y fisiológico in vitro de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey

Objetivos específicos

- Cuantificar el efecto que producen las luces LEDs del espectro blanco, rojo, azul y combinación azul-rojo sobre el desarrollo morfogénico y fisiológico en explantes in vitro de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey en las etapas de multiplicación y enraizamiento.
- Medir la cantidad de clorofila en los explantes in vitro de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey expuestos a las luces LEDs blanca, roja, azul y combinación azul-roja en la etapa de enraizamiento.
- Determinar el porcentaje de enraizamiento en los explantes in vitro de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey.

Hipótesis

H0: Las luces LEDs no influyen en el desarrollo morfogénico y fisiológico de los explantes in vitro de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey.

H1: Las luces LEDs influyen en el desarrollo morfogénico y fisiológico de los explantes in vitro de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIA

Origen de la fresa

La fresa ha evidenciado diferentes formas nativas que se encontraban adaptadas a diversidad de climas alrededor del mundo, con algunas excepciones (Asia, África y Nueva Zelanda). En el año de 1400 se reporta que era cultivada en laderas del Sur de los Alpes, esta era conocida como la forma “Alpina”. En 1600 se reportó el cultivo de *Fragaria moschata*, esta variedad tuvo la particularidad de ser transportada hacia América del Norte (Costas del Este), donde presentó una adaptación considerable. En el año de 1614 fue descubierta por vez primera por Alfonso Ovalle en Sudamérica, propiamente en el país de Chile cerca del año de 1614 en una comunidad llamada Concepción. En Ecuador se registran los primeros reportes por el padre Gregorio Fernández, reportando la variedad *Fragaria chiloensis* (Cañal, 2001).

La fresa es una planta de carácter herbáceo y es perteneciente a la familia de las Rosáceas, propiamente del género *Fragaria*. Alrededor del mundo se han encontrado más de 1000 variedades existentes de fresas, ya que permite una efectiva capacidad de hibridación. En Ecuador se ha registrado su producción en la zona interandina llegando a producirse en zonas altitudinales que van de 1200 a 2500 msnm (Lema & Chiqui, 2010).

Morfología de la fresa

Raíces

La fresa presenta raíces fasciculadas, que permiten cumplir y generar una función de soporte y, además, posee raicillas siendo de carácter secundarias, las cuales cumplen una función de absorción de nutrientes o sustancias, que permiten el desarrollo de la planta. Las raicillas presentes en la planta de fresa se encuentran principalmente entre los primeros 25 cm, para la mayoría de casos (Mamaní & Murillo, 2020).

Tallo

El tallo de la planta de fresa mantiene una morfología a manera de un eje corto y de aspecto cónico denominado corona, a partir de la corona se desarrollan diversas ramificaciones permitiendo la formación de estolones y hojas (Mamaní & Murillo, 2020).

Hojas

Las hojas se encuentran en forma de roseta y están ubicadas sobre la corona, mantienen una forma peciolada y están provistas de dos estípulas de coloración rojiza y la parte de su limbo presentan tres segmentaciones (foliolos) de bordes de manera acerrada y el envés mantiene una recubierta de pelos muy finos (Mamaní & Murillo, 2020).

Estolones

En las plantas de fresa los estolones se caracterizan por ser de una aspecto largo y rastrero y este se forma partir de yemas axilares, mantienen su origen en la base de la corona, de esta manera se logra una efectiva multiplicación de la planta (Mamaní & Murillo, 2020).

Flores

Se puede disponer de flores perfectas conformadas por órganos reproductores (masculino y femenino) y/o a su vez encontrar plantas que poseen únicamente un solo órgano reproductivo, siendo de esta manera flores imperfectas. El aspecto de las flores presenta una coloración blanco-rojiza. Se encuentra conformado por 5-6 pétalos con presencia de estambres entre 20-30. Presenta también un receptáculo carnoso conformado por pistilos. Al momento de presentarse fecundación se forma un fruto de tipo aquenio que al desarrollarse presenta una coloración acorde al receptáculo carnoso (Mamaní & Murillo, 2020).

Fruto

La botánica denomina al fruto de la fresa como eterio (receptáculo floral de manera engrosada y de consistencia carnosa), el fruto se encuentra a manera de aquenio y su parte comestible es el receptáculo conformado por variedad de aquenios. La forma del fruto es cónica, pero puede presentar variedad de formas siendo globulosas, esféricas entre otras. Su coloración empieza de manera verde blanquecina, acorde su desarrollo presenta una coloración rojiza y puede alcanzar una tonalidad de color violeta profundo (Mamaní & Murillo, 2020).

Clasificación taxonómica

Días (2023), menciona que la fresa presenta la siguiente taxonomía:

Reino: Plantae; División: Magnoliophyta; Clase: Magnoliopsida; Familia: Rosaceae; Género: *Fragaria*;

Especie: *ananassa*. La fresa cultivada es perteneciente a la variedad Monterrey.

Micropropagación de plantas

El cultivo in vitro o micropropagación de plantas es considerado bajo el concepto de la totipotencia celular. Esta teoría o fundamento indica que el explante extraído de la planta donadora permite la posibilidad de generar u obtener una planta nueva, considerando esencialmente el control de las condiciones a cultivar de los tejidos. Los explantes utilizados en esta técnica atraviesan procesos como la dediferenciación meristemática, posteriormente la rediferenciación de las células para permitir respuestas morfológicas y la adecuada obtención de callos, brotes, y primordios (Cedr ez, 2015).

Este método de propagación de especies vegetales permite disponer de nutrientes necesarios y a su vez disponer de las condiciones ambientales adecuadas y controladas para que se desarrollen de manera efectiva las plantas. Para tal proceso es necesario utilizar explantes (hojas, tallos, raíces, semillas u otro  rgano). Bajo este sistema de propagación es considerado el uso de medios de cultivo adecuados con materiales como macronutrientes, micronutrientes, hormonas de crecimiento entre otros, permitiendo el desarrollo óptimo de explantes. Las ventajas que se obtienen al aplicar esta técnica de

propagación es la obtención de plantas libres de enfermedades, multiplicación de plantas de manera rápida, mejoras genéticas entre otros (Cañal, 2001).

Micropropagación de fresas

La producción de fresas realizadas bajo condiciones de campo, ha permitido que el cultivo de fresas sea vulnerable para agentes patógenos como enfermedades y plagas que afectan el desarrollo del cultivo, para ello se ha permitido realizar otras técnicas de propagación conocido como micropropagación o cultivo in vitro, de esta manera, se ha obtenido resultados efectivos no solo al desarrollo de la fresa, sino que además, se ha permitido obtener una cantidad masiva en cuanto a productividad (Ruíz *et al.*, 2018).

Las plantas propagadas mediante el uso de esta técnica son utilizadas de manera eficaz para el establecimiento de plantaciones, de esta manera, las plantas llevadas a cabo con este procedimiento han permitido desarrollar mayor cantidad de flores, mejor cantidad de producción de frutos a nivel de hectárea, mayor cantidad de brotes y estolones con mejor calidad y vigor a relación de plantas propagadas de manera tradicional (Lassaga *et al.*, 2010).

Para el establecimiento del cultivo in vitro de fresas, se pueden emplear diversas partes de la planta, ya sea por estolones, coronas o meristemos, así, se permite obtener material vegetativo para este proceso. Una vez seleccionado el material vegetal a propagar en laboratorio, se realizan procesos de asepsia rigurosos, que permitan la eliminación de agentes infecciosos (microorganismos), para evitar posibles contaminaciones biológicas (Ñahuinlla, 2018).

Medio de cultivo

Es un sustrato donde se incorporan los explantes de carácter vegetal, este medio este constituido por compuestos determinados, que deben estar ajustados al requerimiento de la especie vegetal y del objetivo específico a perseguir. El medio de cultivo cumple dos finalidades principales, permitir y dar

soporte a la especie vegetal que se cultiva de manera in vitro y aportar los nutrientes necesarios para promover el efectivo desarrollo y crecimiento del explante (Ñahuinlla, 2018).

Se dispone en el medio de cultivo elementos principales que dan el sostén necesario para la supervivencia y desarrollo de los explantes, los componentes orgánicos y minerales, vitaminas, hormonas o reguladores de crecimiento de características vegetales y gelificantes (Ñahuinlla, 2018).

Componentes orgánicos

Son compuestos (azúcares) que se utilizan en el medio de cultivo (glucosa, sacarosa, fructosa). El principal azúcar que se utiliza en los procedimientos de cultivo in vitro es la sacarosa, ya que es un compuesto que es asimilado efectivamente en las especies vegetales. Los componentes orgánicos brindan a los explantes principalmente energía para que puedan realizar sus procesos morfogénicos y fisiológicos. La dosis a emplear de los azúcares dependen del cultivo a desarrollar y la edad de los tejidos o explantes que se lleven a cabo en el cultivo in vitro (Ñahuinlla, 2018).

Compuestos minerales

En el caso de los componentes minerales se utilizan sustancias que cubran los requerimientos del explante a propagar, para optimizar los procesos de desarrollo vegetal. Se emplea así, los principales macro elementos nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca) y azufre (S). En la categoría de microelementos se trabajan con zinc, (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), hierro (Fe) entre otros (Ñahuinlla, 2018).

Vitaminas y aminoácidos

Los compuestos vitamínicos que se emplean en los medios de cultivo cumplen una función principal de permitir el efectivo crecimiento de los explantes, una deficiencia de estos elementos dentro de la micropropagación puede ocasionar un significativo desarrollo de las especies vegetales. Las

vitaminas permiten una efectiva función al incorporarlos con aminoácidos, promoviendo así, la efectiva morfogénesis de los explantes dentro de la micropropagación (Moya, 2019).

Reguladores de crecimiento

Son compuestos sintetizados (hormonas vegetales) que se implementan para cubrir carencias de hormonas biosintetizadas de manera natural en las plantas, de esta manera, permiten maximizar los procesos fisiológicos de los explantes dentro de la micropropagación (Moya, 2019).

Auxinas

Son compuestos vegetales que son sintetizados internamente en las plantas, estos compuestos cumplen una función de elongación a nivel celular y permiten la respectiva división celular en el proceso de la micropropagación. Se permite el uso de auxinas como el AIA (ácido indol acético) ácido fenilacético y ácido 4 cloroindolacético entre otros. Permiten la formación callos, brotes, formación y crecimiento de raíces (Moya, 2019).

Citocininas

Las citocininas son sintetizadas dentro de las plantas principalmente en los órganos vegetales que se encuentran en desarrollo y su movilidad a nivel interno en la planta, es reducida. Dentro de las principales citocininas se encuentran el BAP (N-6-bencil aminopurina), kinetina y zeatina. La función principal de las citocininas, es permitir el adecuado proceso de síntesis de ADN, promueven la formación de callos, promueven la germinación de semillas y actúan en conjunto con las auxinas para un efectivo desarrollo vegetal (Mamaní & Murillo, 2020).

Giberelinas

Las giberelinas son compuestos que cumplen una función de división celular y su respectiva elongación, de esta manera permiten acelerar los procesos de desarrollo y crecimiento en los explantes. La principal giberelina que se utiliza en el proceso de cultivo in vitro es la AG3 (Mamaní & Murillo, 2020).

Etapas de la micropropagación

Etapa 0: Selección del material vegetativo

Es la selección y preparación del material vegetal que se debe disponer para la obtención de explantes, esta es llevada a cabo por una planta donadora. Se realiza un análisis de las plantas donantes para evitar la aparición de enfermedades en el cultivo (Lassaga *et al.*, 2010).

Etapa 1: Establecimiento del cultivo

Esta etapa es denominada también introducción ya que se debe preparar los explantes para dar inicio al tejido in vitro. Se realiza la desinfección del material vegetal con el que se va a trabajar. Se debe considerar tejidos juveniles (yemas, semillas o embriones) ya que poseen una particularidad de regeneración rápida. Se realiza la introspección de la planta donante para aplicar agentes de control de enfermedades como antibióticos y fungicidas (Lassaga *et al.*, 2010).

Etapa 2: Multiplicación del cultivo

Se realiza el incremento del material vegetal seleccionado, la finalidad de esta etapa es el aumento de la máxima cantidad de brotes, de esa manera se obtiene material para procesos de multiplicación posteriores. Durante la multiplicación se destacan dos fases conocidas como organogénesis y embriogénesis, así, se conduce a la producción de vástagos permitiendo el enraizamiento de los explantes y la formación de embriones (Lassaga *et al.*, 2010).

Es importante evitar durante la etapa que se realice la formación de callos ya que esto conduce a una variación de carácter somaclonal en los explantes. Además, se debe considerar un manejo importante de nutrientes, hormonas o reguladores de crecimiento y condiciones ambientales ya que determinan un rol importante en esta etapa (Lassaga *et al.*, 2010).

Etapa 3: Enraizamiento

Durante esta etapa se predomina el uso de reguladores de crecimiento como las auxinas, ya que permiten la formación de raíces adventicias. Esta fase puede ser llevada de manera ex situ o in vitro, ya

que se utilizan explantes provenientes de la etapa de multiplicación que posean entre 3-5 yemas. Las auxinas debe ser empleadas en concentraciones de 1^{-10} μM en los vástagos formados, posteriormente son preparados en un medio para la formación de raíces (Lassaga *et al.*, 2010).

Etapa 4: Aclimatación

Se debe realizar un control de factores como la temperatura y humedad relativa para evitar pérdidas del material vegetativo. Se concluye la etapa del cultivo in vitro y depende en gran medida de la adaptabilidad y supervivencia de las plantas formadas hacia condiciones ex vitro (Lassaga *et al.*, 2010).

La luz e importancia en las plantas

Luz en las plantas

La luz es uno de los factores importantes que requieren las plantas para un adecuado desarrollo, es una fuente que permite la realización de procesos importantes como la fotosíntesis, de esta manera, las plantas captan la luz proveniente del sol convirtiendo la energía lumínica en energía química para la elaboración de su propio alimento (Romo, 2005).

La fotosíntesis es un proceso en el cual interviene la reacción entre el H₂O y el CO₂ con la acción de la energía solar para la formación de CHO y O₂, este proceso varía su velocidad considerando la cantidad de luz emitida hacia las plantas; es mayor a medida que aumenta la radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Romo, 2005).

La luz proveniente del sol imparte longitudes de onda y propiamente se destaca por emitir entre 200 – 2800 nm. Se divide en luz ultravioleta (100-300 nm), luz visible (380- 780 nm) y luz infrarroja (380- 780 nm). Dentro de la luz visible se encuentran la luz violeta, azul, verde, amarilla, naranja y roja, en el caso de las plantas realizan la radiación fotosintéticamente activa (PAR) con longitudes de onda que van desde 400 a 700 nm. En las plantas, la clorofila es el encargado de absorber la luz del sol, y considera en una mayor absorción a la luz azul y a la luz roja (Chen, 2023).

Receptores de luz

Fitocromos

Son pigmentos de característica vegetal, que se encuentran en la membrana celular y en la membrana de los cloroplastos, estos pigmentos permiten promover procesos metabólicos, ya que están propiamente inmersos a la variación del ambiente en el que se encuentran las plantas, optimizando así el desarrollo y crecimiento vegetativo (Mazzella, 2001).

Criptocromos

Cumplen la función de inhibición del alargamiento del hipocótilo y además permite la apertura de cotiledones al inducir a las especies vegetales a concentraciones altas de coloración azul (Mazzella, 2001).

Fototropinas

Las fototropinas son fotorreceptores que permiten generar transiciones fisiológicas en las especies vegetales, y cumplen su función en conjunto con los otros receptores permitiendo la respuesta de crecimiento en las plantas por el estímulo de la respuesta medio ambiental promovido por el factor luz (Mazzella, 2001).

Emisiones de luz

Luz artificial

Este tipo de luz permite compensar la falta o escasa iluminación natural que pueda percibir la planta, además es utilizada cuando las condiciones de luz son ineficientes como en la estación invernal. Se puede utilizar lámparas de luz fluorescentes blancas. Mayormente el espectro de luz es emitido por espectros azul, rojo y verde. Dentro de esta categoría de luces se pueden apreciar luces incandescentes, lámparas de sodio, lámparas fluorescentes, luces halógenas entre otras (Chen, 2023).

Luz LED

Este tipo de luces permiten una condición de aportar energía más limpia, ya que no permiten un agresivo impacto medio ambiental, se disponen en variedades de tonalidades y pueden ser empleadas para aportar una diferente coloración en las plantas (Chen, 2023).

Proporciones de luz y su efecto en las plantas

Luz ultravioleta

Genera un cambio drástico en las plantas como daños en la estructura del ADN, reduce la velocidad de la fotosíntesis y procesos fisiológicos como la polinización, floración y afecta en el desarrollo de las semillas (Chen, 2023).

Luz azul

Este tipo de radiación permite realizar procesos fotosintéticos, permite la apertura estomática. Cumple funciones morfogénicas como la apertura estomática, afecta la retención hídrica y un efectivo intercambio de CO₂, elongación del hipocótilo, estimula la síntesis de pigmentos fotosintéticos, mayor respiración celular entre otros. La emisión de luz azul para una respuesta fotosintética efectiva es de 400 – 700 nm (Rizzo, 2020).

Luz roja

La luz roja permite una mayor captación de carbono promoviendo la fotosíntesis. Los fitocromos son encargados de absorber esta luz fomentando la germinación y correcta formación de primordios foliares, desarrollo de hojas primarias e inhibir la elongación internodal. Permiten una mayor captación de longitudes de onda por parte de pigmentos vegetales. Emisión efectiva de longitudes de onda oscila entre 600 a 700 nm (Rizzo, 2020).

Luz roja lejana

Permite una eficiente elongación acorde a la morfología de las plantas y a su vez, una considerable floración (Chen, 2023).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la investigación

La investigación fue desarrollada en el laboratorio de fitopatología de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA - I, ubicados en la Hacienda “El Prado”, parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

La Hacienda “El Prado” perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se encuentra ubicada dentro del barrio San Fernando, en las coordenadas UTM Latitud: 0°, 23', 20" S y Longitud: 78°, 24', 44" O a una altitud de 2748 m.s.n.m. Las condiciones de laboratorio en el campus evidencian registros de temperatura promedio = 14°C, temperatura máxima = 21°C, temperatura mínima = 8°C y humedad relativa del 60%.

Figura 1

Visión satelital del lugar del estudio experimental.



Nota. Laboratorio de fitopatología e invernadero IASA I. Tomado de (Google Maps, 2023).

Métodos

Obtención del material vegetativo (*Fragaria x ananassa* variedad Monterrey)

El material vegetativo (estolones de fresa) fue recolectado de la Carrera de Ciencias Agropecuarias IASA I, del invernadero de horticultura. Para ello, se realizó la selección del material vegetal que reunió una serie de criterios o características: libre de enfermedades, presencia de características fenotípicas propias de la variedad, vigor vegetal, presencia de estolones, producción de ramas vegetativas y florales, producción de flor y fruto. La finalidad fue permitir el desarrollo vigoroso de los explantes que se seleccionaron para el experimento (Osuna *et al.*, 2016).

Desinfección del material vegetativo

Se efectuó la desinfección de los estolones de fresa con agua destilada y con la ayuda de un cepillo se realizó una limpieza superficial, luego el material fue sumergido en una solución con agua y jabón líquido por un periodo de 10 minutos. Posteriormente, los estolones fueron cortados con una longitud de 4 cm seguido de un enjuague con agua destilada. Después, el material fue sumergido en una solución de hipoclorito de sodio al 0.8% durante 5 minutos en constante agitación. Se realizaron 4 enjuagues con agua destilada, para ello, el primero con un intervalo de tiempo de 1 minuto, el segundo y el tercer enjuague con un tiempo de 2 minutos. Para el tercer enjuague se adicionó ácido ascórbico ($150 \text{ mg.L}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) y el cuarto enjuague fue en un periodo de tiempo de 1 minuto. Todo el proceso fue llevado a cabo en condiciones estériles (Moya, 2019).

Preparación del medio para la etapa inicial y siembra de explantes

Posterior a la desinfección los segmentos de estolones se cultivaron en envases plásticos de 100 ml que contenían el medio M&S al 50% y 100% vitaminas. Se suplementó con BAP (0.5 mg/L), AG₃ (0,5 mg.L⁻¹), AIA (0.1 mg.L⁻¹), sacarosa (15 g.L⁻¹) y agar (5.5 mg.L⁻¹). Este medio se ajustó a un pH de 5.8. Luego se esterilizó en autoclave por 20 min a una temperatura de 120°C y 0,5 PSI. Después de la siembra,

los envases con los explantes in vitro de fresa fueron ubicados en la estantería con las luces LEDs, bajo una programación de 8 horas de luz y 16 horas de oscuridad (Moya, 2019).

Preparación del medio para la etapa de multiplicación y siembra de explantes

En la etapa de multiplicación se empleó el medio M&S con una de concentración al 50%. Se suplementó con 30 gramos de sacarosa, 4,5 gramos de agar, BAP (2 mg.L^{-1}) y AIA (1 mg.L^{-1}). Se ajustó a un pH de 5,8 y se esterilizó en autoclave por 20 minutos a 120°C . Posteriormente, se dispensó en envases estériles de 100 ml. Se realizó una selección de los explantes que presentaron brotes y se transfirieron al medio de multiplicación. Los envases con los explantes in vitro de fresa se llevaron hacia los respectivos tratamientos de luces LEDs por 8 horas de luz y 16 horas de oscuridad (Moya, 2019).

Preparación del sustrato de enraizamiento y siembra de explantes

Se trabajó con el medio M&S líquido con una concentración del 50%, acondicionado con nutrientes y sacarosa. Se aplicó fitorreguladores como el BAP (0.3 mg.L^{-1}), AIA ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) e IBA ($0,2 \text{ mg.L}^{-1}$). Se ajustó a un pH de 5,8 y se esterilizó en autoclave por 20 minutos a 120°C . Posteriormente se dispensó en envases estériles de 100 ml. Después, se transfirieron los explantes in vitro de fresa en el medio de enraizamiento, teniendo en cuenta un tiempo máximo de 1 minuto, debido a que los explantes sufren estrés, lo que podría ocasionar la muerte del material vegetal. Después los envases con los explantes in vitro de fresa fueron llevados a los respectivos tratamientos LEDs para cumplir la programación respectiva de 8 horas de luz y 16 horas de oscuridad (Moya, 2019).

Diseño del experimento

Para el respectivo experimento, en las etapas de micropropagación (multiplicación y enraizamiento) se evaluaron las respuestas en los 48 frascos con los explantes in vitro de fresa (*Fragaria x ananassa* var. Monterrey), para la evaluación del efecto producido por la aplicación de luces LEDs. Se establecieron cuatro tratamientos (Testigo: luz LED blanca); (T1: luz LED azul); (T2: luz LED roja) y (T3:

combinación de luces LED azul-roja) en el cultivo in vitro de fresa. Las luces LEDs emitían longitudes de onda de $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, para cada tratamiento.

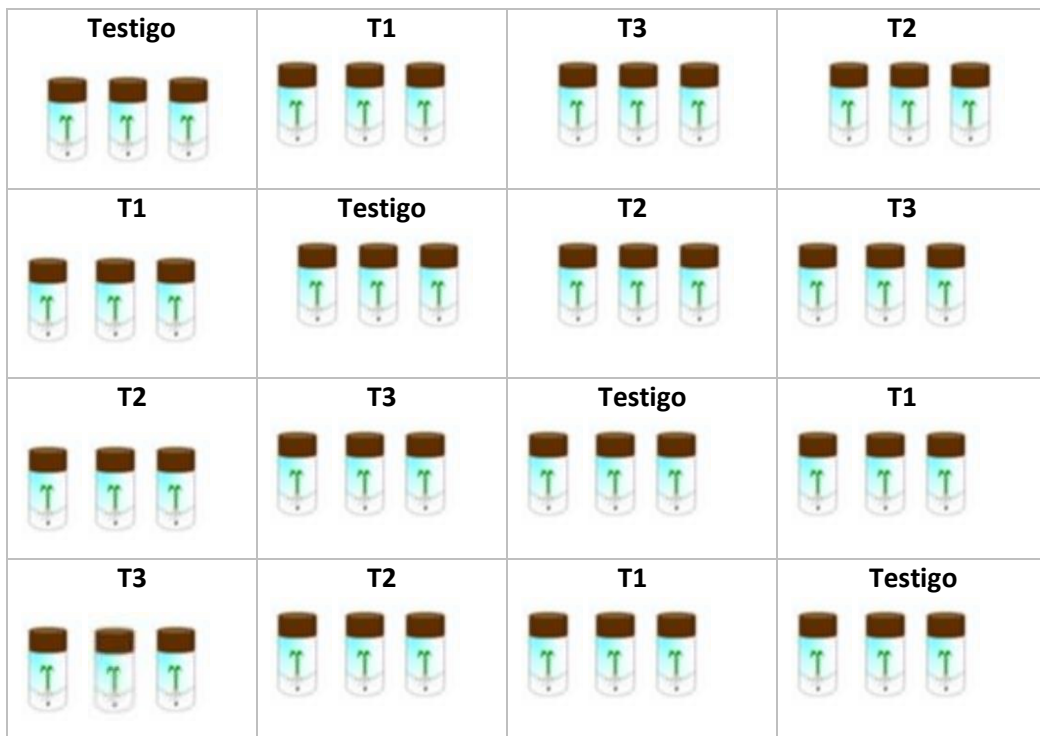
Características de la unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por tres frascos con explantes in vitro de fresa, se distribuyó para cada uno de los cuatro tratamientos con cuatro repeticiones, generando un total de 48 frascos con explantes in vitro de fresa.

Croquis del diseño experimental

Figura 2

Croquis del diseño experimental



Nota. Croquis del experimento con distribución DCA de los tratamientos. Autoría propia.

Análisis estadístico

Se realizó una caracterización de los datos mediante estadística descriptiva (media y desviación estándar) para un DCA en arreglo unifactorial conformado por 3 tratamientos más un testigo, cada uno con 4 repeticiones y se dispuso bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = u + L_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta

u= media general

L_i = efecto de la i-ésima luz LED

e_{ij} = error experimental

Se realizó una prueba de comparación de medias mediante la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%.

Variables medidas en las etapas de multiplicación y enraizamiento del cultivo in vitro de fresas

Etapas de multiplicación del cultivo in vitro de fresas

Se realizó la medición de la longitud de los explantes y el número de hojas después de 60 días del inicio del cultivo in vitro. Para la determinación de las mediciones en los explantes, se utilizaron hojas milimetradas en condiciones estériles dentro de la cámara de flujo laminar, para evitar cualquier tipo de contaminación biológica.

Etapas de enraizamiento del cultivo in vitro de fresas

Después de 15 días de la fase de multiplicación, se llevó a cabo la medición de la longitud de raíces y el conteo del número de raíces del cultivo in vitro con la ayuda de hojas milimetradas en condiciones asépticas. Para la obtención del porcentaje de plántulas de fresas enraizadas, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Enraizamiento} = \frac{\text{total de explantes} - \text{explantes no enraizados}}{\text{total de explantes}} * 100$$

Medición del contenido de clorofila en la etapa de enraizamiento del cultivo in vitro de fresas

Se tomaron hojas de las plántulas de fresas de la etapa de enraizamiento para medir el contenido de clorofila mediante el extractante de etanol al 95% para cada tratamiento. Se pesaron 0,25 g (hojas de fresa) y se llevó al congelador por 15 min, posteriormente se trituraron las muestras y se agregó 2,5 ml de etanol. Se dispensó el macerado en frascos de 30 ml y se llevó a refrigeración a 4°C por 24 h. Se retiró del refrigerador y se terminó de triturar colocando el macerado en tubos de ensayo con un aforado de 6,25 ml de etanol. Se centrifugó por 15 minutos para la obtención de una efectiva homogeneización. Finalmente se extrajo la parte líquida de la clorofila en tubos de ensayo, se selló y se realizó las respectivas lecturas con el espectrofotómetro spectroFlex 6600 (Yépez, 2018).

Tabla 1

Ecuación para la obtención de clorofila ($\mu\text{m.g. ml}^{-1}$)

Solvente	Ecuación
95% Etanol	$Ch - \alpha = 13.36 (a: 664) - 5.19 (a: 649)$
	$Ch - \beta = 27.43 (a: 649) - 8.12 (a: 664)$

Nota. a=absorción; Ch- α =clorofila a; Ch- β = clorofila b. Tomado de (Yépez, 2018).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Etapa de multiplicación

Se cuantificaron las variables agronómicas longitud de explantes, número de hojas, total de explantes y tasa de multiplicación en *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey bajo el efecto de luces LEDs.

Tabla 2

Influencia de diferentes combinaciones de luces LED`s en: Longitud de explantes, número de hojas, total de explantes y coeficiente de multiplicación en explantes de Fragaria x ananassa var. Monterrey in vitro

Tratamiento	Longitud explantes (cm)	Número hojas	Total plántulas	Coeficiente multiplicación
T0: Luz LED blanca	5,35 ± 0,24 a	18,75 ± 1,22 a	7.50 ± 2.50 ab	5.00
T1: Luz LED azul	3,30 ± 0,24 b	12,25 ± 1,22 c	4.75 ± 2.50 b	4.35
T2: Luz LED roja	5,38 ± 0,24 a	18,50 ± 1,22 ab	9.50 ± 2.50 ab	4.69
T3: Luz LED azul-roja	3,50 ± 0,24 b	13,50 ± 1,22 bc	17.25 ± 2.50 a	6.49

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$). Autoría propia.

La longitud de los explantes de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($F_{3,12} = 22.30$; $p \leq 0.0001$). La longitud promedio de explantes de fresa fue superior con los tratamientos de luz LED blanca y luz LED roja obteniendo un promedio de 5.35 y 5.38 cm respectivamente, que la longitud de explantes de fresa obtenidos con la luz LED azul y la combinación de luces LEDs azul-roja.

El número de hojas promedio de los explantes de fresa presentaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de luces LEDs ($F_{3,12} = 7.58$; $p \leq 0.0042$). El mayor número de hojas presentó el T1 (luz LED blanca), obteniendo un valor promedio de 18.75 cm, seguido del T2 (luz LED roja) y T3 (combinación de luces LEDs azul-roja) con 18.5 y 13.5 cm respectivamente. El tratamiento T1 (luz LED azul) presentó la menor cantidad de número de hojas obteniendo un promedio de 12.25 cm.

El total de plántulas de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($F_{3,12} = 4.62$; $p \leq 0.0227$). El total de plántulas de fresa en la etapa de multiplicación presentaron un promedio de 17.25 mediante la combinación de luces LEDs azul-roja, con respecto al tratamiento de luz LED azul que presentó la menor cantidad de plántulas con un promedio de 4.75.

Se evidencia en la tabla 2 el coeficiente de multiplicación de los explantes de fresa, para el tratamiento de combinación de luces LEDs azul-rojo se obtuvo un mayor coeficiente de 6.49 y para el tratamiento de luz LED azul se obtuvo el menor coeficiente de multiplicación de 4.35.

Etapas de enraizamiento

Se cuantificaron las variables agronómicas para longitud de raíces, número de raíces, porcentaje de enraizamiento y contenido de clorofila α , β y total en explantes de *Fragaria x ananassa* variedad Monterrey bajo el efecto producido por luces LEDs.

Tabla 3

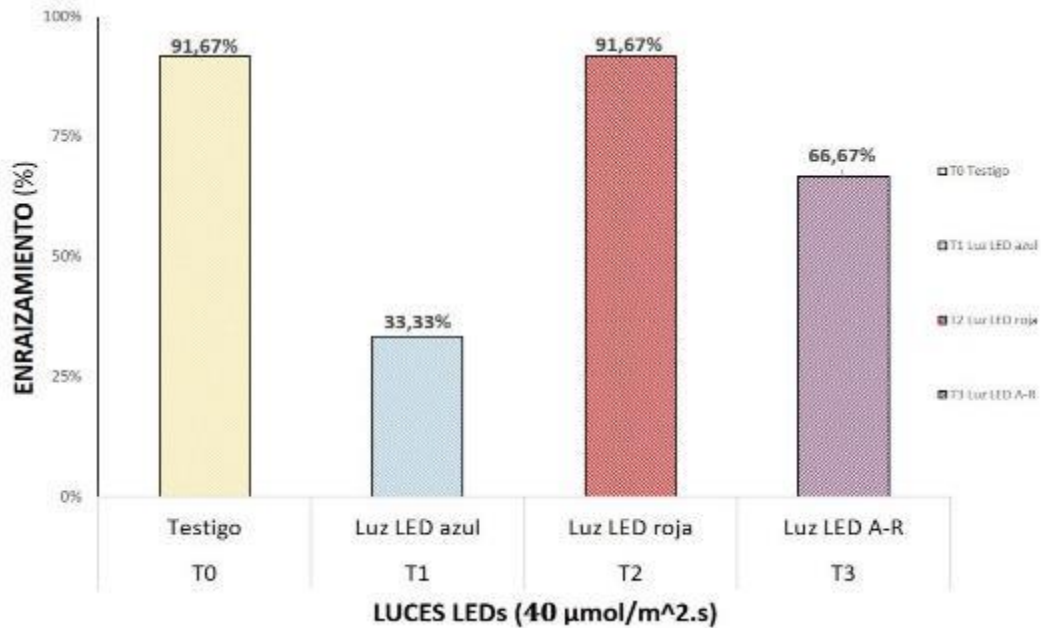
Influencia de diferentes combinaciones de luces LED's en: Longitud de raíces, número de raíces y porcentaje de enraizamiento en explantes de Fragaria x ananassa var. Monterrey in vitro

Tratamiento	Longitud raíces (cm)		Número raíces		Enraizamiento %
T0: Luz LED blanca	3,33 ± 0,25	ab	12,50 ± 0,80	a	91,67
T1: Luz LED azul	2,30 ± 0,25	b	3,75 ± 0,80	b	33,33
T2: Luz LED roja	3,70 ± 0,25	a	15,00 ± 0,80	a	91,67
T3: Luz LED azul-roja	3,27 ± 0,25	ab	6,75 ± 0,80	b	66,67

Nota. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$). Autoría propia.

Figura 3

Porcentaje de enraizamiento en explantes de Fragaria x ananassa var. Monterrey in vitro bajo la influencia de diferentes combinaciones de luces LEDs.



Nota. Autoría propia.

En la tabla 3 la longitud de raíces de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($F_{3,12}= 5.77$; $p\leq 0.001$). La longitud promedio de raíces de fresa fue superior bajo la influencia de luz LED roja con un promedio de 3.70 cm, seguido de la luz LED blanca y combinación de luces LED azul-roja con 3.33 y 3.27 cm respectivamente. Finalmente, la luz LED azul presentó valores promedios de menor longitud de raíces con 2.3 cm.

En la tabla 3 el número de raíces promedio en los explantes de fresa presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($F_{3,12}= 41.90$; $p\leq 0.0001$). El mayor número de raíces se obtuvieron mediante la exposición de luz LED roja con un promedio de 15.00, que el número de raíces obtenidas mediante la luz LED de color azul con un promedio de 3.75.

Se puede observar en la tabla 3 y figura 3 que los tratamientos T0 (luz LED blanca) y T2 (luz LED roja) presentaron el mayor porcentaje de enraizamiento con 91.67% para ambos casos, seguido del T3 (combinación de luces LEDs azul-roja) con un porcentaje de enraizamiento de 66.67% y finalmente el T1 (luz LED azul) con un porcentaje de enraizamiento de 33.33% en los explantes de fresa.

Tabla 4

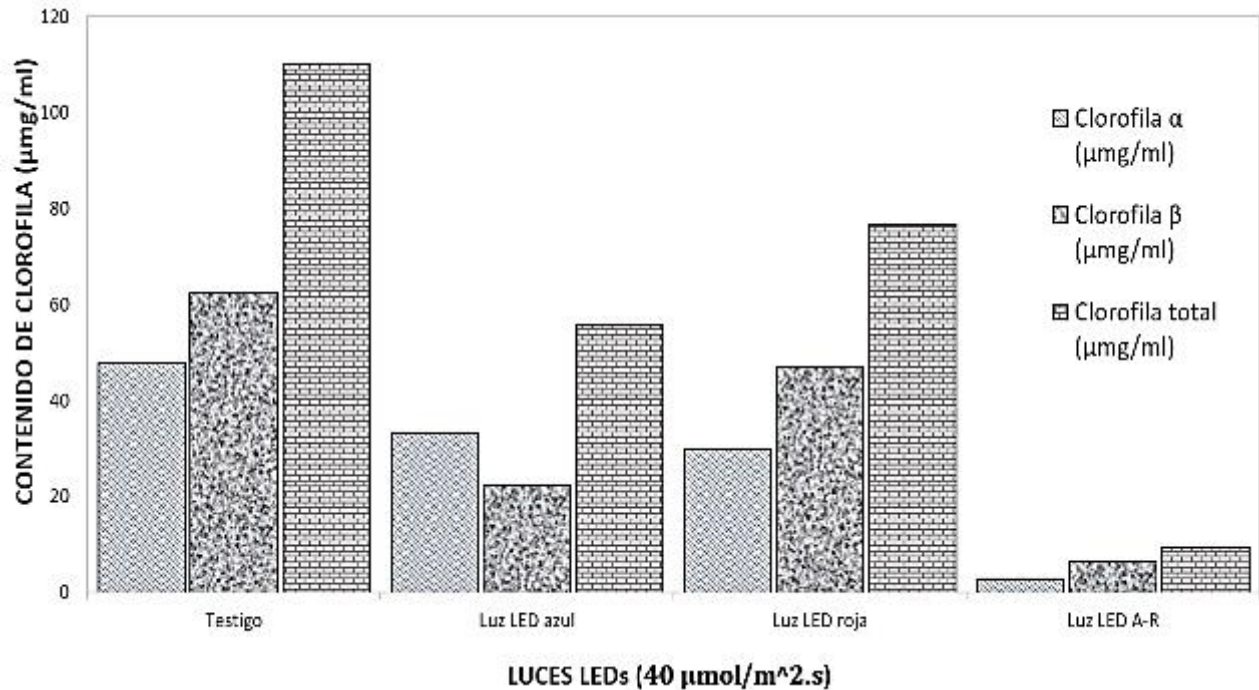
*Influencia de diferentes combinaciones de luces LED's para clorofila α , clorofila β y clorofila total de la etapa de enraizamiento en *Fragaria x ananassa* var. Monterrey in vitro*

Tratamiento	Nomenclatura	Luz par ($\mu\text{mol. m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Clorofila α ($\mu\text{mg.ml}^{-1}$)	Clorofila β ($\mu\text{mg.ml}^{-1}$)	Clorofila total ($\mu\text{mg.ml}^{-1}$)
T0	Luz LED blanca	40	47,72	62,46	110,18
T1	Luz LED azul	40	33,43	22,4	55,83
T2	Luz LED roja	40	29,67	47,07	76,74
T3	Luz LED azul-roja	40	2,78	6,49	9,27

Nota. Autoría propia

Figura 4

*Influencia de diferentes combinaciones de luces LED's para la cantidad de clorofila α , clorofila β y clorofila total en explantes de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey in vitro mediante el extractante etanol al 95%*



Nota. Autoría propia.

En la tabla 7 y figura 4 se reporta un mayor contenido de clorofila α , clorofila β y clorofila total para el tratamiento de luz LED blanca con respecto a los demás tratamientos, con clorofila α : $47,72 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, clorofila β : $62,46 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ y clorofila total: $110.18 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, por el contrario, la combinación de luces LEDs azul-rojo presentaron la menor cantidad de contenido de clorofila, para clorofila α : $2.78 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, clorofila β : $6.49 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, y clorofila total: $9.27 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, en los explantes de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey en condiciones in vitro.

Figura 5

*Efecto de luces LEDs en el desarrollo morfológico y fisiológico in vitro en la micropropagación de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey.*



Nota. Explantes de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey bajo el efecto de luces LEDs blanco (T0), azul (T1), rojo (T2), y combinación azul-rojo (T3). Autoría propia.



Nota. Etapa de multiplicación de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey. Tratamiento de luz LED blanca (T0) a los 60 días de la micropropagación.



Nota. Etapa de enraizamiento de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey. Tratamientos de luces LEDs blanca (T0), azul (T1), rojo (T2) y combinación azul-rojo (T3) a los 75 días del proceso de micropropagación.

Discusión

En la tabla 2 se obtuvo una longitud promedio de explantes de 5.35 cm en *Fragaria x ananassa* var. Monterrey mediante la aplicación de luces LEDs blancas. Andrade *et al.* (2013), obtuvieron resultados similares, ya que evidenciaron longitudes promedio de explantes de 5.45 cm en especies de *Solanum sp* en condiciones in vitro tras la aplicación de luces LEDs blancas. Se determina así, la efectividad de las luces LEDs blancas en la micropropagación, debido a que su influencia está directamente ligada a la actividad que se lleva a cabo en los meristemas apicales, los cuales presentan un tejido embrionario conformado por células indiferenciadas (totipotentes) y debido a procesos de división celular, permiten generar tejidos u órganos especializados, produciendo un alargamiento del tallo en los explantes.

Respecto al número de hojas mediante la aplicación de luces LEDs blancas se obtuvo un promedio de 18.75 en *F. x ananassa* con una longitud de onda de $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Murillo *et al.* (2016), evidenciaron un número de hojas promedio de 6.43 en plántulas de *Laelia autumnalis* cultivadas in vitro con luces LEDs blancas a una longitud de onda de $30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Se señala así, que la influencia de luces LEDs del espectro blanco acorde a la cantidad de longitud de onda proporcionada a una exposición predeterminada, estimulan procesos de organogénesis como la formación de hojas, en especies cultivadas vía in vitro expuesto en la tabla 2.

La longitud de raíces en los explantes de *F. x ananassa* expuesto en la tabla 3, evidenciaron un promedio de 3.70 cm con la aplicación de luces LEDs rojas. Un resultado similar presentó Moya (2019), evidenciando una longitud promedio de raíces de 3.92 cm en *Rubus glaucus* mediante el efecto de luces LEDs de color rojo. Las luces LEDs que emiten la coloración roja en cultivos in vitro, es absorbida por fotorreceptores (fitocromos), que se encuentran en forma de proteínas en semillas, hojas, tallos y raíces que inducen a la activación y regulación de procesos fisiológicos (rizogénesis), promoviendo la formación, crecimiento y la elongación eficaz de raíces.

En la tabla 3 respecto al número de raíces mediante la aplicación de luces LEDs azules se obtuvo un promedio de 3.75 en *Fragaria x ananassa* var. Monterrey. Tan Nhut *et al.* (2003), evidenciaron resultados respecto al número de raíces en *Fragaria sp.* de 1.5 mediante la aplicación de luces LEDs azules. Se evidencia de esta manera, que la exposición de explantes de fresa cultivados vía in vitro y sometidos a la luz LED azul, produce un bloqueo a nivel de producción de fitohormonas (auxinas), provocando en los explantes el desarrollo reducido de raíces a diferencia de la luz LED roja y blanca con un promedio de número de raíces de 15.00 y 12.5 respectivamente.

El porcentaje de enraizamiento expuesto en la tabla 3 de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey mediante la aplicación de luces LEDs rojas y luces LEDs azules fue de 91.67 y 33.33 % respectivamente. Godo *et al.* (2011), evidenciaron un porcentaje de enraizamiento de 67.4 % al aplicar luces LEDs rojas y 16.5 % al aplicar luces LEDs azules en *Bletilla ochracea*. Se puede señalar, que la aplicación de luces LEDs rojas en explantes in vitro, permiten una absorción eficaz de fotones que se encuentran a longitudes de onda entre 600 a 700 nm, y mediante la acción de fitocromos y clorofilas, se permite promover procesos de fotomorfogénesis en las plantas.

En la tabla 4 y figura 4 se encontraron valores de clorofila α , β y total de 2.78; 6.49 y 9.27 $\mu\text{mg.ml}^{-1}$, respectivamente, al emplear la combinación de luces LEDs azul y rojo en *Fragaria x ananassa* var. Monterrey; esto se puede contrastar con los resultados obtenidos por Lin *et al.* (2011), en *Dendrobium officinale*, quienes evidenciaron valores de clorofila α , β y total de 2.50; 1.50 y 4.23 $\mu\text{mg.ml}^{-1}$, respectivamente, mediante el uso de la combinación de luces LEDs azul y rojo. Otros resultados similares evidenciaron Murillo *et al.* (2016), en *Laelia autumnalis* obteniendo un contenido de clorofila α , β y total de 2.30; 0.98 y 3.30 $\mu\text{mg.ml}^{-1}$, respectivamente, al aplicar luminarias LEDs con la composición de azul y rojo. Se puede indicar así, que la exposición de luces LEDs mediante la combinación de azul y rojo, interfieren en los procesos fisiológicos, debido a que se realiza una obstrucción entre

fotorreceptores (fitocromos, criptocromos y fototropinas), ocasionando un funcionamiento atípico en explantes. No obstante, la aplicación de luminarias LEDs blancas, evidenciaron el mejor contenido de clorofila α ($47.72 \mu\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$), β ($62.46 \mu\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$) y total ($110.18 \mu\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$) en los explantes de fresa, debido a que este tipo de radiación, por su composición de mezcla aditiva RGB (rojo-verde-azul), emite longitudes de onda (300-800 nm) que promueven la eficiencia fotosintética guiada por la actividad de la clorofila α y β en el rango de 465 y 665 nm, estimulando la acción de los fotorreceptores, para la adecuada síntesis de clorofila en las plantas.

El mayor coeficiente de multiplicación en *Fragaria x ananassa* var. Monterrey fue de 6.49 mediante la combinación de luces LEDs azul-rojo, en relación a los demás tratamientos. Dewir *et al.* (2005), presentó un coeficiente de multiplicación de 6.8 en *Spathiphyllum cannifolium*, mediante la aplicación de luces LEDs azul y rojo en forma compuesta. Se puede señalar, que la exposición de explantes bajo la determinada combinación de luces LEDs, es un parámetro determinante, debido a que la emisión de esta radiación estimula los procesos fotosintéticos, definido como PAR (radiación fotosintéticamente activa) y semejante a la luz solar, presenta picos máximos de radiación de 430 y 680 nm para las bandas del espectro azul y rojo, aportando así, una eficiente cantidad de fotones, favorables para promover el desarrollo de biomasa en explantes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se cuantificó el efecto producido por luminarias LEDs del espectro blanco, azul, rojo y combinación azul-rojo sobre el desarrollo morfogénico y fisiológico in vitro de explantes de fresa, mediante las cuales, se demostró que la aplicación de LEDs rojas, permiten obtener un efectivo desarrollo respecto a longitud de explantes de 5.38 cm y número de hojas de 18.50, en la etapa de multiplicación.
- Se cuantificó el efecto producido por luminarias LEDs del espectro blanco, azul, rojo y combinación azul-rojo sobre el desarrollo morfogénico y fisiológico in vitro de explantes de fresa, mediante las cuales, se demostró que la aplicación de LEDs rojas, permiten obtener un efectivo desarrollo respecto a longitud de raíces de 3.70 cm y número de raíces de 15.00, en la etapa de enraizamiento.
- La aplicación de luces LEDs permitió medir concentraciones de clorofila en explantes de fresa; para el efecto producido por luces LEDs blancas se obtuvo $110.18 \mu\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$, luces LEDs azules $55.83 \mu\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$, luces LEDs rojas $76.74 \mu\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ y la combinación de luces LEDs azul-rojo presentó $9.27 \mu\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ de contenido clorofílico en la etapa de enraizamiento.
- Se determinó el porcentaje de enraizamiento en los explantes in vitro de fresa, obteniendo el 91.67% de enraizamiento mediante la aplicación de luces LEDs blancas y luces LEDs rojas, luces LEDs azules y la combinación de luces LEDs azul-rojo presentaron porcentajes de enraizamiento del 66.67 y 33.33% respectivamente.

Recomendaciones

- Se recomienda aplicar luminarias LEDs del espectro rojo en la micropropagación de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey para obtener mayor crecimiento de explantes.
- Se recomienda aplicar luminarias LEDs del espectro blanco en la micropropagación de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey para estimular la síntesis de clorofila en explantes.
- Desarrollar futuras investigaciones aplicando luces LEDs a diferentes proporciones de longitud de onda para evaluar el desarrollo morfogénico de *Fragaria x ananassa* var. Monterrey vía in vitro.
- Continuar con el desarrollo de las plantas micropropagadas con la implementación de luces LEDs hasta la etapa adulta, para evaluar el desarrollo con respecto a tolerancia a condiciones de campo y niveles de producción de las plántulas de fresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, D., Córdoba, M., Escobar, H., & Lagos, T. (2013). *Evaluation of cultivation media for in vitro propagation of seeds and explants from wild Solanum species*. *Acta Agronómica*, 62(1), 27-36.
<http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n1/v62n1a05.pdf>
- Bures, S., Urrestarazu, M., & Kotiranta, S. (2018). *Iluminación artificial en horticultura*. Researchgate.
https://www.researchgate.net/publication/322821562_ILUMINACION_ARTIFICIAL_EN_HORTICULTURA
- Cañal, M. (2001). *Fisiología del cultivo in vitro*. *Biotecnología vegetal*, 1(1), 3-9.
<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/59/47>
- Cedr ez, M. (2015). *Plantas de Probeta: Manual para la propagaci3n de plantas por cultivo de tejidos in vitro*. Universidad Nacional de La Plata.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46738/Documento_completo___.pdf-PDFA.pdf?sequence=1
- Chen, J. (27 de junio de 2023). *La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo*. PROMIX.
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo/>
- Chimborazo, L. (2014). *An alisis de la producci3n de fresas y su relaci3n con el nivel de ingresos de los productores del Cant3n Ambato*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/20867/1/T2794i.pdf>
- Dewir, Y., Chakrabarty, D., Kim, S., Hahn, E., & Paek, K. (2005). *Effect of light emitting diode on growth and shoot proliferation of Euphorbia milii*. *Hortscience*, 46(6), 375-379.
https://www.academia.edu/28456444/Effect_of_Light-

Emitting_Diode_on_Growth_and_Shoot_Proliferation_of_Euphorbia_millii_and_Spathiphyllum_c
annifolium

Días, D. (2023). *DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE AGROZOIL SOBRE LA INCIDENCIA DE NECROSIS RADICAL DE FRESA *Fragaria x ananassa* (Duch) VARIEDAD MONTERREY*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato].

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/38128/1/030%20Agronom%C3%ADa%20-%20D%C3%ADas%20Panimboza%20Damaris%20Pamela.pdf>

Gioia, D., Hyeon, K., Raymond, M., & Cary, A. (2008). *Plant Productivity in Response to LED Lighting*. *HortScience*, 43(7), 1951-1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>

Giraldo, D. (2022). *Optimización del proceso de propagación in vitro de la especie *Limonium altaica* x *Limonium latifolia* variedad Supreme White en la Sede de Desarrollo Tecnológico e Innovación de la Universidad de Antioquia*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Antioquia].

https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/33892/1/GiraldoDaniela_2023_Optimizaci%C3%B3npropagaci%C3%B3nInvitro.pdf

Godo, T., Fujiwara, K., Guan, K., & Miyoshi, K. (2011). *Effects of wavelength of LED-light on in vitro asymbiotic germination and seedling growth of *Bletilla ochracea**. *The Japanese Society for Plant Cell and Molecular Biology* 28, 397-400.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/plantbiotechnology/28/4/28_11.0524a/_pdf/-char/en

Google Maps. (2023). *Laboratorio de fitopatología e invernadero IASA I*.

<https://www.google.com/maps/place/IASA/@-0.3856423,-78.4259294,16z/data=!4m10!1m2!2m1!1sIASA!3m6!1s0x91d5bbbd86444851b:0xc6c8b2bb6c026969!8m2!3d-0.3856423!4d->

78.4164022!15sCgRJQVNBkgEVdW5pdmVyc2l0eV9kZXBhcnRtZW504AEA!16s%2Fg%2F11xpb5x_8
?entry=ttu

Lassaga, S., Bretón, A., Giéco, L., Milisich, H., & Dittrich, A. (2010). *Cultivo in vitro de anteras de lino (Linum usitatissimum L.)*. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 21(40), 215-223. <https://www.redalyc.org/pdf/145/14515290009.pdf>

Lema, M., & Chiqui, F. (2010). *Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa (Fragaria sp) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) en la parroquia Octavio Cordero Palacios, Cantón Cuenca*. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4745/1/UPS-CT001855.pdf>

Lin, Y., Li, J., Li, B., He, T., & Chun, Z. (2011). *Effects of light quality on growth and development of protocorm-like bodies of Dendrobium officinale in vitro*. Plant Cell Tissue and Organ Culture 105, 329 -335. https://www.researchgate.net/publication/225161835_Effects_of_light_quality_on_growth_and_development_of_protocorm-like_bodies_of_Dendrobium_officinale_in_vitro

Mamaní, B., & Murillo, R. (2020). *Micropropagación de dos variedades de frutilla (Fragaria Ananassa Duch.) En diferentes medios de cultivo*. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 7(1), 69-78. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182020000100010

Massa, G., Emmerich, J., Morrow, R., Bourget, M., & Mitchell, C. (2006). *PLANT-GROWTH LIGHTING FOR SPACE LIFE SUPPORT: A REVIEW*. Gravitational and Space Biology 19(2). <https://a3space.org/wp-content/uploads/2018/01/2-8-1-PB.pdf>

Mazzella, M. (2001). *Interacción entre fitocromos y criptocromos en el control del crecimiento y desarrollo de Arabidopsis thaliana*. [Tesis de Posgrado, Universidad de Buenos Aires].

[http://repositorioubas.sisbi.uba.ar/gsd/cgi-](http://repositorioubas.sisbi.uba.ar/gsd/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=aextesis&d=tesis_n3342_Mazzella_oai)

[bin/library.cgi?a=d&c=aextesis&d=tesis_n3342_Mazzella_oai](http://repositorioubas.sisbi.uba.ar/gsd/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=aextesis&d=tesis_n3342_Mazzella_oai)

Moya, C. (2019). *Evaluation of the effect of different wavelengths with LED lights on the morphogenic response and development of blackberry (Rubus glaucus Benth) explants in vitro*. [Tesis de Pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/220>

Murillo, M., Pedraza, M., Gutiérrez, N., Rodríguez, M., Lobit, P., & Martínez, A. (2016). *Calidad de la luz led y desarrollo in vitro de Oncidium tigrinum y Laelia autumnalis (orchidaceae)*.

Agrociencia, 50(8), 1065-1080.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000801065#:~:text=La%20luz%20LED%20roja%20aumenta,et%20al.%2C%202011))

[31952016000801065#:~:text=La%20luz%20LED%20roja%20aumenta,et%20al.%2C%202011\)](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000801065#:~:text=La%20luz%20LED%20roja%20aumenta,et%20al.%2C%202011).

Navarro, V. (2013). *Análisis de la utilización de luz emitida por lámparas de diodo (LEDs) en la producción in vitro para la obtención de semilla prebásica de Solanum tuberosum*. [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica Argentina].

<https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/394/1/doc.pdf>

Osuna, H., Osuna, A., & Fierro, A. (2016). *Manual de propagación de plantas superiores*. Universidad Nacional Autónoma de México.

https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/manual_plantas.pdf

Pancorbo, D., Quispe, R., & Damián, W. (2017). *INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN LEDs EN PLANTULAS IN-VITRO DE PAPA (Solanum Tuberosum) VARIEDAD INIA CANCHAN EN EL LABORATORIO DE*

- BIOTECNOLOGIA– ABANCAY*. [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de Los Andes].
<https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/41/1/Tesis-Influencia%20de%20la%20Iluminaci%c3%b3n%20Leds%20en%20Plantulas%20de%20papa.pdf>
- Ramos, Y. & Ramírez, E. (2016). *Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores*. *Informador Técnico (Colombia)*. 80(2), 111-120.
https://www.researchgate.net/publication/315907313_Desarrollo_de_un_sistema_de_iluminacion_artificial_LED_para_cultivos_en_interiores_-_Vertical_Farming_VF
- Rizzo, S. (2020). *Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas in vitro*. [Tesis de Pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7ad4cd68-8ded-4fa6-a10f-35540b970b07/content>
- Rojas, C., Cuzquén, C., & Delgado, G. (2014). *Propagación clonal in vitro y enraizamiento de estacas de algodón nativo (Gossypium barbadense L.)*. *Acta agronómica*, 62(4), 312-320.
<http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n4/v62n4a04.pdf>
- Romo, M. (2005). *THE EFFECT OF LIGHT ON THE GROWTH OF SEEDLINGS AND SAPLINGS OF Dipteryx micrantha IN UNDERSTORY, GAPS AND PLANTATIONS*. *Ecología Aplicada*, 4(1,2), 1-8.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v4n1-2/a01v4n1-2.pdf>
- Ruíz, T., Castillo, T., Parra, R., Barrios, D., Rodríguez, A., & Martínez, A. (2018). *In vitro establishment of two cultivars released from strawberries: strawberry and raspberry*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4), 799-812.
https://www.researchgate.net/publication/326191703_Establecimiento_in_vitro_de_dos_cultivos_liberados_de_frutillas_fresa_y_frambuesa

- Tan Nhut, D., Takamura, T., Watanabe, H., Okamoto, K., & Tanaka, M. (2003). *Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs)*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 73, 43-52. <https://doi.org/10.1023/A:1022638508007>
- Vizcaino, L. (2011). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de frutilla*. [Tesis de Pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. <https://core.ac.uk/download/pdf/147371986.pdf>
- Weldt. (2008). *Establecimiento, multiplicación y enraizamiento in vitro de Rosa canina L.* [Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/faw445e/doc/faw445e.pdf>
- Wollaeger, H., & Runkle, E. (Diciembre de 2013). *Growth Responses of Ornamental Annual Seedlings Under Different Wavelengths of Red Light Provided by Light-emitting Diodes*. *HortScience*, 48(12), 1478-1483. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.12.1478>
- Yépez, E. (2018). *Evaluación de un método no destructivo para determinar el contenido de nitrógeno foliar en Fragaria sp.* [Tesis de Pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/15844/T-IASA%20I-005462.pdf?sequence=1&isAllowed=y>