

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD
DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**COMPARACIÓN DE DIFERENTES FRECUENCIAS DE ILUMINACIÓN CON LUZ LED
EN EL CULTIVO DE MENTA (*Mentha piperita* L.) EN EL MUNICIPIO
DE LA PAZ**

MARIA ELENA TICONA QUENTA

LA PAZ – BOLIVIA

2022

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**COMPARACIÓN DE DIFERENTES FRECUENCIAS DE ILUMINACIÓN CON LUZ LED EN EL
CULTIVO DE MENTA (*Mentha piperita* L.) EN EL MUNICIPIO DE LA PAZ**

*Tesis de Grado presentado
Para optar el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO*

MARIA ELENA TICONA QUENTA

ASESORES:

Ing. M. Sc. Celia María Fernández Chávez

Ing. Agr. Joel Moisés Mamani Huanca

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. Agr. Marcela Daniela Mollericona Alfaro

Ing. Agr. William Alex Murillo Oporto

Ing. M. Sc. Wily Marco Flores Mancilla

APROBADO

Presidente Tribunal Examinador

LA PAZ-BOLIVIA

2022

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por brindarme en mi vida muchas bendiciones, que me concedió las fuerzas y sabiduría para culminar mi carrera de manera satisfactoria por ser guía de mis pasos y darme la oportunidad de seguir aprendiendo cada día más.

A mis queridos padres con todo amor y cariño Cirilo Ticona M. y Vilma Quenta D. por ser los formadores de mis valores, por dar todo el esfuerzo de darme todas las herramientas necesarias para tener una mejor educación para seguir adelante y cumplir mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de vivir por todo su amor incondicional por estar conmigo en cada paso que doy, por darme muchas bendiciones e iluminar mi mente para concluir con este trabajo de manera satisfactoria y por haber puesto en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía Carrera Ingeniería Agronómica por haberme formado para mi vida profesional y a todo el plantel de docentes, de quienes llegue a obtener los conocimientos y experiencias durante el tiempo de mi formación, necesaria para la presente investigación.

A mis señores padres Cirilo Ticona y Vilma Quenta por el gran apoyo, cariño y amor que me dan, desde el fondo de mi corazón agradezco por la comprensión que me brindaron durante estos años de la vida universitaria todos los sacrificios, alegrías, penas, desvelos que compartieron conmigo, hoy dieron su recompensa... de igual manera a mis hermanos Luis, Rosario y Anderson por apoyarme durante la investigación de campo hasta la culminación del presente trabajo.

A mi asesora Ing. M. Sc. Celia María Fernández Chávez por el apoyo por haberme guiado y corregido en las observaciones adecuadas para la conclusión del documento final.

Al tribunal examinador: Ing. Marcela Daniela Mollericona Alfaro e Ing. M. Sc. Willy Marco Flores Mancilla por las observaciones, sugerencias y enriquecimiento del presente trabajo.

Un agradecimiento al Ing. William Alex Murillo Oporto gracias por su valiosa colaboración por su apoyo constante y por las sugerencias brindadas para mejorar el presente trabajo y gracias por su amistad incondicional.

CONTENIDO

| | |
|------------------------|------|
| ÍNDICE GENERAL..... | III |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | X |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | XII |
| RESUMEN..... | XIII |
| ABSTRACT..... | XIV |

INDICE GENERAL

| | | |
|----------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. | Antecedentes..... | 2 |
| 1.2. | Planteamiento del problema | 3 |
| 1.3. | Justificación | 4 |
| 2. | OBJETIVOS..... | 5 |
| 2.1. | Objetivo general..... | 5 |
| 2.2. | Objetivos específicos..... | 5 |
| 3. | REVISION BIBLIOGRAFICA | 5 |
| 3.1. | Origen y distribución de la Menta | 5 |
| 3.2. | Descripción Botánica | 6 |
| 3.2.1. | Morfología..... | 6 |
| 3.2.1.1. | Raíz | 6 |
| 3.2.1.2. | Tallo..... | 7 |
| 3.2.1.3. | Hojas | 7 |
| 3.2.1.4. | Flores..... | 7 |
| 3.2.1.5. | Fruto | 8 |
| 3.2.1.6. | Semillas | 8 |
| 3.2.2. | Etiología de la menta | 9 |
| 3.2.2.1. | Nombre común | 9 |
| 3.3. | Clasificación taxonómica | 9 |
| 3.3.1. | Sistemas de propagación | 10 |
| 3.3.2. | Siembra y plantación de la menta..... | 10 |
| 3.4. | Densidad y Rendimiento..... | 11 |
| 3.5. | Requerimiento del cultivo Edafoclimático | 11 |
| 3.5.1. | Clima | 11 |
| 3.5.2. | Temperatura | 11 |
| 3.5.3. | Tolerancia..... | 12 |
| 3.5.4. | Brillo Solar | 12 |
| 3.5.5. | La luminosidad..... | 13 |
| 3.5.6. | Altitud..... | 13 |
| 3.5.7. | Suelo (textura y estructura) | 13 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.5.8. | pH..... | 13 |
| 3.5.9. | Agua | 14 |
| 3.6. | Humedad Relativa | 14 |
| 3.7. | Requerimiento del cultivo | 14 |
| 3.7.1. | Composición nutricional..... | 15 |
| 3.8. | Fotosíntesis | 16 |
| 3.8.1. | Clorofila | 17 |
| 3.9. | Fototropismo..... | 17 |
| 3.10. | Fotoperiodicidad | 18 |
| 3.11. | Fotomorfogénesis | 18 |
| 3.12. | Plagas y enfermedades | 19 |
| 3.12.1. | Plagas..... | 19 |
| 3.12.2. | Enfermedades | 19 |
| 3.13. | Producción en sistema protegido..... | 20 |
| 3.13.1. | Producción en Ambiente Protegido | 20 |
| 3.13.2. | Agricultura en interiores..... | 21 |
| 3.13.3. | Producción bajo luz led..... | 21 |
| 3.13.4. | Fuente artificial | 22 |
| 3.13.5. | Absorción de la luz en el desarrollo de las plantas | 23 |
| 3.13.6. | Sistemas de Iluminación Suplementaria..... | 24 |
| 3.13.7. | Relación entre la luz y el crecimiento de las plantas | 24 |
| 3.13.7.1. | Calidad de luz..... | 24 |
| 3.13.7.2. | Cantidad de luz..... | 25 |
| 3.13.7.3. | Duración de luz..... | 25 |
| 3.13.7.4. | Intensidad de luz..... | 25 |
| 3.13.8. | Iluminación artificial LED | 26 |
| 3.13.9. | Eficacia Luminosa (Lumen / vatio)..... | 26 |
| 3.13.10. | Iluminancia E (lux) | 27 |
| 3.14. | Diodo Emisor de Luz (LED) | 28 |
| 3.14.1. | Lámparas incandescentes..... | 28 |
| 3.14.2. | Consumo de electricidad | 29 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.14.3. | El LED como elemento generador de luz | 29 |
| 3.14.4. | Ventajas y desventajas de un diodo emisor de luz LED | 30 |
| 3.14.4.1. | Ventajas..... | 30 |
| 3.14.4.2. | Desventajas..... | 30 |
| 3.14.5. | Cinta A LED 5050 – IP65..... | 31 |
| 3.15. | Producción agrícola urbana | 32 |
| 3.15.1. | Situación de la agricultura urbana en América Latina..... | 32 |
| 3.15.2. | Agricultura urbana | 32 |
| 4. | LOCALIZACION | 34 |
| 4.1. | Ubicación geográfica | 34 |
| 4.1.1. | Latitud y longitud..... | 35 |
| 4.2. | Características climáticas | 35 |
| 4.2.1. | Clima | 35 |
| 4.2.2. | Humedad | 36 |
| 5. | MATERIALES Y MÉTODOS | 36 |
| 5.1. | Materiales | 36 |
| 5.1.1. | Material biológico..... | 36 |
| 5.1.2. | Material para instalación eléctrica..... | 36 |
| 5.1.3. | Material de campo | 36 |
| 5.1.4. | Material de gabinete | 37 |
| 5.2. | Métodos..... | 37 |
| 5.2.1. | Descripción del ambiente de estudio | 38 |
| 5.2.2. | Procedimiento experimental | 38 |
| 5.2.2.1. | Construcción del sistema..... | 38 |
| 5.2.2.2. | Preparación de sustrato..... | 39 |
| 5.2.2.3. | Trasplante..... | 39 |
| 5.2.2.4. | Riego | 40 |
| 5.2.2.5. | Deshierbe | 40 |
| 5.2.2.6. | Cosecha y toma de datos | 40 |
| 5.2.2.7. | Diseño experimental | 41 |
| 5.2.2.8. | Modelo aditivo lineal | 41 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 5.2.2.9. | Factores de estudio | 42 |
| 5.2.2.10. | Tratamientos..... | 42 |
| 5.2.3. | Croquis del experimento..... | 43 |
| 5.2.4. | VARIABLES DE RESPUESTA | 44 |
| 5.2.4.1. | Altura de la planta (cm)..... | 44 |
| 5.2.4.2. | Largo de hojas (cm)..... | 44 |
| 5.2.4.3. | Ancho de hojas (cm)..... | 44 |
| 5.2.4.4. | Número de hojas (N°) | 44 |
| 5.2.4.5. | Peso fresco de planta completa (g) | 44 |
| 5.2.4.6. | Peso seco de la planta (g) | 44 |
| 5.2.4.7. | Velocidad de crecimiento (días)..... | 45 |
| 5.3. | ANÁLISIS ECONÓMICO | 45 |
| 5.3.1. | Costos fijos | 45 |
| 5.3.2. | Costos variables | 45 |
| 5.3.3. | Costo total de producción | 45 |
| 5.3.4. | Valor bruto de la producción | 45 |
| 5.3.5. | Ingreso neto y/o ganancia | 46 |
| 5.3.6. | Relación beneficio costo B/C | 46 |
| 5.4. | ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 46 |
| 6. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 46 |
| 6.1. | VARIABLES ALTERNAS..... | 46 |
| 6.1.1. | Registro de temperatura..... | 46 |
| 6.1.2. | Características físicas y químicas del suelo | 47 |
| 6.2. | VARIABLES AGRONÓMICAS | 48 |
| 6.2.1. | Variable altura de planta (cm)..... | 48 |
| 6.2.2. | Variable largo de hoja (cm)..... | 51 |
| 6.2.3. | Variable ancho de hojas (cm) | 53 |
| 6.2.4. | Variable número de hojas por planta (N°)..... | 55 |
| 6.2.5. | Variable peso total fresco (g)..... | 58 |
| 6.2.6. | Variable peso total seco (g) | 61 |
| 6.2.7. | Variable velocidad de crecimiento (días) | 64 |

| | | |
|--------------|---------------------------------|----|
| 6.3. | Variables económicas..... | 66 |
| 6.3.1. | Evaluación económica..... | 66 |
| 6.3.2. | Beneficio bruto..... | 66 |
| 6.3.3. | Costos variables | 67 |
| 6.3.4. | Beneficio neto..... | 67 |
| 6.3.5. | Relación beneficio – costo..... | 68 |
| 7. | CONCLUSIONES | 69 |
| 8. | RECOMENDACIONES..... | 71 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA..... | 72 |
| ANEXOS | | 80 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Clasificación taxonómica. | 9 |
| Tabla 2. Composición nutricional de la menta por 100 (g). | 16 |
| Tabla 3. Características de diferentes tipos de lámparas usadas en iluminación de plantas | 23 |
| Tabla 4. Equivalencias lumínicas respecto a los tipos de lámpara Incandescente | 27 |
| Tabla 5. Características de la cinta LED 5050 IP-65 | 31 |
| Tabla 6. Factores de estudio. | 42 |
| Tabla 7. Factor A y Factor B..... | 42 |
| Tabla 8. Análisis físico – químico del suelo. | 47 |
| Tabla 9. ANVA variable Altura de Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades | 48 |
| Tabla 10. Comparación de medias y prueba Duncan para el factor A en altura de planta de la menta..... | 50 |
| Tabla 11. ANVA variable Largo de Hojas resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades | 51 |
| Tabla 12. Comparación de medias y prueba Duncan para el factor A del largo de la hoja de menta. | 52 |
| Tabla 13. ANVA variable Ancho de hojas resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades | 53 |
| Tabla 14. Duncan para la comparación de medias del factor A | 54 |
| Tabla 15. ANVA variable número de hojas por Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades..... | 55 |
| Tabla 16. Duncan para la comparación de medias del factor A | 56 |
| Tabla 17. Duncan para la comparación de medias del factor A | 57 |
| Tabla 18. ANVA variable peso total fresco resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades | 58 |
| Tabla 19. Duncan para la comparación de medias del factor A | 59 |
| Tabla 20. Duncan para la comparación de medias del factor B | 60 |
| Tabla 21. Duncan para la comparación de medias del factor A y factor B | 60 |

| | |
|---|----|
| Tabla 22. ANVA variable peso total seco de Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades..... | 62 |
| Tabla 23. Duncan para la comparación de medias del factor A | 62 |
| Tabla 24. Duncan para la comparación de medias del factor B | 63 |
| Tabla 25. ANVA variable velocidad de crecimiento de Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades..... | 64 |
| Tabla 26. Duncan para la comparación de medias del factor A | 65 |
| Tabla 27. Costos variables. | 67 |
| Tabla 28. Beneficio neto..... | 67 |
| Tabla 29. Beneficio-Costo. | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Características botánicas de la menta..... | 81 |
| Figura 2. Fotosíntesis y longitudes de onda efectivas. | 81 |
| Figura 3. Cinta flexible LED..... | 81 |
| Figura 4. Ubicación geográfica..... | 34 |
| Figura 5. Flujograma de procedimiento de investigación | 38 |
| Figura 6. Tratamientos y densidades de siembra..... | 43 |
| Figura 7. Distribución del FA (frecuencias de iluminación)..... | 43 |
| Figura 8. Temperaturas del ambiente durante la investigación. | 47 |
| Figura 9. Bandejas utilizadas para el trasplante..... | 82 |
| Figura 10. Instalación eléctrica de los timers..... | 82 |
| Figura 11 Adecuación de ambiente de investigación. | 82 |
| Figura 12 Instalación completa del sistema de iluminación, caja térmica, transformadores, timers y un térmico. | 82 |
| Figura 13. Precintos plásticos para sujetar los cables de la conexión..... | 82 |
| Figura 14. conexión de la distribución de los cables de cada tratamiento..... | 82 |
| Figura 15. Instalación de luces de iluminación cintas LED 5050-IP65. | 83 |
| Figura 16. Remoción de los sustratos: turba negra, tierra negra y arena fina. | 83 |
| Figura 17. Desinfección del sustrato con la pistola calorimétrica. | 83 |
| Figura 18. Sustrato desinfectado..... | 83 |
| Figura 19. Distribución de los tratamientos a estudiar..... | 83 |
| Figura 20. Área del trabajo de estudio con su respectiva instalación..... | 83 |
| Figura 21. Desinfección de plántulas..... | 84 |
| Figura 22. Plántulas de menta..... | 84 |
| Figura 23. Trasplante de esquejes de menta. | 84 |
| Figura 24. Sustrato preparado para el trasplante. | 84 |
| Figura 25. Supervisión de las plantas trasplantadas. | 84 |
| Figura 26. Riego después del trasplante. | 84 |
| Figura 27. Supervisión de prendimiento de esquejes de menta..... | 85 |
| Figura 28. Tutorado de las plántulas. | 85 |

| | |
|---|----|
| Figura 29. Supervisión de las bandejas..... | 85 |
| Figura 30. Marbeteado de las plántulas. | 85 |
| Figura 31. Plántulas con mejor rendimiento de la investigación..... | 85 |
| Figura 32. Supervisión de las luces LED..... | 85 |
| Figura 33. Medición de la variable altura de planta. | 86 |
| Figura 34. Cosecha de menta. | 86 |
| Figura 35. Medida del largo de la hoja. | 86 |
| Figura 36. Conteo de número de hojas por planta. | 86 |
| Figura 37. Medida del ancho de la hoja..... | 86 |
| Figura 38. Velocidad de crecimiento. | 86 |
| Figura 39. Peso seco total..... | 87 |
| Figura 40. Peso fresco total..... | 87 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Análisis de varianza altura de planta | 88 |
| Anexo 2. Análisis de varianza largo de las hojas | 89 |
| Anexo 3. Análisis de varianza ancho de las hojas..... | 90 |
| Anexo 4. Análisis de varianza número de hojas por planta | 91 |
| Anexo 5. Análisis de varianza peso total fresco | 92 |
| Anexo 6. Análisis de varianza peso total seco | 93 |
| Anexo 7. Análisis de varianza velocidad de crecimiento | 94 |
| Anexo 8. Datos de los factores de estudio. | 95 |
| Anexo 9. Factor A y Factor B de estudio. | 95 |
| Anexo 10. Análisis físico-químico del sustrato | 96 |
| Anexo 11. Presupuesto | 97 |
| Anexo 12. Presupuesto para la densidad de 8 plantas por bandeja | 98 |
| Anexo 13 Presupuesto de 6 plantas por bandeja | 99 |

RESUMEN

La presente investigación se realizó en un área urbana del distrito 16 San Antonio en la zona Villa Armonía que está situada en la provincia Murillo del departamento de La Paz. Sus coordenadas geográficas son 16°51'29'' de Latitud Sur, y 68°10'72'' de Longitud Oeste, a una altitud de 3624 m.s.n.m.

El objetivo del presente fue determinar las frecuencias de iluminación y el comportamiento agronómico en el cultivo de menta (*Menta piperita* L.) en el municipio de La Paz. Se empleó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo bifactorial de 2*3 con seis tratamientos y tres repeticiones.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: T1= 4 horas de exposición de luz LED y densidad de seis plantas, T2= 12 horas de exposición de luz LED y densidad de ocho plantas, T3= 8 horas de exposición de luz LED y densidad de seis plantas.

Los resultados que se obtuvieron durante el estudio de campo, muestran que las plantas con los tratamientos T2 y T3, con tiempos de iluminación de 12 y 8 horas respondieron de una manera más eficiente a sus variables de respuesta evaluadas como ser agronómicas, fenológicas y análisis económico, observando así la interacción de frecuencia de iluminación – densidad de plantas, tuvieron buenos resultados de producción de menta generando un mejoramiento en el rendimiento económico del cultivo.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in an urban area of the 16th district of San Antonio in the Villa Armonía area, which is located in the Murillo province of the department of La Paz. Its geographical coordinates are 16°51'29'' South Latitude, and 68°10'72'' West Longitude, at an altitude of 3624m.a.s.l.

The objective of the present was to determine the lighting frequencies and the agronomic behavior in the cultivation of mint (*Menta piperita* L.) in the municipality of La Paz. The Completely Random Design (DCA) was used with a bifactorial arrangement of 2*3 with six treatments and three repetitions.

The treatments evaluated were the following: T1= 4 hours of exposure to LED light and density of six plants, T2= 12 hours of exposure to LED light and density of eight plants, T3= 8 hours of exposure to LED light and density of six floors.

The results obtained during the field study show that the plants with treatments T2 and T3, with lighting times of 12 and 8 hours, responded more efficiently to their response variables evaluated, such as agronomic, phenological and analysis. Thus, observing the interaction of lighting frequency - plant density, they had good results in mint production, generating an improvement in the economic performance of the crop.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura presenta varios retos, la población va en aumento, por lo cual se debe cambiar la forma de producir los alimentos para superar el agotamiento de los recursos naturales, el cambio climático y la desigualdad. El consumo de alimentos incrementará, debido a esto se debe buscar una alternativa de obtener mayores productividades con enfoques sostenibles en los espacios actualmente cultivados ya que en el futuro habrá escasez de las tierras idóneas para la producción de alimento con Araujas (2016).

La Agricultura protegida es un sistema de producción que emplea diversas estructuras para la protección de los cultivos con la finalidad de proporcionar condiciones adecuadas para su crecimiento y desarrollo, esta forma de producción se ha ido desarrollando con el paso del tiempo, generando múltiples ventajas, debido a que es posible obtener productos fuera de temporada y en menor tiempo (precocidad), además de tener un mejor control de plagas y enfermedades, mayor producción en menor espacio y productos de mayor valor comercial de acuerdo con Kozai (2013).

Es importante generar técnicas y adaptar metodologías en la experimentación científica para dar resultados concluyentes que sirvan y lleguen al productor. De esta manera esta investigación aplica una técnica simple se generan resultados innovadores que darán pie a nuevas investigaciones a nivel nacional en relación a cultivos hortícolas en ambientes protegidos con luces LED.

La nueva tecnología en incorporarse al área de la agricultura en ambientes controlados con las lámparas de diodo o también conocidas como LEDs; la cual presenta varias ventajas entre ellas: su bajo consumo eléctrico, larga vida útil y carecen de productos considerados peligrosos. Cabe recalcar que los sistemas de iluminación LED son una tecnología nueva en lo que se refiere a la iluminación de plantas y, por consiguiente, se necesita de investigación para determinar su mejor uso y aplicación especialmente en hortalizas.

1.1. Antecedentes

La aplicación de iluminación LED en el crecimiento de las plantas fue documentado por primera vez en cultivo de *Lactuca sativa* L. Estudio en el que el crecimiento y desarrollo del cultivo bajo iluminación LED monocromático rojo (660 nm), suplementado con lámparas fluorescentes azules (400- 500 nm) fue comparable contra luces fluorescentes e incandescentes de color blanco frío. A partir de esto el interés de la aplicación de iluminación LED en horticultura se incrementó (Morrow, 2008).

Durante los últimos años se han empleado diversas formas y fuentes de estimulación electromagnética apropiada para el óptimo desarrollo del proceso de fotosíntesis de las plantas de manera natural y artificial (Gonzalías y Lasso, 2016).

Para el caso de sistemas de producción en ambientes controlados las principales fuentes de iluminación artificial empleadas son: lámparas fluorescentes, lámparas de sodio a alta presión (HPS) y a partir de 2010, la incorporación de los diodos emisores de luz (LED) debido a que estos son elementos de mayor eficiencia que pueden ser ubicados muy cerca de las plantas y configurados para emitir un alto flujo de luz específica con un menor consumo energético (Gonzalías y Lasso, 2016).

En la actualidad la tecnología de los dispositivos LED ha avanzado rápidamente en diferentes campos de las ciencias aplicadas ya que permiten la producción de luz brillante y de larga duración. Para los cultivos en interiores emiten sólo las longitudes de onda de luz correspondientes a valores propios y cercanos a los picos de absorción de los procesos fotoquímicos típicos de una planta que están entre 400 y 500 nanómetros (nm) y entre 600 y 700 nm, longitudes de onda que estimulan la germinación, crecimiento vegetativo, desarrollo y floración de las plantas por medio de sus pigmentos foto sensitivos.

La tecnología LED hace realidad el sueño de cultivar en pequeñas superficies de interior, porque proporcionan el espectro de luz óptimo para ello y permiten utilizar varias capas para aumentar al máximo la producción (Philips, 2020).

Los laboratorios de Montecastelo, realizaron el experimento, cuyo valor principal de esta investigación sobre los efectos de la iluminación por LEDs en el desarrollo vegetal es que podría ayudar a aumentar la productividad de cultivos alimentarios en ciertas partes del mundo, una posibilidad muy esperanzadora ante el crecimiento demográfico del planeta y la necesidad de una mayor cantidad de comida con la que alimentar a esa humanidad, cada vez más numerosa (Arcas, 2014).

1.2. Planteamiento del problema

El presente trabajo tiene como alternativa la producción urbana incluyendo la iluminación artificial para la producción orgánica, la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la contaminación atmosférica de nuestro planeta y logrando un consumo que garantice un estado de bienestar sostenible y coadyuve en su desarrollo humano y social.

La idea de producir en interior y haciendo uso adecuado de la tecnología con luces led como una forma de cooperar con la seguridad alimentaria y ser amigable con el medio ambiente, como alternativa ante el problema de la escasez de alimentos y bajo un ambiente controlado, puede brindarnos mayores rendimientos con mejor calidad, de alimentos frescos, orgánicos y a gran escala, aprovechando cada metro cuadrado en vertical de las instalaciones.

En nuestro país, este tipo de agricultura no ha sido adaptado por ningún productor, debido a los costos altos de inversión que requiere, no obstante, esta idea innovadora podría reducir los costos de producción y mejorar la calidad del alimento a largo plazo; también se podrían adaptar algunas variedades de hortalizas, además de que la población podría consumir alimentos sanos, a buenos precios y frescos todos los días para mejorar su nutrición y la de sus familias.

1.3. Justificación

Los problemas ambientales son producidos por la actividad del hombre donde se evidencia afectación de los recursos naturales y la calidad de vida, de tal manera lo que se pretende es innovar en el mercado de ideas verdes que permiten la producción de alimentos orgánicos, para aportar a la población en general, tener menor reducción de contaminación que se produce al medio ambiente producto de los procesos propios de la agricultura con presencia de grandes dosis de químicos nocivos.

La agricultura urbana como alternativa para la alimentación de la población, la especie *Mentha piperita* L., es un cultivo que se ha adaptado a las condiciones agroecológicas, la cual tiene una gran importancia socioeconómica ya que es utilizada como alimento y como medicina natural.

Debido al cambio climático la producción a campo abierto se ve amenazada, entonces es necesario optar por alternativas que sean amigables con el medio ambiente además de brindar alimentos de calidad y así poder contribuir a la seguridad alimentaria.

El presente trabajo de investigación nos dará a conocer aportes que podrán servir de base a la estructuración de un paquete tecnológico que valide el cultivo y permitirá generar indicadores asociados al manejo de la luz LED de color violeta para optimizar el rendimiento y productividad de menta, ya que tiene como finalidad implementar huertos orgánicos que permiten ser instalados en lugares de poco espacio, ya que surge la necesidad que presenta en consumo de alimentos con contenidos químicos y microorganismos que pueden causar enfermedades al consumidor y reducir costos.

Los grandes problemas que presentan las diferentes especies que han sido adaptadas a nuestro medio ambiente, es el desconocimiento de su manejo agronómico, como en el caso de *Mentha piperita* L. "Menta", relacionado al uso de suelos con aptitud para su cultivo, densidad de siembra apropiada, fertilización y/o abonamiento y manejo sanitario.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Comparar las diferentes frecuencias de iluminación con luz LED en el cultivo de menta (*Mentha piperita* L.) en el municipio de La Paz.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de las frecuencias de iluminación de las luces LED en el cultivo de menta.
- Evaluar el comportamiento del cultivo de menta en dos diferentes densidades en sistemas de producción en interior con luz LED.
- Comparar los parámetros económicos de relación Beneficio-Costo.

3. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1. Origen y distribución de la Menta

El centro de origen es en Europa y África del Norte, con amplia presencia en Asia y América. La *Mentha piperita*, procede de la hibridación de dos especies de este mismo género, aparecido en Inglaterra en el siglo XVII. Sus padres fueron la llamada *Mentha aquatica* y la *mentha viridis*. De esta estirpe híbrida, multiplicada mediante esquejes hasta lo infinito, procedería toda la menta piperita cultivada en Inglaterra y en los continentes europeo y americano. Hoy día la menta piperita se cultiva en grandes cantidades en todo el mundo, debido a las numerosas aplicaciones no sólo terapéuticas (Font, 1981).

Por su riqueza en componentes aromáticos, se cultiva artificialmente desde el siglo XVII, cuando por primera vez se la obtuvo de manera controlada en Inglaterra. Siendo estéril, se reproduce casi exclusivamente por propagación vegetativa a partir de rizomas subterráneos, de manera muy agresiva (Font, 1981).

3.2. Descripción Botánica

La menta piperita es un híbrido de la menta acuática a sándalo de agua (*Menta aquatica* L.) y de la menta romana, menta de espiga o hierbabuena (*Menta viridis* L. = *Menta spicata* L.); como esta es probablemente, un híbrido de dos mastranzos, el común (*Menta rotundifolia* L.) y el nevado (*Menta longifolia*.L = *Menta sylvestris* L., resulta que la *Menta piperita* L., es el resultado de una triple hibridación natural de acuerdo con Muñoz (2000).

Es una planta herbácea, vivaz, de tallos erectos cuadrangulares, muy ramificados que puede alcanzar los 80 cm de altura. Las hojas opuestas, pecioladas, con bordes aserrados, de color verde oscuro en la cara superior y más claro en la cara inferior. Los estolones, de sección cuadrangular, crecen bajos y sobre la superficie de suelo en todas las direcciones. Existen más de 25 especies de menta, tanto silvestres como domésticas. La mayoría de las especies son perennes. Las mentas son ricas en aceites volátiles de composición variada (Muñoz, 2000).

La familia Lamiácea también llamada Labiatae o Labiadas comprende más de 170 géneros y 3000 especies de amplia distribución en regiones templadas y tropicales (INTA, 2009).

3.2.1. Morfología

Respecto a sus principales características morfológicas y botánicas como estamos ante una hierba perenne estoloniferas, se describe a la planta como una especie herbácea, vivaz, de tallos erectos cuadrangulares, muy ramificados, que pueden alcanzar los 90 cm de altura con inflorescencia en forma de espiga y de colores púrpuras/rojizo según Muñoz (2000).

3.2.1.1. Raíz

Un rizoma largo, rastrero y velludo (Kiauer, 2009) menciona que son fasciculadas, muy ramificadas y susceptibles a problemas fungosos cuando está expuesta a mucha

humedad. Valles (2007) indica que son muy ramificadas, con abundante sistema de raíces radicales.

3.2.1.2. Tallo

Los tallos están usualmente ramificados y tienen un color violeta. Su tallo es pubescentes, halados, rojizos o morados, con estolones largos de tamaño de 40 a 60 cm de altura Orellana (2013).

Menciona Kiauer (2009) que los tallos son cuadrangulares, erguidos y de color verde o rojizo dependiendo de la variedad y especie. Se encuentran generalmente ramificados en su parte superior, y su parte inferior suele estar lignificada o endurecida. Presenta hasta diez pares de ramas por tallo, cuyas longitudes varían.

3.2.1.3. Hojas

Las hojas son opuestas, pecioladas, lanceoladas o agudas, con bordes aserrados, de color verde oscuro en la cara superior y más claro en el inferior (Ramírez, 2002).

Las hojas son pecioladas, ovales o lanceoladas, alargadas, estrechas y por lo general, ligeramente pubescentes, agudas y dentadas con una fuerte nerviación en el envés. Estas hojas contienen glándulas que proporcionan los aceites esenciales de ese aroma característico que todos conocemos, concretamente localizados en los pelos vegetales (tricomas) del envés de las hojas, de color muy verde intenso, el olor agradable se debe al mentol, un componente de sus aceites esenciales (Unesur *et al*, s.f.).

3.2.1.4. Flores

Las flores de menta de un tamaño muy pequeño de colores lilas, blancas o rosadas son formadas por inflorescencias adjunta a la axila de las hojas instaladas en la corona sobre los nudos, muy cercanos que parecen a una espiga de acuerdo con Elicriso (2010).

Se agrupan en glomérulos los cuales se inician en la mitad del tallo pequeñas son espigas tienen cáliz tubuloso de cinco sépalos agudos y vellosos, corola purpúrea con el limbo dividido en cuatro lóbulos casi iguales (Unesur *et al*, s.f.).

Sus flores son blancas o violáceas, pequeñas regularmente estériles. Posee un olor fuerte pero menos agudo que otras mentas, agradable y delicado; se cultiva normalmente en huerta, pero puede aparecer naturalmente en terrenos húmedos Orellana (2013).

3.2.1.5. Fruto

Su fruto es de forma ovoide, están formados por cuatro aquenios pequeños (tetraquenios), lisos, indehiscentes y con el pericarpio separado del tegumento de la semilla (Escalante y Villareal, 2014).

Martínez (1993) indica que son capsulas secas donde se encuentran las semillas. Empiezan a formarse de dos a tres semanas después de iniciada la floración, el tiempo de maduración coincide con el del amarillamiento y caída de las hojas, variado el periodo de acuerdo a la zona geográfica, aunque de manera general esto ocurre entre octubre y noviembre, periodo recomendable para coleccionar la semilla.

Kiauer (2009) sostiene que los frutos son tetraquenio descompuestos en 4 núculas.

3.2.1.6. Semillas

Formado por cuatro nuececillas semejantes a aquenios lisas y ovoides, de tamaño pequeño que oscilan de 2 mm de largo a 1 mm de ancho de color negro brillante.

Las semillas, de forma ovoide, están formadas por cuatro aquenios pequeños (tetraquenios), lisos, indehiscentes y con el pericarpio separado del tegumento de la semilla. La semilla es dura, pequeña y está envuelta en una sustancia mucilaginosa que se hincha en contacto con el agua (Ozcan y Chalchat, 2005).

Martínez (1993) menciona que son de color café, de forma ovoide y de tamaño menor a 0,5 mm se ha estimado que en un kilogramo existe alrededor de 2.100.000 semillas. Bajo

condiciones óptimas de humedad y de temperatura de 15 a 20 °C, la semilla germina después de una semana (ver figura 6 en anexos).

3.2.2. Etiología de la menta

El nombre del genérico *Menta* proviene del latín *mintha* o *minta*, nombre de una ninfa de la metodología griega, hija de Cocito (humo del infierno), amada por Plutón (Ades) y a quien, por celos de Proserpina, la transformaron en una planta de menta. El epíteto *piperita* se refiere a su sabor picante (Quispe, 2016).

3.2.2.1. Nombre común

La *Mentha piperita* L. Es el nombre común para el género de menta, y el género *Mentha* incluye 25 a 30 especies, siendo una hierba perenne y nativa de Europa, que fue naturalizada en el norte de los Estados Unidos y Canadá, y cultivada en muchas partes del mundo (Kavrayan *et al*, 2001; Khalil, 2015; Hawryl *et al*, 2016).

3.3. Clasificación taxonómica

Dentro de la clasificación taxonómica de *Mentha piperita* (Menta), es la siguiente:

Tabla 1. Clasificación taxonómica.

| | |
|--------------------------|----------------------------------|
| Orden | <i>Lamiales</i> |
| Familia | <i>Lamiaceae</i> |
| Género | <i>Mentha</i> |
| Especie | <i>piperita</i> L. |
| Nombre científico | <i>Mentha piperita</i> L. |
| Nombre común | Menta |

Fuente: Maravi (2012).

3.3.1. Sistemas de propagación

Se dos formas de reproducción según Buitron (1999).

- Reproducción sexual: actualmente, existen casas comerciales que expenden semillas de menta (*Mentha piperita* L.).
- Reproducción asexual: se realiza a través de partes vegetativas como: rizomas, acodos y meristemas. Rizoma: tallo horizontal y subterráneo de las plantas. Acodo: vástago o tallo de una planta doblado y enterrado sin separarlo de esta, para que eche raíces y de origen a una nueva meristema: es un tejido formado por células en fase de división, se halla en las yemas, ápices de la raíz.
- Los viveros: se pueden implementar sobre camas o platabandas o en bolsas de polietileno, donde se ponen a brotar o enraizar, rizomas, acodos o meristemas. El método más eficiente es el de las bolsas, pues aseguran la obtención de plántulas uniformes y vigorosas que no sufrirán el estrés fisiológico al ser trasplantadas en el campo definitivo (Buitrón, 1999).

3.3.2. Siembra y plantación de la menta

La reproducción habitual suele ser por división de matas o por estolones. Por división de matas: en primavera o en otoño, recogiendo trozos de raíces de al menos 10 cm, si es posible con un tallo aéreo, y plantándolos a unos 5 cm de profundidad (Ubeda y López ,2015).

El anterior autor comenta que: se puede propagar por estolones, en primavera o en otoño. Estos se disponen horizontalmente en el fondo de surcos de unos 10 cm de profundidad distanciados a unos 70 cm entre sí.

Además, comenta que la menta es una planta muy invasora, ya que se propaga por medio de estolones. Si no se desea que colonice todo el huerto, se aconseja colocarla en una maceta y enterrarla. Para reducir el riesgo de enfermedades las raíces se han de dividir

cada 3 o 4 años, o bien, deben trasplantarse en otro sitio para reducir el riesgo de enfermedades.

3.4. Densidad y Rendimiento

De las plantas madres se extraen los rizomas provistos de raíces, y se colocan en líneas uno a continuación de otro, como si se tratase de una siembra a chorrillo (Orellana, 2013).

También se puede utilizar esquejes para obtener una planta de hierbabuena. Después de 4 a 5 días de haber plantado el esqueje, comienza el crecimiento de la planta. Se lo puede sembrar de 40cm entre plantas y 60 entre hileras 2400pl/ha. La distancia entre plantas es de 30 cm y entre surcos 80 cm; llegando a tener 41,666 mil plantas por hectárea. Equivalente en promedio a 1300 kg de estolones o esquejes por hectárea. Correspondiendo a 5 estolones por cada golpe (Japón *et al*, s.f.).

3.5. Requerimiento del cultivo Edafoclimático

Se recomienda que un cultivo de menta deberá cubrir los siguientes requerimientos (Muñoz, 2000):

3.5.1. Clima

Hay especies que solo se dan en climas fríos (10 °C - 18 °C) y otras que prefieren climas cálidos (25 °C - 35 °C), algunas se desarrollan en sectores de elevada humedad, mientras que otras en áreas caracterizadas por su marcada sequedad. Hay plantas que medran de buena manera en sitios con alta luminosidad y otras que prefieren lugares sombreados (Torres, 2013).

3.5.2. Temperatura

Eco fisiológicamente el comportamiento de temperatura en el cultivo de menta en sitios fríos oscila entre los 12°C como valor mínimo, y en rango máximos de 14°C (Ocampo y Valverde, 2000).

Las temperaturas diurnas de 30°C favorecen la máxima producción de materia seca de hojas, tallos y raíces con independencia de las temperaturas nocturnas, sin embargo, afecta la materia seca de los estolones al disminuir la cantidad de carbohidratos y si se realizan más de dos cosechas al año esta reducción de la materia seca bajo condiciones de alta temperatura podría afectar el rebrote con la consiguiente disminución de los rendimientos (Najaras, 2019).

El anterior autor indica que la floración se ve restringida con una combinación de altas temperaturas diurnas y bajas nocturnas. Además, en condiciones de campo en esta etapa se manifiesta la mayor producción de aceites esenciales. Esto último no se manifiesta bajo condiciones de temperaturas extremas. El contenido de mentol en el aceite esencial es independiente de la variación de temperatura, sin embargo, condiciones de fotoperiodo largo incrementan el contenido de mentol y linalol.

3.5.3. Tolerancia

Es una especie que se desarrolla bien en zonas de clima templado, con elevada luminosidad, son tolerantes a heladas (Percy, 2007).

3.5.4. Brillo Solar

Para diversas especies del género *Mentha* se ha demostrado que en condiciones de día largo (región subtropical), varía la composición de ciertas moléculas especializadas en la síntesis de aceites esenciales, ya que el efecto de fotoperiodo, evita la presencia de la floración (Bonilla, 2010).

El sol emite longitudes de onda entre los 280 y los 2800 nm (97 % de la distribución total del espectro). Se dividen en tres regiones: Ultravioleta (100 a 380 nm), luz visible (380 a 780 nm) e infrarroja (700 a 3000 nm). La energía más alta corresponde a las longitudes de onda más bajas; la ultravioleta tiene energía más alta que la roja (Chen, 2018).

3.5.5. La luminosidad

Es un factor que afecta la producción de aceites esenciales, no solo en menta sino también en la mayoría de las plantas aromáticas. Una mayor luminosidad incrementa la producción y acumulación de los aceites esenciales, este factor deberá tenerse en cuenta para la cosecha, no siendo aconsejado efectuar la misma en días nublados o con posterioridad a un riego o lluvia abundante, por la posible disminución en el contenido de aceites esenciales (Najaras, 2019).

3.5.6. Altitud

La altitud es otro factor importante, la mayoría de las mentas alcanzan su máximo crecimiento y contenido de aceites esenciales cuando se las cultiva en alturas que van desde los 500 a 1500m sobre el nivel del mar, dependiendo de la especie (Orizo, 2008).

3.5.7. Suelo (textura y estructura)

La menta no es particularmente exigente en suelos, lo importante es que sea un suelo fértil rico en humus, poroso, con pH neutral o también ligeramente ácido y con buen drenaje; se deben evitar los terrenos pesados y arcillosos, es una planta que tiene necesidad de sustancia orgánica, es recomendable renovar el mantillo cada 2-3 años en consideración también del hecho que es una planta muy longeva y de crecimiento abundante (Clavijo *et al*, 2005)

3.5.8. pH

La gran mayoría de las hierbas crecen bien entre pH 5,5 y 7,5 siempre que no sean salinos. Tales hierbas necesitan suelo franco – areno – humíferos. De no haber materia orgánica suficiente en el suelo debe cubrirse esta deficiencia con la incorporación abonos y/o fertilizantes orgánicos (Fretes, 2010).

En suelos con pH menor a 4,0 la planta desarrolla poco, por lo que es necesario encalar con la cantidad que indique el análisis de suelo, para elevar el pH, neutralizar 18 el

aluminio intercambiable en el suelo e incrementar la disponibilidad de los elementos nutritivos calcio, fósforo y magnesio (Forlin, 2012).

3.5.9. Agua

La mayor parte del cultivo es muy exigente en agua, después del prendimiento los riegos deben darse con una frecuencia semanal aproximadamente, por este motivo es necesario que haya en el campo una buena distribución de humedad a fin de asegurar una buena calidad de la producción. Se recomienda la elaboración de drenajes para evitar excesos de agua que pueden ser la causa de enfermedades fungosas, bacterianas y de desarreglos fisiológicos que irían en detrimento de la productividad y calidad de los cultivos (Torres, 2013).

El requerimiento de agua para el cultivo de menta oscila entre (700 - 800 mm/ha/año); La falta de agua trae como consecuencia que las hojas maduras se vuelvan amarillas repercutiendo en la calidad del producto (Japón *et al*, s.f.).

3.6. Humedad Relativa

El valor de humedad relativa para el cultivo de menta oscila (75% - 85%), ya que se evitan que las plantas sufran deshidratación y secamiento radicular que provocan un descenso significativo en la calidad al momento de ser procesada en pos cosecha (Bareño, 2006).

3.7. Requerimiento del cultivo

Los nutrientes más requeridos por la menta son nitrógeno, fósforo y potasio (importante para la síntesis de proteínas). La deficiencia de hierro afecta la producción de aceites esenciales provocando su disminución, mientras que una deficiencia de azufre reduce la acumulación de materia seca y la absorción y acumulación de N, P, K, Ca y Mg. El contenido de mentol se ve favorecido por un déficit de Mn, Cu, Mo y B, mientras que el déficit de Mn provoca una disminución en el contenido de mentona (Orizo, 2008).

3.7.1. Composición nutricional

Digestión: La menta es un excelente aperitivo que promueve la digestión debido a su tan peculiar aroma. Ayuda a calmar el estómago en casos de indigestión, inflamaciones, etc. Esta fragancia que exhala activa las glándulas salivales de la boca, así como aquellas glándulas que secretan las enzimas digestivas facilitando el proceso (Vegaffinity, 2014).

Náuseas y dolores de cabeza: Y también su aroma es un excelente y rápido remedio para la náusea. Si alguna vez la sientes, prueba a oler el aceite de menta, hojas de menta machacadas o cualquier producto a base de dicha hierba, y verás cómo se alivia. El bálsamo de menta puede ser usado para aliviar los dolores de cabeza cuando se frota en la frente, la nariz y las sienes.

Desórdenes respiratorios, catarrros y otros: Y volvemos con la agradable fragancia de la menta: es muy eficaz para descongestionar la nariz, la garganta, los bronquios y los pulmones, aliviando los trastornos respiratorios causados por el asma, gripes, etc. Los inhaladores de menta son más saludables, efectivos y ecológicos que otros.

Cuidado de la piel: El aceite de menta es un buen antiséptico y anti-prurito, por lo que su uso en la piel es muy beneficioso. El jugo de menta es muy bueno para limpiar la piel, la relaja, calma los escozores, cura infecciones cutáneas. También es bueno para combatir las espinillas. Se le usa para tratar picadas de insectos como abejas, avispa, mosquitos, entre otros.

Higiene bucal: Este es el uso más conocido que se debe a sus propiedades germinicidas y refrescantes. Inhibe el crecimiento de las bacterias que habitan en la boca y limpia lengua y dientes.

Cáncer: Algunos estudios recientes parecen demostrar que la menta contiene algunas enzimas que ayudan a combatir las células cancerosas.

Tabla 2. Composición nutricional de la menta por 100 (g).

| Composición | Cantidad (g) |
|----------------------|----------------------|
| Calorías | 67 |
| Carbohidratos | 6.89 |
| Proteínas | 3.75 |
| Fibra | 8 |
| Grasas | 0.94 |
| Minerales | Cantidad (mg) |
| Sodio | 31 |
| Calcio | 243 |
| Hierro | 5.08 |
| Magnesio | 0 |
| Fosforo | 73 |
| Potasio | 569 |
| Vitaminas | Cantidad (mg) |
| Vitamina A | 0.21 |
| Vitamina B1 | 0.08 |
| Vitamina B2 | 0.27 |
| Vitamina B3 | 2.67 |
| Vitamina B12 | 0 |
| Vitamina C | 31.8 |

Fuente: Vegaffinity (2014).

3.8. Fotosíntesis

Se define la fotosíntesis como un proceso físico-químico en el cual las algas, las plantas y las bacterias fotosintéticas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos de acuerdo con Pérez (2011).

La luz juega un papel significativo en la fotosíntesis; solo las longitudes de onda desde 400 nm a 700 nm son útiles para la fotosíntesis debido a que los demás son nocivos para los seres vivos según Taiz y Zeiger (2006).

La fotosíntesis inicia por la absorción de la energía lumínica y su transformación en trifosfato de adenosina (ATP) y nicotinamida adenina dinucleótido fosfato en las membranas internas de los cloroplastos. Las estomas absorben el CO₂ y su reducción a triosas fosfato ocurre en los cloroplastos, específicamente en el estroma con la ayuda de varias enzimas. Varios factores los cuales la fotosíntesis puede ser perjudicado, como pueden ser la intensidad de la luz, grado de apertura de las estomas y las concentraciones de CO₂ en el medio (Collazo, 2006).

3.8.1. Clorofila

La clorofila, es el pigmento encargado que las hojas tengan color verde, absorbe la luz de espectro violeta, azul y rojo; ya que transmite y refleja la luz verde citado por (Curtis y Schnek, 2006).

Existen varios tipos de clorofila, con una alteración en su espectro de absorción y en su estructura molecular. La clorofila a, es el pigmento relacionado en la transformación de la energía lumínica en energía química asimismo también colecta la energía luminosa. En las plantas y algas verdes, la clorofila b se encuentra en las células fotosintéticas (Curtis y Massarini, 2008).

La luz puede afectar el desarrollo de las plantas ya sea como fuente de energía, calor o información. La composición espectral, intensidad, dirección y fotoperiodo son aspectos que cambian y afectan su crecimiento. Uno de los entes que se encargan de que el proceso de absorción de luz sea ejecutado son los fotorreceptores, estas moléculas proteicas son capaces de absorber luz (Taiz y Zieger, 2006).

3.9. Fototropismo

El desarrollo diferencial que muestran las plantas en dirección a una fuente luminosa contigua principalmente luz de color azul, es denominado fototropismo (Pérez, 2003).

Existen dos tipos de fototropismo, cuando el crecimiento de un brote con dirección a la luz es conocido como fototropismo positivo, mientras que el desarrollo en dirección contraria a la luz se lo nombra fototropismo negativo (Campbell y Reece, 2007).

3.10. Fotoperiodicidad

Se denomina fotoperiodicidad a la capacidad que poseen las plantas para medir la longitud del día en su entorno, lo cual les posibilita determinar la estación del año en la que se encuentran y adaptar sus variables fisiológicas para que de esta manera poder ejecutar adaptaciones fisiológicas (Salvetti *et al.* 2002).

Las plantas se clasifican en respuesta a la fotoperiodicidad, en tres grandes grupos según Maroto (2005):

- Plantas de día largo, aquellas que para florecer necesitan de una duración del período iluminado superior a las 12 horas. Ejemplo: rábano, zanahoria, espinaca, remolacha.
- Plantas de día corto, son aquellas que para florecer precisan una duración del hemoperíodo menor a la del período oscuro. Como, por ejemplo: camote, algunos cultivares de patata, judías, crisantemo, flor de pascua, cultivares de reflorecientes de fresón, etc.
- Plantas indiferentes: aquellas en las que la floración no se ve influida por la durabilidad del fotoperiodo, como berenjenas, tomates, pimientos, clavel, petunia.

3.11. Fotomorfogénesis

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

3.12. Plagas y enfermedades

3.12.1. Plagas

Son numerosos los insectos que atacan a esta especie encontrándose entre ellos al taladro del tallo, gusanos cortadores, coleópteros cuyas larvas atacan las raíces, hormigas, bicho canasto, pulgones que pueden causar daños en las hojas o en los brotes tiernos, llegando en el caso de ataques intensos a defoliar la planta (Guerra, 2010).

- El "pulgón verde" (*Myzus persicae*), que provoca un ligero enrollamiento de las hojas, se combate eficazmente con pulverizaciones de Neem X.
- Las "altisas" (*Epitrix sp.*), son peligrosas al iniciarse la vegetación; su ataque provoca pequeñas perforaciones en las hojas.
- Pulgón lanígero o de la menta *Kaltenbachiella menthae Schoult*, el mismo se localiza en las raíces y puede provocar daños de importancia especialmente si el suelo es seco. Su hábito subterráneo hace que su control sea difícil.

3.12.2. Enfermedades

Las enfermedades más comunes y más graves son las producidas por hongos entre las más importantes y comunes en nuestra zona de cultivo son (Cubero, 1999):

- La "Roya" causada por la *Puccinia menthae*, que se manifiesta por pequeños puntos o costras sobre las hojas, de color amarillo rojizo, cuando el ataque es muy intenso puede provocar la caída de las hojas.
- Oidio cuyo agente causal es *Erysiphe cichoracearum*, ataca hojas cuando el cultivo está cerca de la cosecha.
- *Sclerotium rolfsii* (Podredumbre) ataca raíces provocan la caída de hojas, se recomienda desinfección de los rizomas.

- *Verticillium sp*, causa la marchitez enfermedad que ataca en follaje, causando un amarillamiento de las hojas provocando la muerte de las plantas. Ataca frecuentemente en tiempo seco.
- Tizón de la menta causada por *Rhizotocnia solaniafecta* seriamente el follaje ataca en tiempo húmedo o con gran humedad ya que las esporas germinan en estas condiciones
- Antracnosis causada por *Sphaceloma menthaeataca* hojas jóvenes los síntomas son manchas grises con los bordes marrón-rojizo que pueden extenderse a los brotes provocando defoliación y la caída de los brotes.

3.13. Producción en sistema protegido

3.13.1. Producción en Ambiente Protegido

La principal diferencia entre el cultivo al aire libre y un cultivo en ambiente protegido, es el control del ambiente que las plantas necesitan para obtener su máximo desarrollo citado por Espinal (2021) expone que las condiciones óptimas para el desarrollo de especies cultivables dentro de los ambientes protegidos, dependen principalmente de cuatro variables: temperatura, humedad, luminosidad y ventilación.

Siñani (2017) indica que existen diferentes tipos de construcciones como son los invernaderos, carpas solares aéreas y carpas solares subterráneas, esto con el fin de proteger las cosechas, así se consigue un adelanto o retraso en la cosecha; controlar riego, radiación y humedad. Los ambientes protegidos son cubiertas que evitan el descenso de temperatura a niveles críticos.

La energía solar es la fuente para calentar estos ambientes, y son comunes en la región andina de Bolivia. Espinal (2021) mencionó que los materiales en los ambientes protegidos son importantes y los más utilizados, pueden dosificarse en materiales de vidrio y material de plástico.

3.13.2. Agricultura en interiores

Según especialistas, se estima que, en el año 2050, seremos 9 mil millones de personas en nuestro planeta, con más de un 80% de la población mundial viviendo en zonas urbanas. Además, nuestro planeta ya no tendrá suelos disponibles y seguros para cultivar plantas y hortalizas (Amazings, 2016).

Se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas producto de la contaminación, la desertificación, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades y áreas urbanas (Rodríguez, 2011) por lo tanto, se podría emplear en estas zonas donde tenemos espacios reducidos.

3.13.3. Producción bajo luz led

La iluminación artificial que se utiliza para el cultivo agrícola puede ser a su vez de varios tipos, según su diferente coste, eficiencia y productividad, principalmente: los tubos incandescentes y fluorescentes Espinal (2021).

También indica que normalmente las luminarias para cultivo LED combinan diferentes colores para lograr una longitud de onda específica para distintos tipos de plantas. Se pueden diseñar con un color específico para proporcionar un crecimiento y rendimientos óptimos porque poseen diferentes longitudes de onda y las plantas responden favorablemente a estas longitudes de onda con respecto al espectro de luz.

El anterior autor indica que la longitud de onda de la luz roja es alrededor de 630-660nm y es esencial para el crecimiento de los tallos, así como la expansión de las hojas. En cuanto a la longitud de onda de la luz azul, aunque es de sólo 400-520nm, aumenta el contenido de clorofila presente en la planta y el grosor de la hoja.

Además, teóricamente con los LED tenemos un mayor control sobre la intensidad de la luz ya que los LED son regulables. La atenuación es importante porque la cantidad de luz proporcionada está asociada con la fotosíntesis. En instalaciones con demasiada luz la energía se convierte en calor y disminuye la actividad fotosintética.

Las luces LED, además, se pueden situar cercanas a la planta sin miedo a que se quemem optimizando su absorción por la planta.

3.13.4. Fuente artificial

Según Jiménez (1997) y Almanza (2011) se clasifican en:

- 1) Emisores de origen térmico: utilizan la combustión de un medio oxigenado (bujías, lámparas de aceite y gas).
- 2) Lámparas de incandescencia: contienen una atmósfera gaseosa (halógenos, xenón, criptón y argón).
- 3) Fuentes de tipo luminiscente: son lámparas de descarga en atmósfera gaseosa y con adición de metales en forma de halogenuros, yoduros, tierras raras, mercurio, sodio y yodo.
- 4) Fuentes de tipo foto luminiscente: como diodos emisores de luz semiconductores (LED), luminarias de emergencia y pinturas luminiscentes.
- 5) Lámparas fluorescentes: deben su funcionamiento a la luminiscencia y fotoluminiscencia.
- 6) Lámparas de inducción: donde se integran luminiscencia, fotoluminiscencia e inducción magnética.

No todas las lámparas tienen interés agronómico, ya que la luz artificial en los cultivos debe cumplir tres objetivos importantes: proporcionar cantidad suficiente de energía para la fotosíntesis, proporcionar el espectro energético adecuado, es decir, la luz debe tener la composición espectral adecuada y proporcionar energía durante el fotoperiodo, tanto si se aplica sobre plantas de día corto como largo.

Tabla 3. Características de diferentes tipos de lámparas usadas en iluminación de plantas

| Tipo de lámpara | Salida espectral | Eficacia luminosa (lm/W) | Requisito de energía (W) | Vida útil (horas) |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Incandescente | Amplio Espectro | 20 | 15-1000 | 1000 |
| Fluorescente | Amplio Espectro | 100-120 | 5-125 | 1000-30.000 |
| Sodio de Alta Presión | Amplio Espectro | 80-125 | 35-1000 | 10.000-30.000 |
| Halogenuros metálicos | Amplio Espectro | 100-120 | 35-400 | 10.000-20.000 |
| LED | Longitud de onda específica | 80-150 | 0.1-5 | >50 |

Fuente: Gupta y Agarwal (2017).

3.13.5. Absorción de la luz en el desarrollo de las plantas

La energía que proviene del sol es expresada como la constante solar, equivalente a $1.94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} = 136 \text{ mWm}^{-2}$. Aproximadamente el 65 % de esta llega a la superficie terrestre al mediodía, pero cerca del 42 %; expresado $2300 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 0.59 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} = 40 \text{ mWm}^{-2}$, lo cual corresponde al espectro visible, que pueden ser considerado similar a la radiación fotosintéticamente activa, se define como RFA o PhAR (Roldán y Ramírez, 2008).

La luz solar o radiación visible es elemental para el desarrollo de las plantas, las cuales presentan una perceptibilidad a la radiación distinta a la del ojo humano en las regiones del espectro electromagnético que abarca desde el UV hasta los 740 nm, controlan diversos aspectos como el crecimiento y desarrollo (Martín et al. 2010).

3.13.6. Sistemas de Iluminación Suplementaria

Uno de los conceptos más importantes a tener en cuenta en iluminación con lámparas eléctricas desde el punto de vista fotométrico es el de flujo luminoso (Φ), la eficacia luminosa y la iluminancia (Vásquez, 2018).

3.13.7. Relación entre la luz y el crecimiento de las plantas

Las plantas requieren luz a través de toda su vida útil, desde la germinación hasta la floración y la producción de frutos y/o semillas. Así la luz es una onda electromagnética que viaja a través del espacio y existe como paquetes de energía discreta, llamada fotones. Esta puede ser medida de distintas formas, cada fotón tiene una longitud de onda específica y un nivel de energía. (Sing y Basu, 2014).

Existen 3 parámetros de luz de crecimiento comúnmente usados: calidad, cantidad y duración. Todos estos parámetros tienen diferentes efectos sobre el desarrollo de las plantas y se presentan a continuación (Sing y Basu, 2014).

3.13.7.1. Calidad de luz

La calidad de la luz se refiere al color o la longitud de onda. El sol emite longitudes de onda entre los 280 y los 2800 nm (97 % de la distribución total del espectro). Se dividen en tres regiones: Ultravioleta (100 a 380 nm), luz visible (380 a 780 nm) e infrarroja (700 a 3000 nm). La energía más alta corresponde a las longitudes de onda más bajas; la ultravioleta tiene energía más alta que la roja (Chen, 2018).

El anterior autor manifiesta que la calidad de la luz se refiere al color o la longitud de onda como humanos visibilizan las longitudes de onda entre 380 a 770 nm; este intervalo se denomina luz visible. La luz visible se divide en: Violeta (380 a 430 nm), azul (430 a 500 nm), verde (500 a 570 nm), amarillo (570 a 590 nm), naranja (590 a 630 nm) y rojo (630 a 770). Por otra parte, las plantas fotosintetizan entre los 400 a 700 nm; este intervalo se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA).

Además, la clorofila, el pigmento verde de las hojas que es responsable de absorber la energía de RFA, tiene dos puntos críticos de absorción: la luz azul y roja. Las hojas absorben poco verde y lo reflejan de vuelta; este es el motivo por el que vemos el color verde de las hojas (ver figura 7 en anexos).

La calidad de la luz se entiende como las longitudes de onda que incide sobre el cultivo para poder llevar a cabo la fotosíntesis. La luz roja y azul presentan mayor eficiencia en los procesos fotosintéticos en todas las especies vegetales. Además de esto, ciertas longitudes de onda pueden generar incrementos en las concentraciones de compuestos antioxidantes como vitamina C, carotenoides, antocianinas, flavonoides, etc. (Avendaño, 2019).

3.13.7.2. Cantidad de luz

Es el número de partículas llamadas fotones y principal parámetro que afecta la fotosíntesis, una reacción fotoquímica dentro de los cloroplastos de las células de las plantas en el que la energía lumínica se utiliza para convertir el CO₂ atmosférico en carbohidratos, de aquí se desprenden dos variables, la intensidad de luz y la luz total diaria, comúnmente conocida como Daily light integral o (DLI) (Singh et al. 2014).

3.13.7.3. Duración de luz

También conocido como fotoperiodo, principalmente afecta la floración. El tiempo de floración en las plantas, puede ser controlado regulando el fotoperiodo, es decir, el tiempo de luz que reciben las plantas Gonzalías y Lasso, (2016).

3.13.7.4. Intensidad de luz

La intensidad de luz representa la cantidad o flujo de fotones que caen en una unidad de área en un segundo y su unidad de medida es $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. La intensidad de luz tiene efectos importantes en el crecimiento de los cultivos como el aumento y velocidad en la acumulación de biomasa (Avendaño, 2019).

Es la cantidad de luz instantánea que reciben las plantas, expresada comúnmente en foot-candles, watts y lux. Luz total diaria. Es una medición de la cantidad de luz recibida por las plantas durante un día en un área comúnmente por los investigadores en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ o $\text{mol/m}^2 / \text{day}$ (particular, expresada Gonzalías y Lasso, (2016).

3.13.8. Iluminación artificial LED

Iluminación artificial LED en esencia por este argumento surge la necesidad de proponer y poner bajo prueba un sistema de iluminación capaz de estimular positivamente el proceso de la fotosíntesis en algunas plantas, de manera eficiente para cultivos en interiores donde el control total y/o parcial y automatizado de procesos o tareas pueda revelar la importancia de la iluminación artificial LED. De esta forma la iluminación artificial para el crecimiento de las plantas funciona de tres maneras diferentes (Espinal, 2021):

1. Proporcionan toda la luz que la planta necesita para crecer.
2. Complementan la luz natural, sobre todo en los meses de invierno, donde las horas de luz día son cortas.
3. Aumentan el periodo de la luz día con el fin de disparar el crecimiento y la floración.

La iluminación LED ha tomado mucha más fuerza que cualquier otra tecnología de luz artificial empleada para estimular el crecimiento de las plantas. Debido a que estos son elementos de estado sólido lo cual significa que no poseen partes móviles como filamentos que puedan deteriorarse por vibraciones, y a la baja o casi nula radiación de calor en forma de luz, los dispositivos pueden ser ubicados muy cerca de las plantas y pueden ser configurados para emitir un alto flujo de luz incluso a intensidades altas (Tennessee, 1994).

3.13.9. Eficacia Luminosa (Lumen / vatio)

Es la relación existente entre el flujo luminoso (en lúmenes) emitido por una fuente de luz y la potencia (en vatios) W . La eficacia de una fuente luminosa es mayor cuanto mayor sea la emisión luminosa por vatio consumido, es decir el cociente del flujo luminoso por

la potencia consumida. Evitando la pérdida como energía térmica, se expresa en lúmenes/vatio (lm/w), las lámparas incandescentes tienen una eficiencia de 8 a 20 lm/w, puede perder hasta el 90% de energía como calor, los CFL o fluorescentes compactos de 50 a 82 lm/w y los LEDs de 75 a 90 lm/w (Vásquez, 2018).

3.13.10. Iluminancia E (lux)

1 Lux es la iluminación producida por 1 lumen, que incide sobre la superficie de 1 m², con este concepto es posible buscar lámpara equivalente lumínicamente en el mercado local, teniendo en cuenta las tres fuentes de iluminación que se designa usar lámparas incandescentes, fluorescentes y LED (Vásquez, 2018).

Por otro lado, las lámparas son una fuente de radiación electromagnética, y su luz es sólo una parte del espectro total con sus respectivas equivalencias, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. *Equivalencias lumínicas respecto a los tipos de lámpara Incandescente*

| Incandescente | Fluorescente | LED |
|------------------------------|---------------------|------------|
| 100 W | 20 W | 12 W |
| 70 W | 15 W | 9 W |
| 50 W | 11 W | 6.5 W |
| Equivalencia Lumínica | | |
| 1200 Lm | 1200 Lm | 1200 Lm |
| 800 Lm | 800 Lm | 800 Lm |
| 600 Lm | 600 Lm | 600 Lm |

Fuente: Elaboración propia (2022).

El anterior autor comenta que la energía que es suministrada por cada fotón desde un sistema de iluminación artificial LED particular a las plantas es de: Longitud de onda – Color Azul 458: $434,279 \times 10^{-21}$ J Longitud de onda – Color Rojo 656: $303,201 \times 10^{-21}$ J. Lo que indica que el dispositivo LED de 458 nm (color azul), es mucho más energético

que el de 656 nm (color rojo). Por este y otros motivos, las fuentes de iluminación LED para cultivos en interiores implementan menos dispositivos de este tipo en sus sistemas.

3.14. Diodo Emisor de Luz (LED)

Un diodo emisor de luz (LED) es un dispositivo que convierte energía eléctrica en lumínica. El uso de diodos emisores de luz ha sido escaso hasta hace muy pocos años. (Bula 1991 y Barta, 1992).

La dureza y el bajo mantenimiento, es por ello en la actualidad se ha impuesto su desarrollo. Como inconvenientes, señalar que son poco manejables debido a su funcionamiento con voltajes muy reducidos, 2-4 V, solucionándose este problema mediante su disposición en serie para una alimentación a 12 o 24 V; los LEDs también presentan los inconvenientes de ser unidireccionales, con un área de visión restringida al ángulo frontal estrecho y su alto precio citado por (Almanza, 2011).

La característica básica de la luz emitida por los LEDs es ser monocromática, es decir, la luz que emiten se encuentra en un estrecho rango de longitud de onda del espectro. Hasta ahora, los colores más utilizados son el rojo, amarillo/naranja, verde y azul, considerándose raros otros tonos. Existen numerosos trabajos del empleo de LEDs en el cultivo de plantas, utilizándolos como fuente única de iluminación o como complemento lumínico Vásquez, (2018).

La combinación de luz roja y azul procedente de LEDs permite un buen crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que se encuentra en las regiones de máxima capacidad de absorción fotosintética, aunque la luz roja monocromática a 680 nm es un 36% más eficiente en el proceso de fotosíntesis que la luz monocromática azul a 460 nm, Tamayo (2014).

3.14.1. Lámparas incandescentes

En las lámparas incandescentes, el flujo luminoso es del orden de siete veces superior al de las lámparas incandescentes de igual potencia; y la eficacia luminosa, según el tipo y

la potencia de la lámpara oscila entre 40 y 100 Lm/W. Por otro lado, la duración o vida media se establece en unas 7000 horas para un encendido cada 3 horas y para encendidos de 10 horas, similar al de este caso, su vida aumenta en un 40%. En la tecnología LED (Light Emitting Diode), el principio de funcionamiento es diferente de las lámparas incandescentes en el dispositivo semiconductor, con el paso de la corriente eléctrica, el proceso llamado electroluminiscencia, emite luz visible (Carvalho, 2017).

3.14.2. Consumo de electricidad

Al producir luz de una onda específica están pueden encontrarse en diferentes colores y aplicarse en más usos, la reducción del consumo de energía eléctrica, quizá la mejor ventaja, puede generar la misma cantidad de lumen gastando consumiendo hasta la séptima parte de lo que consume una lámpara incandescente y 2/3 de lo que consume una lámpara fluorescente, mejores circuitos electrónicos, más sencillo, fiable y de dimensiones reducidas (Carvalho, 2017).

3.14.3. El LED como elemento generador de luz

Los diodos emisores de luz (LEDs) son la fuente de luz más nueva, y pueden ser empleados para producir longitudes de onda deseadas, tales como el azul y rojo en mayores proporciones. Estas fuentes de luz de estado sólido emiten luz sobre el flujo de electricidad desde un chip de diodo semiconductor. LEDs pueden emitir longitudes de onda entre los 250 nm (UV-C) hasta los 1000 nm correspondiente al infrarrojo. Estos fueron inventados en 1962, pero no fue hasta 1980 que fueron usados en la agricultura, debido a su baja potencia (Tamayo, 2014).

La NASA mediante sus programas de ciencias biológicas patrocinaron la primera investigación con este tipo de luz, con la finalidad de desarrollar un sistema de iluminación energéticamente eficiente, compacta y con la capacidad de modificar su espectro (Bula *et al*, 1991).

Posteriormente la NASA desarrolló varias matrices de iluminación LED que fueron probadas y utilizadas en un transbordador espacial para probar el crecimiento en un futuro en el espacio. Las investigaciones se realizaron en el “Kennedy Space Center”, enfocándose en las combinaciones espectrales de LEDs, incluyendo los colores rojo lejano y azul (Wheeler *et al*, 2003; Mitchell, 2000; Sheibani *et al*, 2019).

3.14.4. Ventajas y desventajas de un diodo emisor de luz LED

3.14.4.1. Ventajas

Los LEDs presentan características atractivas y ventajas tales como el poder elegir el color de luz emitida (longitud de onda específica), diversidad de formas, fácil manipulación, pequeño tamaño (masa y volumen) y gran ahorro de energía gracias al bajo consumo, alta luminosidad, larga vida (Bula 1991 y Barta,1992).

Ventajas de la luz LED frente a otros sistemas de iluminación Las lámparas LED cuentan con notables ventajas, como el ahorro de energía, operación confiable a bajas temperaturas, más horas de vida útil, flexibles, se adaptan a cualquier diseño, alto rendimiento lumínico (Herrans y Jauregui, 2011).

Es un dispositivo que convierte energía eléctrica en lumínica, elegir el color de luz emitida (longitud de onda específica), diversidad de formas, fácil manipulación, pequeño tamaño (masa y volumen), ahorro de energía gracias al bajo consumo, alta luminosidad, 30 larga vida dureza y bajo mantenimiento (Bula 1991 y Barta, 1992).

3.14.4.2. Desventajas

Son poco manejables debido a su funcionamiento con voltajes muy reducidos, 2-4 V, solucionándose este problema mediante su disposición en serie para una alimentación a 12 o 24 V; los LEDs también presentan los inconvenientes de ser unidireccionales, con un área de visión restringida al ángulo frontal estrecho y su alto precio. La característica básica de la luz emitida por los LEDs es ser monocromática, es decir, la luz que emiten

se encuentra en un estrecho rango de longitud de onda del espectro citado por Almanza (2011).

3.14.5. Cinta A LED 5050 – IP65

Tal como su propio nombre lo indica, son cintas flexibles con diodos de led en uno de sus lados. Los leds pueden ser de mayor o menor intensidad, más pequeños o grandes, se pueden encontrar más separados o próximos entre sí, pueden trabajar con un voltaje de 12V o 24V, pueden tener diferentes colores o pueden cambiar de color en el momento que así lo deseemos (ver figura 8 en anexos).

Las tiras flexibles SMD 5050 son de alta potencia y brillo. También son conocidas como tiras de triple núcleo (por las tres diferentes áreas que se pueden identificar al mirar de cerca el LED). Cabe destacar que la tira LED SMD 5050 puede ofrecer una intensidad de luz 3 veces mayor a la de la tira SMD3528, por lo que la tira LED SMD 5050 es más adecuada para áreas que requieren mayores niveles de luz ambiental. Lógicamente, esto las hace más caras, siendo utilizadas para instalaciones con altos requerimientos de luminosidad ya que su costo por lumen suele ser más bajo (Erazo, 2009).

Tabla 5. Características de la cinta LED 5050 IP-65

| Características | valor |
|-----------------------------------|------------------------|
| Dimensiones | 5 x 0,1 [cm] |
| Angulo de iluminación | 120° |
| Intensidad | 14,4, W/m ² |
| Potencia | 72 Watts/rollo |
| Voltaje de entrada | 12 v |
| Consumo de amperios | 1,2 A x m |
| Lúmenes | 20 LM/SMD |
| Máximo brillo Alimentación | 12 VDC |
| Cantidad de LEDs | 60/metro |
| Tipo de LED | SMD 5050 |
| Rollo | 5 metros |
| Vida útil | 50000 horas |
| Grado de protección | IP65 uso exterior |

Fuente: Elaboración propia (2022).

3.15. Producción agrícola urbana

3.15.1. Situación de la agricultura urbana en América Latina

Latinoamérica está teniendo un proceso de urbanización acelerado, por lo cual se estima que para el año 2020 la población urbana será el 82 %. La población toma la decisión de emigración a la ciudad en búsqueda de nuevas oportunidades, pero enfrenta la realidad ya que cada vez mayor parte 23 de los nuevos habitantes urbanos se encuentran con la situación de pobreza (Urban y Harvest, 2006).

La agricultura urbana se muestra como una actividad alternativa para contribuir a los diferentes problemas que afronta el proceso de urbanización. Las contribuciones más importantes de la agricultura urbana al mejoramiento de las ciudades en Latinoamérica podemos nombrar:

- Fuente de empleo alternativo
- Mercados emergente - Beneficio multifuncional
- Medio ambiente urbano mejorado
- Contribución a la seguridad alimentaria
- Ingreso familiar mejorado

3.15.2. Agricultura urbana

El concepto de Agricultura Urbana está en relación a la evolución, que se visualiza el tema y el aumento de los actores interesados en impulsar este tipo de agricultura. En relación a los diferentes actores en Latinoamérica y el Caribe se puede definir a la Agricultura Urbana como una labor multicomponente y multifuncional que incorpora la transformación o producción de productos agrícolas y pecuarios en zonas intra y periurbanas. De acuerdo con la FAO (2010).

Torres (2006) comenta que, para comercialización o consumo empleando recursos locales, respetando los saberes locales y el uso de tecnologías apropiadas, en el texto Procesos metropolitanos y agricultura urbana, define la agricultura urbana como: “La

producción en pequeña escala de alimentos de origen vegetal y animal en áreas intraurbanas (comunidades, barrios vecindarios)”.

La agricultura urbana puede ser puntualizada como el cultivo, procesamiento y la distribución, con propósitos alimentarios y no alimentarios, en los alrededores de un área urbana, dirigidos al mercado urbano. Practicantes de la agricultura urbana han avanzado y acoplado múltiples ciencias y culturas para elegir, ubicar, cultivar, procesar y distribuir toda clase de plantas (Mougeot, 2006).

4. LOCALIZACION

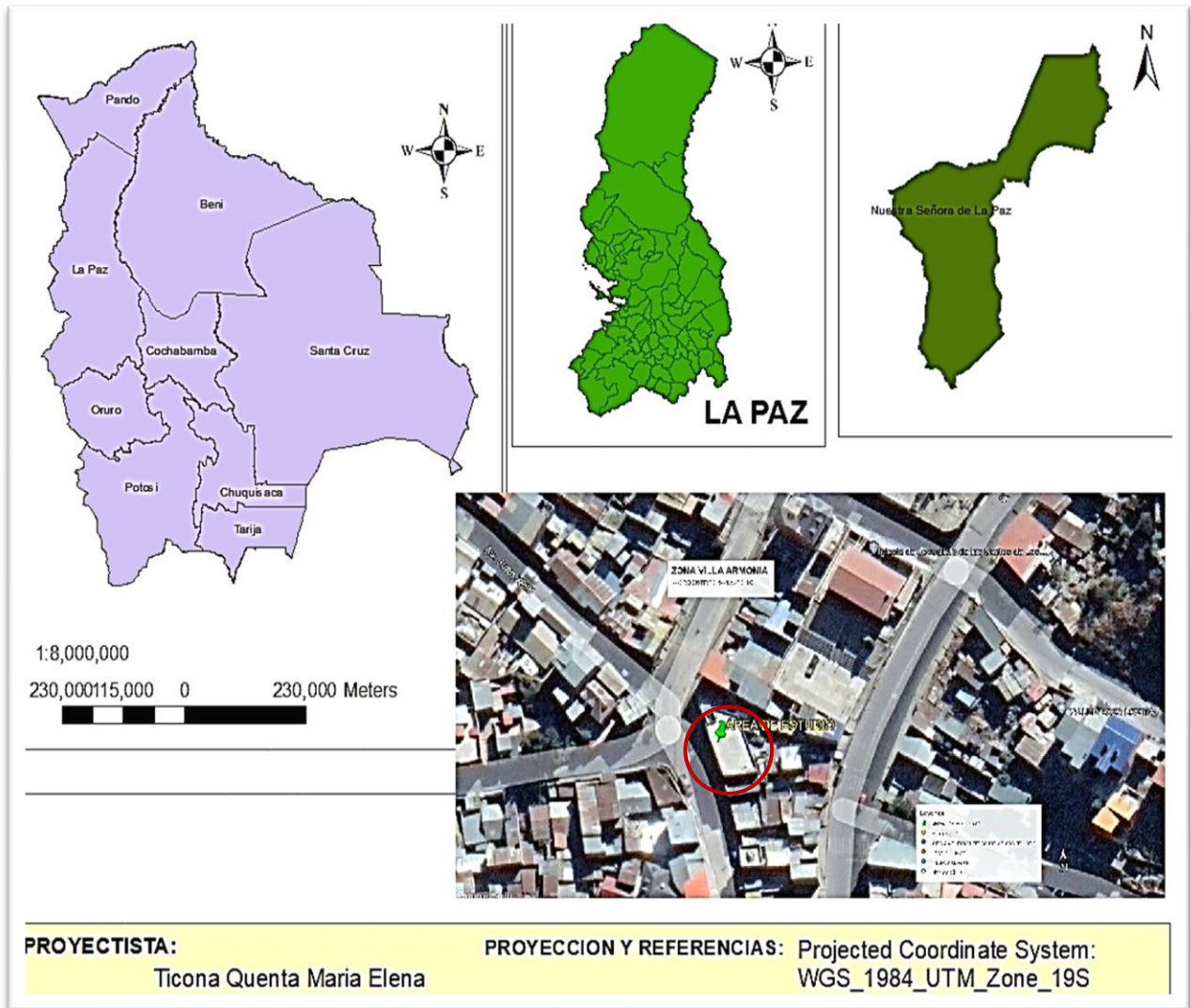


Figura 1. Ubicación geográfica.

4.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la ciudad de La Paz, ubicado en el macro distrito San Antonio, distrito 17, situado a $16^{\circ}51'11''$ Latitud Sur y $68^{\circ}10'72''$ Longitud oeste desde la línea del Ecuador.

4.1.1. Latitud y longitud

El departamento de La Paz se encuentra a 3627 metros sobre el nivel del mar, se sitúa al noreste de Bolivia, entre los 16° 30' de latitud Sur y los 68° 08' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, limita al norte con el departamento de Pando, al este con los departamentos de Beni y Cochabamba, al sur con Oruro, al sudoeste con la república de Chile y al oeste con la república del Perú, INE (2015).

4.2. Características climáticas

Por considerarse cabecera de valle, la característica de esta región es templada a lo largo del año, presenta una temperatura máxima de 21.5 °C, una temperatura media 18 °C y una mínima de hasta 2°C; con una precipitación pluvial media anual de 488.53 mm; una Humedad relativa de 58% y una velocidad máxima promedio de los vientos de 1.4 m/s SENAMHI (2016).

4.2.1. Clima

La conformación de la Cordillera Real que se localiza al Norte forma una barrera climática que en la estación de lluvias sirve de freno a las corrientes húmedas que provienen de la cuenca amazónica. El clima de la ciudad está, obviamente, condicionado por el clima del Municipio y como en éste, las precipitaciones en el área urbana son, en promedio, de 500 mm/año, también concentradas entre diciembre y marzo, marcando el clima húmedo de verano y el seco de invierno Espejo (2016).

“El clima subtropical del Municipio, está Fuertemente influenciado por la altura que baja considerablemente la temperatura y la presencia de la cordillera Real que, a manera de barrera climática, frena las masas de aire húmedo que provienen de la cuenca amazónica durante la estación de lluvia. Presenta la alternancia de una estación seca en invierno y una estación húmeda en verano” Gobierno Municipal de La Paz (2013).

4.2.2. Humedad

La humedad promedio es de 64.7% en la época de lluvias y 48% en la época seca de invierno. Los vientos en verano son de dirección Este a Oeste, en invierno predominan los de dirección Sudoeste a Este. El promedio de exposición solar es de 240 horas / mes en 200 días por año (Programa de Drenaje Pluvial, 2019).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

5.1.1. Material biológico

El material vegetal usado para la presente investigación fue:

- 125 Esquejes de menta
- Sustrato: tierra negra, arena fina y turba negra.

5.1.2. Material para instalación eléctrica

- 3 Rollos de cintas LED (violeta)
- 3 Temporizador digital (Digital time Switches)
- 1 Térmico
- 30 Metros de cable #16
- 3 Transformadores
- 60 Precintos plásticos

5.1.3. Material de campo

- 72 Marbetes
- 18 Letreros de identificación

- 1 Planillas de registro
- 2 Regaderas
- 1 Tijera de poda
- 2 Palas jardineras
- 1 Termómetro
- 1 Flexómetro
- 18 Bandejas
- 3 m de Agrofilm de 200 micras
- 1 Balanza digital
- 1 Estufa

5.1.4. Material de gabinete

- 1 Computadora
- 1 Cuaderno de campo
- 1 Flash memory
- 1 impresora
- Lapiceros
- 1 Cámara fotográfica
- Software InfoStat
- 1 Cinta adhesiva

5.2. Métodos

La metodología fue con un enfoque cuantitativo tomando en cuenta que las variables de investigación serán cuantificables (Hernández y Fernández, 2014).

5.2.1. Descripción del ambiente de estudio

Para el desarrollo de la investigación fue realizada en un ambiente controlado de una superficie de 1.62 m*2.25 m, teniendo una superficie total de 3.65 m².

5.2.2. Procedimiento experimental

El trabajo se desarrolló de acuerdo a las siguientes etapas:

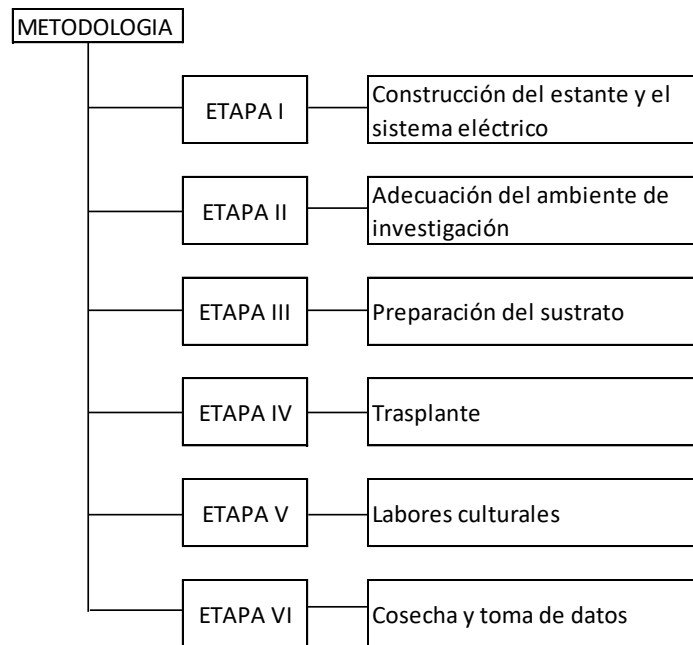


Figura 2. Flujograma de procedimiento de investigación

Fuente: Elaboración propia (2022).

5.2.2.1. Construcción del sistema

- ✓ Se realizó la compra de diferentes tipos de materiales como: fierro angular de ¾” pulgada para elaborar el estante; las dimensiones del estante fueron de 2.25 m de largo por 52 cm de ancho con una altura de 1.62 m. Fierro platino de ½” para la elaboración de los soportes de las bandejas y las luces LED con una dimensión de 75 cm de dos filas por cada separación de tratamiento.

- ✓ El estante fue pintado de color negro y forrado con papel plateado junto con cada separación para que las luces LED tengan un reflejo espejo.
- ✓ El sistema eléctrico del estante fue elaborado encima del papel forrado, se utilizó 10 m de cable #16 por cada tratamiento sujetadas por los precintos plásticos, debajo se colocaron las cintas LED con un largo de 70 cm de dos filas por cada tratamiento y repetición conectado por medio de cables a la caja térmica juntos a los tres transformadores de voltaje para las luces LED de 220 a 12 V para que esta no pueda causar deterioros o sobrecarga del sistema eléctrico.
- ✓ El sistema de iluminación estaba conectado a los tres temporizadores Digital time Switches que funciona directamente con todo el sistema eléctrico; este sistema fue programado para el T1=4 horas encendido y 4 horas apagado hasta cumplir las 24 horas, T3=8 horas encendido y 8 horas apagado hasta cumplir las 24 horas y T2= 12 horas encendido y 12 horas apagado hasta cumplir las 24 horas el cual directamente ya estaba programado automáticamente.

5.2.2.2. Preparación de sustrato

Preparación de bandejas y sustrato, se procedió a colocar el agrofilm como base en las bandejas y del sustrato, se usó bandejas de 50 cm*35 cm, el sustrato preparado fue de acuerdo a la siguiente proporción: Dos partes de turba negra 50%, una parte de tierra negra 25%, una parte de arena fina 25%.

Realizada la mezcla del sustrato se procedió a la desinfección con la pistola calorimétrica pasando por los montones pequeños por un tiempo entre 15 a 20 minutos. Posteriormente se procedió al llenado de las bandejas con el sustrato teniendo el cuidado de que se coloque de una forma homogénea y casi compacta.

5.2.2.3. Trasplante

Se realizó el trasplante a las bandejas preparadas con sustrato para proseguir con su desarrollo, se lo realizó sacando con mucho cuidado cada plántula con su respectivo

montón de tierra de raíz hacia las bandejas con las diferentes densidades, se trató de no maltratar las raíces para que las plántulas puedan tener un desarrollo adecuado y tener los datos finales de la investigación.

5.2.2.4. Riego

La frecuencia de riego se realizó cada dos días en los primeros días de trasplante en todos los tratamientos de igual manera el suelo se ha mantenido a capacidad de campo, ya que la especie requiere de humedad, no se descuidó el riego para tener un mejor desarrollo de las raíces como de la plántula, se realizó el riego manualmente con pequeñas regaderas para evitar el lavado del sustrato de las bandejas y que llegue a lastimar a las plántulas.

5.2.2.5. Deshierbe

En el transcurso del desarrollo de las plántulas no se tuvo presencia significativa de malezas, se puede atribuir a la buena desinfección del sustrato como al tratamiento aplicado, las pocas hierbas que existían fueron eliminadas rápidamente de forma manual, pero, aunque se hubiera omitido esta acción, no existían suficientes malezas para provocar alguna dificultad a las plántulas de menta.

5.2.2.6. Cosecha y toma de datos

- ✓ La cosecha se llevó a cabo después de 20 semanas desde el trasplante de las plántulas.
- ✓ Las muestras se tomaron en el mismo lugar de estudio para la respectiva toma de datos de cualidades físicas como altura de planta, largo de hojas, ancho de hojas, número de hojas por planta, peso total fresco y peso total seco.
- ✓ Para sacar la materia seca se dejó secar por 8 horas al sol.

5.2.2.7. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo bifactorial debido a que se tienen dos factores (tiempos de exposición de luz LED y densidad de siembra), con seis tratamientos y 3 repeticiones, todas las variables fueron sometidas a un análisis de varianza y para determinar la diferencia estadística entre las medias de los tratamientos, se utilizó la prueba de Duncan al 5% de significancia (Calzada, 1982).

5.2.2.8. Modelo aditivo lineal

Se desarrolló en la siguiente expresión Ochoa (2009):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Una observación

μ = Media poblacional

α_i =Efecto del i-ésimo nivel del factor A (tiempos de exposición a luz LED)

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor B (Densidades)

$\alpha\beta_{ij}$ = Interacción de i-ésimo nivel del factor A, con el j-ésimo nivel del factor B

ε_{ijk} = Error experimental

5.2.2.9. Factores de estudio

Tabla 6. Factores de estudio.

| FACTOR A | |
|------------------------------|-------------|
| TIEMPOS DE EXPOSICION | T1 4 horas |
| A LUZ LED | T2 12 horas |
| | T3 8 horas |

| FACTOR B | |
|-------------------|-----------------------------|
| DENSIDADES | D1 6 plantas en una bandeja |
| | D2 8 plantas en una bandeja |

Tabla 7. Factor A y Factor B

| FA | FB | TRAT | R1 | R2 | R3 |
|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| T1 | D1 | 1 | T1 | T1 | T1 |
| | D2 | 2 | T2 | T2 | T2 |
| T2 | D1 | 3 | T3 | T3 | T3 |
| | D2 | 4 | T4 | T4 | T4 |
| T3 | D1 | 5 | T5 | T5 | T5 |
| | D2 | 6 | T6 | T6 | T6 |

5.2.2.10. Tratamientos

Para el presente trabajo de investigación se utilizó seis tratamientos, y cada tratamiento conto con tres repeticiones. Se estudiaron tres tiempos de exposición de iluminación con luz led y dos densidades.

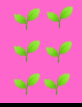






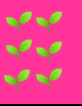


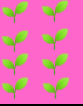




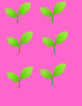
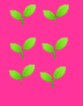

| | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|
| R1 | T1 | T2 | T1 | T2 | T1 | T2 |
| |  |  |  |  |  |  |
| R2 | T3 | T4 | T3 | T4 | T3 | T4 |
| |  |  |  |  |  |  |
| R3 | T5 | T6 | T5 | T6 | T5 | T6 |
| |  |  |  |  |  |  |

Figura 3. Tratamientos y densidades de siembra.

5.2.3. Croquis del experimento

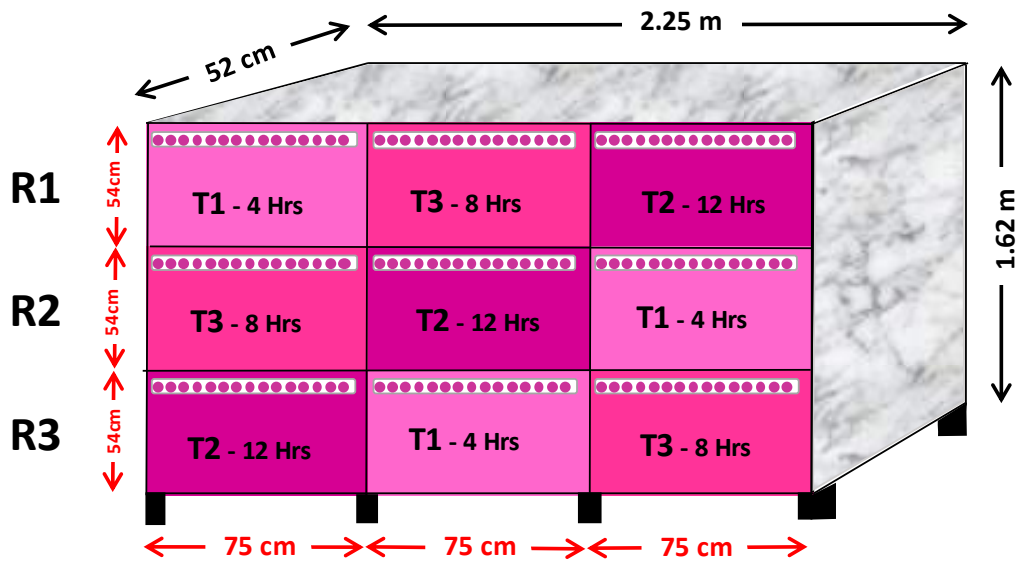


Figura 4. Distribución del FA (frecuencias de iluminación).

5.2.4. Variables de respuesta

5.2.4.1. Altura de la planta (cm)

Para la determinación del crecimiento de la planta se midió el con un flexómetro el día de la cosecha a los 134 días; las unidades empleadas se encuentran en centímetros.

5.2.4.2. Largo de hojas (cm)

Para esta variable se tomó 6 hojas al azar y se midió cada una de ellas con una regla el día de la cosecha a los 134 días, los datos obtenidos están en centímetros.

5.2.4.3. Ancho de hojas (cm)

En esta variable se tomó 6 hojas al azar y se midió cada una de ellas con una regla el día de la cosecha a los 134 días, los datos obtenidos están en centímetros.

5.2.4.4. Número de hojas (N°)

Para evaluar esta variable Hojas por planta se contaron el número de hojas por planta en la etapa de cosecha, a los 134 días después del trasplante.

5.2.4.5. Peso fresco de planta completa (g)

Para la evaluación de esta variable se pesó de materia verde en fresco, se pesaron las muestras de cada tratamiento que fue marbeteado utilizando una balanza. Los valores obtenidos de cada planta se expresaron en (g/planta) después de la cosecha.

5.2.4.6. Peso seco de la planta (g)

Para la determinación de esta variable, se dejó secar al sol por 8 horas posteriormente se realizó el pesaje de las plantas en una balanza en gramos, se determinó el porcentaje de peso seco de cada planta en promedio.

5.2.4.7. Velocidad de crecimiento (días)

Para esta variable se calculó los días del trasplante entre los días de la cosecha y así obtener el porcentaje de crecimiento.

5.3. Análisis económico

Para determinar el análisis económico del presente trabajo de investigación se realizó de acuerdo a los siguientes parámetros:

5.3.1. Costos fijos

Para determinar los costos fijos en el presente trabajo se tomó en cuenta las depreciaciones del equipo de la estructura de las herramientas y de los materiales debido a su uso.

5.3.2. Costos variables

Para establecer los costos variables para el estudio se tomaron en cuenta los siguientes: Preparación del terreno, mano de obra empleado para labores culturales y para la cosecha, compra de insumos turba y un imprevisto del 10 %.

5.3.3. Costo total de producción

Para determinar el costo total de producción se sumó los costos fijos y los costos variables correspondientes a todo el proceso productivo. Costo total de producción (Bs/m^2) = Costos fijos + Costos variables.

5.3.4. Valor bruto de la producción

El valor bruto de la producción se calculó multiplicando el rendimiento ajustado al 10 % y el precio del producto, para cada tratamiento. Valor bruto (Bs/m^2) = Rendimiento ajustado * Precio del producto.

5.3.5. Ingreso neto y/o ganancia

Este valor fue obtenido restando el costo total de producción del valor bruto de la producción. Ingreso neto (Bs/m^2) = Valor bruto de producción – Costo total de producción.

5.3.6. Relación beneficio costo B/C

La relación Beneficio/Costo se calculó dividiendo el valor bruto de la producción y el costo total de la producción. $B/C = \text{Valor bruto de producción} / \text{Costo total de producción}$.

5.4. Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza, donde se utilizó el software InfoStat, versión 10.1.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables Alternas

6.1.1. Registro de temperatura

El comportamiento de las temperaturas registradas en el área de estudio durante los meses en el que se realizó el periodo de estudio, el registró de datos mostro que las temperaturas mínimas van en descenso comenzando con el mes de agosto que presenta una mínima de $0^{\circ}C$ para luego terminar en el mes de diciembre con una mínima de $5^{\circ}C$, se observó que los datos de los otros meses se encuentran entre estos dos rangos y van en ascenso.

También se observó que las temperaturas máximas registradas presentan una moderada variación con respecto de la otra como ejemplo el mes agosto presenta una máxima de $17^{\circ}C$ comparando con el mes de diciembre que muestra una máxima de $21^{\circ}C$, viendo estos datos verificaremos que los otros meses no varían mucho con respecto a las temperaturas máximas.

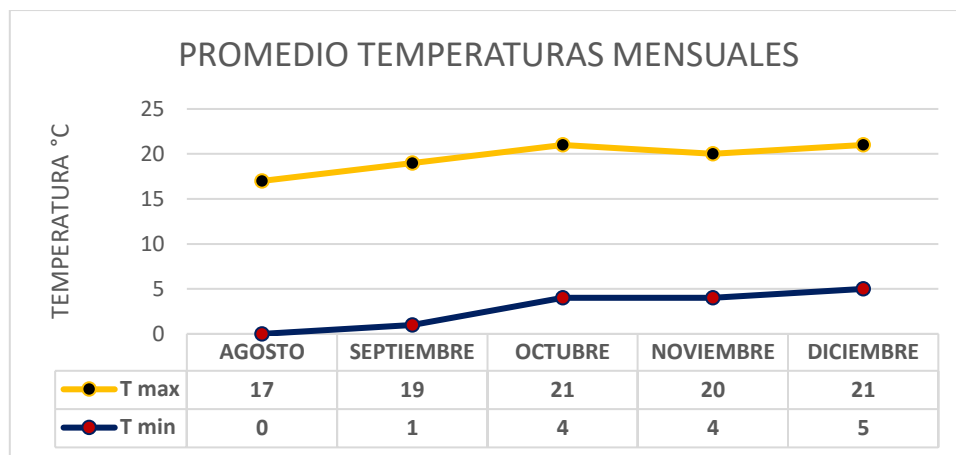


Figura 5. Temperaturas del ambiente durante la investigación.

Fuente: Elaboración propia (2022).

Al respecto Hartman (1990) señala que el índice de temperatura óptima media mensual es de 13 a 18 °C con una máxima de 21 a 24 °C y una mínima de 5 °C, para el cultivo de las hortalizas. Según este comportamiento de la temperatura el mismo autor indica que la temperatura al interior del ambiente protegido depende en gran medida, por la radiación solar que llega a la construcción y por la impermeabilidad de los materiales de recubrimiento.

6.1.2. Características físicas y químicas del suelo

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Laboratorio de la Facultad de Agronomía en suelos y aguas LAFASA, presenta los siguientes resultados:

Tabla 8. Análisis físico – químico del suelo.

| PARAMETRO | UNIDAD | RESULTADO |
|-------------------------------------|-------------|----------------|
| Clase textural | - | Franco Arenoso |
| pH | - | 4.63 |
| Conductividad eléctrica en agua 1:5 | mmho/cm | 2.23 |
| Nitrógeno disponible | % | 0.94 |
| Fosforo disponible | ppm | 230.2 |
| Potasio disponible | meq/100g S. | 1.02 |

Fuente: LAFASA (2022).

De acuerdo al análisis físico-químico de la muestra de suelo enviado al laboratorio LAFASA, se observa en la tabla 8, que presenta una textura franco arenoso, con diferentes proporciones de arena 57%, arcilla 16% y limo 27%, considerada moderadamente liviana, teniendo también un pH de 4,63 ácido que se encuentra en un rango aceptable (5,5 a 7,5) para el desarrollo del cultivo de la menta. Cabe señalar que la conductividad eléctrica que presenta el suelo es de 2,23 dS/m lo que nos indica que existe un ligero problema de sales.

Cabe mencionar también que el análisis mostró que el suelo tiene tanto los macro elementos como el N, P, K, como los micro elementos que son indispensables para un cultivo (Condori, 2004) manifiesta que no debe de olvidarse que la asimilación de nutrientes por la planta depende de muchos factores como ser la temperatura, la humedad y la vida microbiana en el suelo.

6.2. Variables agronómicas

6.2.1. Variable altura de planta (cm)

En la tabla 9, se muestra el análisis de varianza para la variable altura de planta, en la cual nos muestra un coeficiente de variación $CV = 9,34\%$ el cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación por Ochoa (2009), el cual indica la confiabilidad de los resultados y el buen manejo de las unidades experimentales durante el trabajo de investigación.

Tabla 9. ANVA variable Altura de Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Sumatoria de Cuadrados | Cuadrado Medio | P-Valor | Significancia |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|---------|---------------|
| Frecuencia | 2 | 131.74 | 65.87 | 0.0220 | * |
| Densidades | 1 | 0.20 | 0.20 | 0.9017 | NS |
| Frecuencia*densidad | 2 | 10.59 | 5.30 | 0.6608 | NS |
| Error Experimental | 12 | 148.15 | 12.35 | | |
| Total | 17 | 290.68 | | | |
| Coeficiente de Variabilidad | | 9.34% | | | |

** : Altamente significativo; * : significativo; NS: no significativo

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el análisis de varianza presentado en la tabla 9, se observan los siguientes resultados:

Para el factor A se demostró estadísticamente que el resultado fue significativo, lo que nos indica que, al utilizar las diferentes frecuencias de luz LED, existe un efecto directo en la altura de la planta de menta.

Según López (2018) menciona que el proceso más importante que desencadena la luz en las plantas es la fotosíntesis. La fotosíntesis es un proceso que usan las plantas para producir el alimento que les ayuda a acumular más material para la planta. Mientras más rápida sea la velocidad de la fotosíntesis, más rápido crecerá la planta.

El mismo autor menciona que, cuando llega menor luz reduce la velocidad de la fotosíntesis y afecta el desarrollo de las plantas ya que la luz ultra violeta provoca la elongación de la planta.

Para el factor B se demostró que en las densidades de siembra el resultado es no significativo, lo cual significa que entre las dos densidades no existe diferencias significativas en la altura de planta.

Para la interacción de los dos factores (frecuencia * densidad) el resultado es no significativo lo cual nos indica que al interactuar los tiempos de iluminación y las densidades no habrá efecto directo en el desarrollo de la altura de la planta.

Por tanto, podemos mencionar que las mentas que se encontraron expuestas a menor tiempo recibieron menor cantidad de luz lo que ocasionó una menor elongación de la planta que los demás que estuvieron expuestos a mayor tiempo de iluminación LED.

Tabla 10. Comparación de medias y prueba Duncan para el factor A en altura de planta de la menta.

| Factor A Frecuencia | Promedio altura de planta (cm) | Prueba de Duncan 5% |
|---------------------|--------------------------------|---------------------|
| T2=12hrs | 40.48 | A |
| T3=8 hrs | 38.36 | AB |
| T1= 4 hrs | 33.98 | B |

Fuente: Elaboración propia (2022).

La tabla 10, estadísticamente indica que existe diferencias entre los tiempos de iluminación, reportándonos que en el T2 con 12 horas obtuvo un mayor desarrollo con una media de 40.48 cm de altura, y el T3 de 8 horas con una media de 38.36 cm de altura, por lo tanto, el que obtuvo el menor valor fue el T1 con 4 horas con una media de 33.98 cm de altura y esto probablemente nos indica que a mayor exposición de luz mayor será la altura de la planta.

Según Guerra (2010) se muestra en los resultados, la variación de los promedios de altura de planta de menta no ha estado ligado directamente a los efectos de las densidades de siembra puestos a evaluación, esto se pueden atribuir a factores que pueden ser la naturaleza de la especie, lo que puede ser de aspecto genético, fisiológico o fenotípico, que hayan contribuido de forma más notable en las modificaciones de los promedios de la altura de planta en el cultivo de la menta.

De acuerdo a los resultados se aprecia que para esta variable los efectos de la densidad de siembra no repercutieron sobre las variaciones u modificaciones encontradas en la altura de planta, sin embargo, se atribuyen a otros factores, como resultan ser la luminosidad, su adaptación fácil a suelos ligeros, también puede atribuirse a factores desfavorable para el cultivo, como suelos con agua estancada, ello puede haber contribuido en la mayoría de las variable evaluadas en el ensayo, esto confirma lo que menciona Muñoz (2000).

Según Orellana (2013) el mejor promedio de hierba buena obtuvo la dosis de 80 Kg de N /ha alcanzado promedios de 13,6 cm a los 15 días, 14,3 cm a los 30 días y 18,0 cm a los 45 días. En relación al testigo que presento promedios de 7,0 cm a los 15 días, 7,6 cm a los 30 días y 9,0 cm a los 45 días.

De acuerdo a Terán (2013) obtuvo dos rangos de significación estadística. Se ubicó en el primer rango con un promedio de 44.94 cm de altura; en tanto que en segundo rango con un promedio de 38.78 cm de altura.

En el presente trabajo de investigación se observó un promedio menor a los registrados por Orellana y Terán para la presente variable, podemos distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato de 40.48 cm de altura por muestra. Atribuimos este valor a los factores empleados como fueron los niveles de tiempos de exposición a luz LED y densidades siendo una respuesta favorable para el crecimiento de la planta.

6.2.2. Variable largo de hoja (cm)

En la tabla 11, se muestra el análisis de varianza para la variable largo de hoja, en la cual nos muestra un coeficiente de variación $CV = 4,64 \%$ el cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación, el cual indica la confiabilidad de los resultados y el buen manejo de las unidades experimentales durante el trabajo de investigación.

Tabla 11. ANVA variable Largo de Hojas resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Sumatoria de Cuadrados | Cuadrado Medio | P-Valor | Significancia |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|---------|---------------|
| Frecuencia | 2 | 2.41 | 1.20 | 0.0001 | * |
| Densidades | 1 | 0.05 | 0.05 | 0.3569 | NS |
| Frecuencia*densidad | 2 | 0.01 | 0.0031 | 0.9405 | NS |
| Error Experimental | 12 | 0.60 | 0.05 | | |
| Total | 17 | 3.06 | | | |
| Coeficiente de Variabilidad | | 4.64% | | | |

** : Altamente significativo; * : significativo; NS: no significativo

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el análisis de varianza presentado en la tabla 11, se observan los siguientes resultados:

Para el factor A se demostró estadísticamente que el resultado fue significativo, lo que nos indica que, al utilizar las diferentes frecuencias de luz LED, existe un efecto directo en el largo de la hoja.

Para el factor B se demostró que en las densidades de siembra el resultado es no significativo, lo cual significa que entre las dos densidades no existe diferencias significativas en la variable largo de la hoja.

Para la interacción de los dos factores (frecuencia * densidad) el resultado es no significativo lo cual nos indica que al interactuar los tiempos de iluminación y las densidades no habrá efecto directo en la variable largo de la hoja.

Esto es porque podemos mencionar que las mentas casi reciben la misma luminosidad, lo que permite que todas las plantas puedan tener la misma velocidad de fotosíntesis y puedan desarrollarse homogéneamente con respecto al largo de las hojas.

Tabla 12. Comparación de medias y prueba Duncan para el factor A del largo de la hoja de menta.

| Factor A Frecuencia | Promedio largo de hoja (cm) | Prueba de Duncan 5% |
|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| T3=8 hrs | 5.12 | A |
| T2=12 hrs | 5.05 | A |
| T1= 4 hrs | 4.31 | B |

Fuente: Elaboración propia (2022).

La tabla 12, estadísticamente indica que existe diferencias entre los tiempos de iluminación, reportándonos que en el T3 con 8 horas obtuvo un mayor desarrollo con una media de 5.12 cm/hoja, y el T2 de 12 horas con una media de 5.05 cm/hoja, por lo tanto, el que obtuvo el menor valor fue el T1 con 4 horas con una media de 4.31 cm/hoja esto probablemente nos indica que a mayor exposición de luz mayor será el largo de la hoja muestreada respectivamente a cada nivel.

Según Rojas (2014) se puede observar su comportamiento vegetativo de la hierba buena en un lapso de 30, 60 y 90 días. En cuanto a la longitud de las hojas que tuvieron un comportamiento de 2.06 cm de longitud, la menta tiene hojas opuesta dentadas de 2.5 a 4 cm de largo, por lo que se puede observar y decir que en el cuadro los valores promedios se encuentran dentro de lo mencionado.

En el presente trabajo de investigación se observó un promedio mayor a los registrados por Rojas (2014) para la presente variable, podemos distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato de 5.12 cm de largo de hoja. Atribuimos este valor a los factores empleados como fueron los niveles de tiempos de iluminación y densidades siendo una respuesta favorable para el desarrollo de las hojas.

6.2.3. Variable ancho de hojas (cm)

En la tabla 13, se muestra el análisis de varianza para la variable ancho de hoja, en la cual nos muestra un coeficiente de variación $CV = 3,98 \%$ el cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación, el cual indica la confiabilidad de los resultados y el buen manejo de las unidades experimentales durante el trabajo de investigación.

Tabla 13. ANVA variable Ancho de hojas resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Sumatoria de Cuadrados | Cuadrado Medio | P-Valor | Significancia |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|---------|---------------|
| Frecuencia | 2 | 0.44 | 0.22 | 0.0001 | * |
| Densidades | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.2271 | NS |
| Frecuencia*densidad | 2 | 0.04 | 0.02 | 0.1469 | NS |
| Error Experimental | 12 | 0.11 | 0.01 | | |
| Total | 17 | 0.61 | | | |
| Coeficiente de Variabilidad | | 3.98% | | | |

** : Altamente significativo; * : significativo; NS: no significativo

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el análisis de varianza presentado en la tabla 13, se observan los siguientes resultados:

Para el factor A se demostró estadísticamente que el resultado fue significativo, lo que nos indica que, al utilizar las diferentes frecuencias de luz LED, existe un efecto directo en el ancho de las hojas.

Para el factor B se demostró que en las densidades de siembra el resultado es no significativo, lo cual significa que entre las dos densidades no existe diferencias significativas en el ancho de las hojas.

Para la interacción de los dos factores (frecuencia * densidad) el resultado es no significativo lo cual nos indica que al interactuar los tiempos de iluminación y las densidades no habrá efecto directo en el desarrollo en el ancho de la hoja.

Esta luz no afecta la cantidad de agua que las plantas retienen. Es el principal responsable del crecimiento de la hoja vegetativa. Estimula la producción de clorofila y las reacciones fotosintéticas. Y se manifiesta dando plantas cortas y con entrenudos también cortos, fuertes y vigorosos. Su ausencia de iluminación proporciona plantas enfermizas, delgadas y delicadas.

Tabla 14. Duncan para la comparación de medias del factor A

| Factor A Frecuencia | Promedio ancho de hoja (cm) | Prueba de Duncan 5% |
|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| T3= 8 hrs | 2.51 | A |
| T2=12 hrs | 2.45 | A |
| T1=4 hrs | 2.15 | B |

Fuente: Elaboración propia (2022).

La tabla 14, estadísticamente indica que existe diferencias entre los tiempos de iluminación, reportándonos que en el T3 con 8 horas obtuvo un mayor desarrollo con una media de 2.51 cm de ancho de la hoja/planta, y el T2 de 12 horas con una media de 2.45 cm de ancho de la hoja/planta, por lo tanto, el que obtuvo el menor valor fue el T1 con 4 horas con una media de 2.15 cm de ancho de la hoja/planta, esto probablemente nos indica que a mayor exposición de luz mayor será el ancho de la hoja muestreada.

Según Membreño (2019) en su investigación tuvo un comportamiento similar en la combinación de suelo y combinación de sustratos con 1.50 cm de ancho y 1.57 cm de ancho. Según Rojas (2014), la menta tiene hojas opuesta dentadas de 1.5 a 3 cm de ancho de base redondeada, por lo que se puede observar y decir que en el cuadro los valores promedios se encuentran dentro de lo mencionado.

En el presente trabajo de investigación se observó un promedio mayor a los registrados por Membreño y Rojas para la presente variable, podemos distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato de 2.51 cm de ancho de hoja contadas por muestra. Atribuimos este valor a los factores empleados como fueron los niveles de tiempos de exposición de luz LED y densidades, siendo la respuesta de estas favorables para la formación de hojas.

6.2.4. Variable número de hojas por planta (N°)

En la tabla 15, se muestra el análisis de varianza para la variable número de hojas por planta, en la cual nos muestra un coeficiente de variación $CV = 6,94 \%$ el cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación, el cual indica la confiabilidad de los resultados y el buen manejo de las unidades experimentales durante el trabajo de investigación.

Tabla 15. ANVA variable número de hojas por Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Sumatoria de Cuadrados | Cuadrado Medio | P-Valor | Significancia |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|---------|---------------|
| Frecuencia | 2 | 17.19 | 8.60 | 0.0119 | * |
| Densidades | 1 | 0.03 | 0.03 | 0.8799 | NS |
| Frecuencia*densidad | 2 | 16.58 | 8.29 | 0.0134 | * |
| Error Experimental | 12 | 15.75 | 1.31 | | |
| Total | 17 | 49.56 | | | |
| Coeficiente de Variabilidad | | 6.94% | | | |

** : Altamente significativo; * : significativo; NS: no significativo

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el análisis de varianza presentado en la tabla 15, se observan los siguientes resultados:

Para el factor A (frecuencias) se demostró estadísticamente que el resultado fue significativo, lo que nos indica que, al utilizar las diferentes frecuencias de luz LED, existe un efecto directo en el número de hojas.

Lo cual podemos decir que el número de hojas dependerá de la frecuencia de iluminación, ya que la luz actúa sobre la asimilación del carbono, la temperatura de las hojas y en el balance hídrico, y crecimiento de los órganos y tejidos, principalmente en el desarrollo y curvatura de los tallos, así como en la expansión de las hojas.

Para el factor B (densidades), estadísticamente se obtuvo un resultado no significativo lo cual nos indica que las densidades de siembra no tuvieron efecto directo en el número de hojas en estudio.

Para la interacción de los factores (frecuencia*densidad) se obtuvo un resultado significativo lo cual nos indica que, al interactuar los tiempos de iluminación y las densidades de siembra, hay un efecto directo en el número de hojas.

Tabla 16. Duncan para la comparación de medias del factor A

| Factor A Frecuencia | Promedio número de hojas (N°) | Prueba de Duncan 5% |
|------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| T1= 4 hrs | 17.88 | A |
| T3= 8 hrs | 16.04 | B |
| T2= 12 hrs | 15.63 | B |

Fuente: Elaboración propia (2022).

La tabla 16, estadísticamente indica que existe diferencias entre los tiempos de iluminación, reportándonos que en el T1 con 4 horas obtuvo un mayor desarrollo con una media de 17.88 hojas/planta, y el T3 de 8 horas con una media de 16.04 hojas/planta, por lo tanto, el que obtuvo el menor valor fue el T2 con 12 horas con una media de 4.31 hojas/planta esto probablemente nos indica que a menor exposición de luz mayor será el desarrollo de número de hojas por planta.

Tabla 17. Duncan para la comparación de medias del factor A

| Factor A Frecuencia | Factor B Densidad | Promedio número de hojas | Prueba de Duncan 5% |
|------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------|
| T1 | D1 | 18.92 | A |
| T3 | D2 | 17.33 | AB |
| T1 | D2 | 16.83 | ABC |
| T2 | D1 | 15.75 | BC |
| T2 | D2 | 15.50 | BC |
| T3 | D1 | 14.75 | C |

Fuente: Elaboración propia (2022).

Del cuadro anterior en la prueba Duncan dada la significancia en la variable interacción se realizó la prueba de medias Duncan, indicando que la combinación estadísticamente superior es la T1D1 con un promedio de 18.92 hojas/planta contrariamente la combinación T3D1 genera el menor promedio de 14.75 hojas/planta. La interacción indicó que existe influencia entre los niveles del factor A (tiempos de exposición) y factor B (densidades) en las unidades de la variable número de hojas.

Según el trabajo realizado se observa en los resultados, que los promedios son iguales estadísticamente, y se atribuye a que este parámetro está ligado al crecimiento vegetativo de la planta, que está asociado básicamente a la formación de los meristemas como consecuencia natural de la planta que busca asimilar los nutrientes necesarios, para garantizar su crecimiento y su producción, según las condiciones agrológicas en que se encuentre la planta; tal como lo indica (Muñoz,2000).

De acuerdo con Torrez (2013) obtuvo un promedio de número de hojas por planta en la respuesta de la menta (*Mentha piperita* L.) a dos distancias de siembra con dos abonos orgánicos más compuestos minerales a tres dosis obtuvo como promedios en primer rango, con 17.79 hojas/planta, esto se debe a que la planta tuvo suficiente alimento para desarrollar los brotes, el segundo lugar con 15.71 hojas/planta, posiblemente esto se debió a que los nutrientes de este producto no estuvieron suficientemente disponibles para su asimilación.

En el presente trabajo de investigación se observó un promedio mayor a los registrados por Torres (2013) para la presente variable, podemos distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato de 18.92 hojas contadas por muestra. Atribuimos este valor a los factores empleados como fueron los niveles de tiempos de exposición a la luz Led y densidades siendo una respuesta favorable para la formación de la planta.

6.2.5. Variable peso total fresco (g)

En la tabla 18, se muestra el análisis de varianza para la variable peso total fresco, en la cual nos muestra un coeficiente de variación $CV = 2,05 \%$ el cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación, el cual indica la confiabilidad de los resultados y el buen manejo de las unidades experimentales durante el trabajo de investigación.

Tabla 18. ANVA variable peso total fresco resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Sumatoria de Cuadrados | Cuadrado Medio | P-Valor | Significancia |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|---------|---------------|
| Frecuencia | 2 | 431.69 | 215.85 | 0.0117 | * |
| Densidades | 1 | 26542.08 | 26542.08 | 0.0001 | * |
| Frecuencia*densidad | 2 | 193.29 | 96.65 | 0.0908 | * |
| Error Experimental | 12 | 393.17 | 32.76 | | |
| Total | 17 | 27560.24 | | | |
| Coeficiente de Variabilidad | | 2.05% | | | |

** : Altamente significativo; * : significativo; NS : no significativo

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el análisis de varianza presentado en la tabla 18, se observan los siguientes resultados:

Para el factor A se demostró estadísticamente que el resultado fue significativo, lo que nos indica que, al utilizar las diferentes frecuencias de luz LED, existe un efecto directo con respecto al rendimiento del peso total fresco de la menta.

Esto debido a que cuando existe mayor frecuencia de iluminación cumple la demanda que tiene la planta y por tanto su desarrollo será satisfactorio.

Para el factor B se demostró que en las densidades de siembra el resultado es significativo, hay efectos directos con respecto al peso total fresco.

Para la interacción de los dos factores (frecuencia * densidad) el resultado es significativo lo cual nos indica que, al interactuar los tiempos de iluminación y las densidades, nos permitirá observar que en los resultados habrá efectos directos en el peso total fresco de la planta.

Por tanto, podemos mencionar que las mentas que se encontraron expuestas a menor espectro de la radiación recibida puede afectar propiedades como el aspecto y el momento de la floración, por ejemplo, para plantas con aplicaciones medicinales, puede afectar al sabor, olor y valor farmacéutico o nutricional.

Tabla 19. Duncan para la comparación de medias del factor A

| Factor A Frecuencia | Promedio peso total fresco(g) | Prueba de Duncan 5% |
|--------------------------------|--|--------------------------------|
| T2=12 horas | 283.70 | A |
| T1=4 horas | 282.67 | A |
| T3=8 horas | 272,83 | B |

Fuente: Elaboración propia (2022).

En la tabla 19, se aprecia la diferencia que existe entre el tiempo de exposición de luz LED de (12 y 8 horas) esto puede ser al mayor tiempo de absorción de la luz LED por parte de la planta que motivo el crecimiento foliar, siendo un promedio de 283.70 gramos de peso total fresco. Lo contrario ocurre con el T3 de 8 horas de exposición de luz siendo un promedio de 272.83 gramos de peso total fresco, demostrando que requiere más cuidados en cuando al manejo.

Tabla 20. Duncan para la comparación de medias del factor B

| Factor B | Promedio peso total fresco(g) | Prueba de Duncan 5% |
|------------|-------------------------------|---------------------|
| Densidad 8 | 318.13 | A |
| Densidad 6 | 241.33 | B |

Fuente: Elaboración propia (2022).

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad de la tabla 20, indica que las densidades de 8 y 6 plantas por bandeja si existe una diferencia significativa teniendo como resultado promedio similar, teniendo una respuesta satisfactoria a la variable en estudio.

Tabla 21. Duncan para la comparación de medias del factor A y factor B

| Factor A Frecuencia | Factor B Densidad | Promedio peso total fresco(g) | Prueba de Duncan 5% |
|---------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------|
| T1 | D2 | 325.33 | A |
| T2 | D2 | 318.40 | AB |
| T3 | D2 | 310.67 | B |
| T2 | D1 | 249.00 | C |
| T1 | D1 | 240.00 | CD |
| T3 | D1 | 235.00 | D |

Fuente: Elaboración propia (2022).

Del cuadro anterior en la prueba Duncan dada la significancia en la variable interacción se realizó la prueba de medias Duncan, indicando que la combinación estadísticamente superior es la T1D2 con un promedio de 325.33 g/planta contrariamente la combinación T3D1 genera el menor promedio de 235.00 g/planta. La interacción indicó que existe influencia entre los niveles del factor A (tiempos de exposición) y factor B (densidades) en las unidades de la variable peso total fresco.

Los resultados muestran que los promedios obtenidos fueron estadísticamente iguales, o sea que los efectos a causa de las densidades de siembra sometidas a prueba repercutieron sobre el peso del follaje, y que si se puede atribuirá la competencia de

iluminación que se encuentra en el follaje y que tiene mucho que ver con los aceites esenciales que se encuentran en las hojas y que puede ser el factor principal de las variaciones encontradas para esta variable, tal como lo manifiestan autores como (Santander 1992 y Muñoz 2000).

De acuerdo a Inpofos (1997) en sus resultados de investigación, llegó a un rendimiento promedio de 5.11 t/ha. manifiesta al respecto que, al incrementar la humedad hasta niveles óptimos, hace que los nutrientes estén más disponibles y asimilables para la planta. Probablemente la falta de humedad en el terreno por ausencia de lluvias y ausencia de agua en los canales de riego, limitó el incremento de biomasa, reflejándose en una baja productividad.

Torrez (2003) obtuvo los rendimientos de *Mentha piperita* L., que es el resultado oscila de 7 a 10 t/ha de materia verde en el primer corte. En esta investigación se obtuvo en la interacción de un promedio de 7.15 t/ha de materia verde en el primer corte, que resulta muy significativo, dado que en países de cuatro estaciones se logra tener dos cosechas al año.

En el presente trabajo de investigación se observó un promedio menor a los registrados por Inpofost y Muñoz para la presente variable, podemos distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato de 325.33 gr pesados por muestra. Atribuimos este valor a los factores empleados como fueron los niveles de tiempos de exposición a luz LED y densidades, siendo una respuesta desfavorable para el rendimiento del cultivo.

6.2.6. Variable peso total seco (g)

En la tabla 22, se muestra el análisis de varianza para la variable peso total seco, en la cual nos muestra un coeficiente de variación $CV = 22,34 \%$ el cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación, el cual indica la confiabilidad de los resultados y el buen manejo de las unidades experimentales durante el trabajo de investigación.

Tabla 22. ANVA variable peso total seco de Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Sumatoria de Cuadrados | Cuadrado Medio | P-Valor | Significancia |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|---------|---------------|
| Frecuencia | 2 | 2.08 | 1.04 | 0.0105 | * |
| Densidades | 1 | 0.68 | 0.68 | 0.0565 | * |
| Frecuencia*densidad | 2 | 0.53 | 0.26 | 0.2192 | NS |
| Error Experimental | 12 | 1.83 | 0.15 | | |
| Total | 17 | 5.13 | | | |
| Coeficiente de Variabilidad | | 22.34% | | | |

** : Altamente significativo; * : significativo; NS: no significativo

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el análisis de varianza presentado en la tabla 22, se observan los siguientes resultados:

Para el factor A se demostró estadísticamente que el resultado fue significativo, lo que nos indica que, al utilizar las diferentes frecuencias de luz LED, existe un efecto directo en el peso total seco.

Para el factor B se demostró que en las densidades de siembra el resultado es significativo, lo cual significa que entre las densidades existe diferencias significativas en el peso seco de la planta.

Para la interacción de los dos factores (frecuencia * densidad) el resultado es no significativo lo cual nos indica que al interactuar los tiempos de iluminación y las densidades no habrá efecto directo en la variable peso total seco.

Tabla 23. Duncan para la comparación de medias del factor A

| Factor A Frecuencias | Promedio peso total seco(g) | Prueba de Duncan 5% |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| T2= 12 hrs | 2.17 | A |
| T1= 4 hrs | 1.75 | AB |
| T3= 8 hrs | 1.33 | B |

Fuente: Elaboración propia (2022).

Del cuadro anterior en la prueba Duncan para el factor A, tiempos de exposición, para la variable peso seco por planta se obtuvo mayor promedio de tiempos de exposición 12 horas (T2) con una media de 2.17 g de peso seco por planta muestreada, los restantes promedios alcanzaron un promedio menor que los agrupa estadísticamente al tiempo de 4 horas (T1) y al tiempo de 8 horas (T3) alcanzando promedios de plantas contadas por planta muestreada de 1.75 g y 1.33 g respectivamente a cada nivel.

Tabla 24. Duncan para la comparación de medias del factor B

| Factor B Densidades | Promedio peso total seco(g) | Prueba de Duncan 5% |
|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 8 plantas | 2.17 | A |
| 6 plantas | 1.75 | AB |

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el cuadro de análisis de varianza para la fuente de variabilidad Densidad de plantas, con diferencias significativas en los promedios de peso total seco por planta muestreada, indica que de las dos densidades presentan estadísticamente un promedio distinto al resto.

De acuerdo con Torrez (2013) la respuesta que tuvo la producción de materia seca de 3 a 4 t/ha en su investigación y un promedio de 1.71 t/ha de materia seca en el primer corte, que es sin embargo muy bueno dado a las condiciones climáticas que tiene la zona (Muñoz, 1987).

Según Zambrano (2013) muestra los siguientes resultados con un promedio de 12,72 kg de materia seca de hojas y un promedio de 11,45 kg de materia seca de hojas por hectárea, existiendo una diferencia entre dos tratamientos de 66, 27 kg de materia seca de hojas por hectárea.

En el presente trabajo de investigación se observó un promedio menor a los registros por Torres y Zambrano para la presente variable, podemos distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato de 2.17 gr pesadas por muestra. Atribuimos este valor a los factores

empleados como fueron los niveles de tiempos de exposición a la luz LED y densidades siendo una respuesta desfavorable para la formación de la planta.

6.2.7. Variable velocidad de crecimiento (días)

En la tabla 25, se muestra el análisis de varianza para la variable velocidad de crecimiento, en la cual nos muestra un coeficiente de variación $CV = 17,52 \%$ el cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación, el cual indica la confiabilidad de los resultados y el buen manejo de las unidades experimentales durante el trabajo de investigación.

Tabla 25. ANVA variable velocidad de crecimiento de Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

| Fuente de Variación | Grados de Libertad | Sumatoria de Cuadrados | Cuadrado Medio | P-Valor | Significancia |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------|---------|---------------|
| Frecuencia | 2 | 0.01 | 0.01 | 0.0309 | * |
| Densidades | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.9999 | NS |
| Frecuencia*densidad | 2 | 0.0016 | 0.0008 | 0.6116 | NS |
| Error Experimental | 12 | 0.02 | 0.0016 | | |
| Total | 17 | 0.04 | | | |
| Coeficiente de Variabilidad | | 17.52% | | | |

** : Altamente significativo; * : significativo; NS : no significativo

Fuente: Elaboración propia (2022).

En el análisis de varianza presentado en la tabla 25, se observan los siguientes resultados:

Para el factor A se demostró estadísticamente que el resultado fue significativo, lo que nos indica que, al utilizar las diferentes frecuencias de luz LED, existe un efecto directo en la velocidad de crecimiento.

Mientras más rápida sea la velocidad de la fotosíntesis, más rápido crecerá la planta.

Para el factor B se demostró que en las densidades de siembra el resultado es no significativo, lo cual significa que entre las densidades no existe diferencias significativas en la variable velocidad de crecimiento.

Para la interacción de los dos factores (frecuencia * densidad) el resultado es no significativo lo cual nos indica que al interactuar los tiempos de iluminación y las densidades no habrá efecto directo en la velocidad de crecimiento de la planta.

Tabla 26. Duncan para la comparación de medias del factor A

| Factor A Frecuencia | Promedio velocidad de crecimiento | Prueba de Duncan 5% |
|--------------------------------|--|--------------------------------|
| T2=12 hrs | 0.26 | A |
| T3=8 hrs | 0.23 | AB |
| T1=4 hrs | 0.19 | B |

Fuente: Elaboración propia (2022).

Del cuadro anterior en la prueba Duncan para el factor A, tiempos de exposición, para la variable velocidad de crecimiento se agrupan los promedios obtenidos en dos, de mayor promedio de tiempos de exposición 12 horas (T2) con un promedio de 0.26 mm de velocidad de crecimiento por planta muestreada, los restantes promedios alcanzaron un promedio menor que los agrupa estadísticamente al tiempo de 8 horas (T3) y al tiempo de 4 horas (T1) alcanzando promedios de días de crecimiento por planta muestreada de 0.23 y 0.19 mm respectivamente a cada nivel.

Las buenas condiciones climáticas y edáficas, tanto estructurales como nutricionales, aseguran un buen crecimiento foliar, permiten al cultivo alcanzar y mantener una buena captación de radiación solar y una alta eficiencia de conservación de la radiación interceptada en biomasa (Fajardo, 2011).

Cabe aclarar que el promedio de días a la cosecha en general es precoz, esto se debió posiblemente porque las plantas trasplantadas en el campo experimental, fueron maduras (1 año), beneficiando en esta manera, una cosecha en el menor número de días, que el período vegetativo de la menta es 120 días; mientras que Terán, (2009), lo estableció en 110, 92 y 90 días en tres cosechas consecutivas.

En el presente trabajo de investigación el número de días a la cosecha fue de 134 días hábiles contando desde el día de trasplante y solo se realizó un solo corte ya que los factores empleados fueron los tiempos de exposición a luz Led y las densidades fueron una respuesta favorable para el crecimiento de la planta y obtuvo buenos resultados en un ambiente controlado.

6.3. Variables económicas

6.3.1. Evaluación económica

En los resultados obtenidos de la investigación y el respectivo análisis estadístico, es esencial la relación del análisis económico de los resultados, para realizar recomendaciones más adecuadas, combinados los aspectos agronómicos y económicos más favorables de la investigación. La evaluación económica nos permite proporcionar parámetros claros para determinar la rentabilidad o no de un tratamiento, para realizar un cambio tecnológico en nuestro sistema de producción, en este caso el cultivo de menta producida.

6.3.2. Beneficio bruto

Para calcular el beneficio bruto se toma en cuenta el rendimiento ajustado, y no de las pérdidas de producción comerciales, durante el manejo del cultivo en el momento de la cosecha que es un 10%, restándolo del rendimiento del cultivo que se comercializa a un precio de 5 bs tomando en cuenta que es un producto orgánico.

Puesto que el precio de menta de 50 gramos = 2.30 Bs. según BIOMARKET Facultad de Agronomía (2022). Estos resultados se deben principalmente al rendimiento que se obtuvo en los diferentes tratamientos influidos por el rendimiento por planta.

6.3.3. Costos variables

Los costos variables son los costos relacionados con los insumos utilizados, en este caso se toma en cuenta el precio de cada esqueje que fue uno de los factores que variaron en el presente estudio.

Tabla 27. Costos variables.

| Tratamientos | Costos variables (Bs/m²) |
|----------------------|--|
| Tratamiento 1 | 149.3 |
| Tratamiento 2 | 156.5 |
| Tratamiento 3 | 149.3 |
| Tratamiento 4 | 156.5 |
| Tratamiento 5 | 149.3 |
| Tratamiento 6 | 156.5 |

Fuente: Elaboración propia (2022).

6.3.4. Beneficio neto

Es el valor de todos los beneficios brutos de la producción menos los costos variables Como se muestra el mayor beneficio neto es del tratamiento 2 con 51,10 Bs/m², y el que menor beneficio neto fue el tratamiento 4 con 14,42 Bs/m².

Tabla 28. Beneficio neto.

| Tratamientos | Beneficio bruto(Bs/m²) | costos variables (Bs/m²) | Beneficio costo (Bs/m²) |
|----------------------|--|--|---|
| Tratamiento 1 | 108 | 149.3 | 41.3 |
| Tratamiento 2 | 105.4 | 156.5 | 51.1 |
| Tratamiento 3 | 118.8 | 149.3 | 30.5 |
| Tratamiento 4 | 142.08 | 156.5 | 14.42 |
| Tratamiento 5 | 102 | 149.3 | 47.3 |
| Tratamiento 6 | 132.8 | 156.5 | 23.7 |

Fuente: Elaboración propia (2022).

6.3.5. Relación beneficio – costo

Es el valor de todos los beneficios brutos de la producción entre los costos variables.

Tabla 29. Beneficio-Costo.

| Tratamientos | Beneficio bruto(Bs/m²) | costos variables (Bs/m²) | Beneficio costo (Bs/m²) |
|----------------------|--|--|---|
| Tratamiento 1 | 108 | 149.3 | 0.7 |
| Tratamiento 2 | 105.4 | 156.5 | 1.0 |
| Tratamiento 3 | 118.8 | 149.3 | 0.8 |
| Tratamiento 4 | 142.08 | 156.5 | 0.9 |
| Tratamiento 5 | 102 | 149.3 | 0.7 |
| Tratamiento 6 | 132.8 | 156.5 | 0.8 |

Fuente: Elaboración propia (2022).

La relación beneficio – costo de la producción de los diferentes tratamientos, presentan resultados menores a 1 por lo que se considera tratamientos no rentables, ya que los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción en los 6 tratamientos analizados, indicando que es aconsejable realizar la producción de menta en ambientes atemperados utilizando mayores frecuencias y densidad de siembra, teniendo en cuenta los tres cortes anuales del cultivo así poder tener una producción rentable.

7. CONCLUSIONES

Según las condiciones del experimento se asume los siguiente:

- La energía emitida por el LED violeta de 29 μmol , el tratamiento de 12 horas expuesto a luz LED fue el que obtuvo mejores resultados en gran parte de las variables de respuesta, esto se debe a la eficiencia fotosintética brindada al cultivo ya que está relacionada directamente con la energía brindada por el color del LED.
- En la altura de planta se tiene con la aplicación de 12 horas de exposición a la luz violeta se obtuvo una media de 40.48 cm de altura y la frecuencia de 8 horas obtuvo una media de 38.36 cm.
- Para el largo de la hoja se tiene con la aplicación de 8 horas de exposición a la luz violeta se obtuvo una media de 5.12 cm de largo de la hoja y la frecuencia de 12 horas obtuvo una media de 5.05 cm.
- En la variable ancho de hoja se tiene un mayor promedio de 8 horas de exposición a la luz violeta con una media de 2.51 cm de ancho de hoja y la frecuencia de 12 horas obtuvo una media de 2.45cm.
- Para la variable número de hojas por planta se tiene con la aplicación de 4 horas de exposición a la luz violeta se obtuvo un promedio de 17.88 hojas por planta y la frecuencia de 8 horas obtuvo un promedio de 16.04, mientras que en la interacción de las densidades presenta diferencias significativas.
- La variable peso total fresco se tiene con la aplicación de 12 horas de exposición a la luz violeta se obtuvo una media de 283.70 g de peso total y la frecuencia de 4 horas obtuvo una media de 282.67 g, así mismo en las densidades si existió una diferencia significativa.
- Para la variable peso total seco se tiene con la aplicación de 12 horas de exposición a la luz violeta se obtuvo una media de 2.17 g de peso seco y la frecuencia de 4 horas obtuvo una media de 1.75 g, mientras en las densidades si hubo una diferencia significativa distinta al resto.

- En la velocidad de crecimiento se tiene con la aplicación de 12 horas de exposición a la luz violeta se obtuvo una media de 0.26 mm de velocidad de crecimiento y la frecuencia de 8 horas obtuvo una media de 0.23 mm.
- El análisis de costos parciales indica que la recuperación de la inversión para este sistema, es mínimo, menor a 1 Bs; no obstante, para trabajar con este sistema, este análisis recomienda a la luz violeta y mayores frecuencias de iluminación.

8. RECOMENDACIONES

De acuerdo a las observaciones y la experiencia obtenida en la presente investigación de estudio y teniendo en cuenta el análisis de los resultados, se puede realizar las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

- Probar con otras longitudes de onda más intensas porque no haber tenido mucho efecto la planta no estimulo lo suficiente para el rendimiento.
- Se recomienda utilizar otro tipo de combinaciones de colores que se asemejen al espectro de luz solar, azul (430 a 500 nm), verde (500 a 570 nm), amarillo (570 a 590 nm), naranja (590 a 630 nm) y rojo (630 a 770). Por otra parte, las plantas fotosintetizan entre los 400 a 700 nm; este intervalo se conoce como radiación fotosintéticamente activa.
- Se recomienda, aumentar las frecuencias de iluminación más de 12 por horas por día para el incremento del crecimiento vegetativo de la planta un buen desarrollo de los órganos y tejidos principalmente para la elongación de la planta y la absorción lumínica, fotosíntesis sea máxima.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Almanza, E. M. (2011). Sistema híbrido de iluminación para el desarrollo de plantas aplicación en invernaderos obtenido de: <https://hera.ugr.es/tesisugr/20688039.pdf>
- Amazings. (16 de agosto de 2016). *noticiasdelaciencia.com*. Obtenido de <http://noticiasdelaciencia.com/not/20776/-granja-vertical-alternativa-sostenible-a-laagricultura-tradicional/>
- Arcas, J. (31 de octubre de 2014). *Montecastelopost*. Obtenido de <http://colegiomontecastelo.com/2014/10/31/cultivo-de-lechugas-con-leds/>
- argentinas de mentol y aceites esenciales de menta. Análisis de la balanza comercial de la década 1996- 2005. *Horticultura Argentina* 27(63).
- Bareño, P. (2006). Menta. En *Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco (Primera)*. Produmedios.
- Barta, D. J., Tibbitts, T. W., Bula, R. J., & Morrow, R. C. (1992). Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source. *Advances in Space Research: The Official Journal of the Committee on Space Research (COSPAR)*, 12(5), 141–149. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(92\)90020-x](https://doi.org/10.1016/0273-1177(92)90020-x)
- Beltrano J, Giménez DO. 2011. *Fotomorfogénesis Vegetal*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata; [consultado el 28 de sep. de 2020]. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/51978/mod_resource/content/1/Fotomorfog%C3%A9nesis.pdf
- Bonilla, C. (2010). Generalidades. En *Menta (Mentha spp.)*. Producción y manejo de poscosecha (pp. 11-15). Bogotá: Produmedios.
- Buitrón, C. (1999). *Uso y Comercio de Plantas Medicinales, situación actual y aspectos importantes para su conservación*. Quito, EC. TRAFFIC International, Cambridge. 76.
- Bula, R. J., Morrow, R. C., Tibbitts, T. W., Barta, D. J., Ignatius, R. W., & Martín, T. S. (1991). Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience*, 26(2), 203–205.
- Calzada, B. J. 1982. *Métodos estadísticos para la investigación*. Lima, Perú. 546p.
- Campbell, N., & Reece, J. (2007). *Biología*. Ed. Médica Panamericana.

- Carvalho, F. P. (2017). Mining industry and sustainable development: time for change. *Food and Energy Security*, 6(2), 61–77. <https://doi.org/10.1002/fes3.109>
- Chen, I. (2018). La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo. Artículo en línea. Publicado el 5 octubre de 2018. Recuperado el 24 de abril de 2019 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-elcrecimiento-del-cultivo/>.
- Clavijo, J., Bareño, P. Y Gamba, Y. (2005). Hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco: curso de extensión. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá, D.C.
- Collazo, M. (2006). Manual de Practicas de Fotosíntesis. Mexico: UNAM.
- Cubero, D., & Vieira, M. (1999). XI Congreso Nacional Agronómico. I Congreso Nacional de Suelos. El reto es producir y competir.
- Curtis, H., & Schnek, A. (2006). Invitación a la biología (E. M. Panamericana, Ed.).
- Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). Curtis. Biología (1160 ed.). Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana.
- Elicriso, (2010). Informativo publico demostrativo sobre las plantas aromáticas. Disponible en:(elicriso.it/es/plantas_aromaticas/menta/). Consultado el 8 de junio del 2012.
- Erazo, P. J., de Carvalho, A. C., Alexander, T., Ramos, M., & Vianna, P. (2009). precio de fábrica 5050 RGB 5 M/Rollo Cinta LED luz con 30W; cido hialurónico: técnica de pilares y malla de sustentación. Principios básicos para obtener una remodelación facial. *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana*, 35(3), 181-194.
- Escalante, J. M. y Villareal, M. (2014). Trabajo práctico N°5 “Parcial domiciliario”. Santa Fe, Argentina: Instituto Superior de Profesorado N°8 “Almirante Guillermo BROWN”. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/0040327644948fd5244d>
- Espejo, A., Mareño, P., Porcel, R., Marín, M., Baldellón, E., Velasco, R., . . . Bejaran, J. (2016). Mapa de riesgos de los distritos urbanos del Municipio de La Paz. Gobierno Autónomo municipal de La Paz. La Paz, Bolivia.
- Espinal Calani, J. A. (2021). Efecto de la iluminación led en un sistema vertical de producción con lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo ambiente controlado.

- FAO, (2010). Organización De La Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación
Panorama De La Seguridad Alimentaria Y Nutricional En América Latina Y El Caribe.
- Font Quer, P. (1981). Plantas Medicinales El Dioscórides Renovado. 7ma. Edición.
Editorial Labor, 1033.
- Forlin, A., (2012). Plantas Aromáticas Diferentes formas de multiplicación. INTA.
Colorado, Argentina.14p.
- Fretes, F. (2010). Plantas medicinales y aromáticas, una alternativa de la producción
comercial.
- Gobierno Autónomo Municipal de La Paz. (2007). Plan de Desarrollo Municipal de La Paz
. Diagnostico Municipal 2007 - 2011. La Paz , Bolivia .
- Gonzalías, Y. R., & Lasso, E. R. (2016). Desarrollo de un sistema de iluminación artificial
LED para cultivos en interiores-Vertical Farming (VF). Informador técnico, 80, 111–
120.
- Guerra Reina, J. K. (2010). Densidad de siembra y su efecto sobre las características
agronómicas y rendimiento en Menta piperita L. menta en la zona de Belén.
- Gupta SD, Agarwal A. 2017. Artificial lighting system for plant growth and development:
Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment. En:
Dutta S, editor. Light Emitting Diodes for Agriculture. Kharagpur: Springer. p. 1-25.
- Gutierrez, M. (2019). Comportamiento del desarrollo vegetativo de la hierbabuena
(*Mentha spicata* L.) empleando tres sustratos a nivel de vivero (Doctoral
dissertation).
- Hartman, F. (1990). Invernaderos y Ambientes Atemperados. Ed. Officed. Bolivia. Ltda.
La Paz, Bolivia. p. 9-30.
- Hernandez, R., Fernandez, L., & y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación.
Mexico: McGraw - Hill.
- Herrans, C., Olle, J., & Jauregui, F. (2011). La Iluminación con LED y el problema de la
contaminación lumínica. Retrieved Noviembre 15, 2015, from Celfos:
<http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>

- Huito, L. D. (2016). Evaluación de dos variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) con tres dosis de biofertilizante foliar en Walipini, en la zona de Ventilla-La Paz (Doctoral dissertation).
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo, EC.) 1997. Manual Internacional de fertilidad de suelos. Quito, EC. 93 p.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). (2009). Manual de recolección de plantas aromáticas nativas de la región central y noreste de la Argentina (Proyecto específico PNHFA4164). Buenos Aires, Argentina. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_aromaticas_nativas.pdf
- JAPÓN J, (s/f). Cultivo de perejil y de hierbabuena. Hojas divulgadoras Num.14/84 HD. Autoriza Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Publicaciones de extensión Agraria Corazón de María, 8- 28002-Madrid.
- Jimenez, C. (1997). Luminitecnia: Luz, lámpara y luminarias. Barcelona: CEAC.
- Kiauer García, Dieter Fritz. 2009. Manual técnico de cultivo ecológico de orégano. Edición Nilo Cruz Cuencas. Arequipa-Perú. Pp 50.
- Kozai, T. (2013). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences, 89, 447.
- Mamani, J. Z., & Menta, ;. Actividad Antibacteriana “in Vitro” Del Aceite Esencial De. (2017). ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA “IN VITRO. Revista de Investigaciones: Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, 6.
- Maravi G. (2012). Efecto antibacteriano y antifúngico del aceite esencial de: *Menta piperita* (Menta), *Origanum vulgare* (Orégano) y *Cymbopogon citratus* (Hierba luisa) Sobre *Streptococcus mutans* ATCC 25175.
- Maroto, J. (1995). Horticultura Herbácea Especial 4ta Edición (S. A. Bilbao Madrid, Ed.).
- Maroto, J. (2005). Elementos de horticultura general. Mundi-Prensa.
- Martin, P., Navas, L. M., Hernández, S., Correa, A., Martin, J., Martin, E., & Duran, J. M. (2010). Diodos emisores de luz para irradiación de plantas.

- Martínez, D. M. (1993). Guía para el aprovechamiento del orégano *Lippia Berlingieri* para su aprovechamiento en el norte de Jalisco. Folleto técnico. INIFAR. SAGAR. Guadalajara Jalisco. Pp, 2.
- Membreño Gutierrez, R. G. (2019). Comportamiento del desarrollo vegetativo de la hierbabuena (*Mentha spicata* L.) empleando tres sustratos a nivel de vivero (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).
- Miranda Ramos, V. M. (2016). Evaluación de cultivo de oregano (*Origanum Vulgare* L.) propagado por esquejes bajo diferentes dosis del enraizador root-hor y tiempos en la localidad de Ventilla La Paz (Doctoral dissertation).
- MIT Technology Review.(2014). How LEDs Are Set to Revolutionize Hi-Tech Greenhouse Farming. Recuperado de:<http://www.technologyreview.com/view/528356/how-leds-are-set-to-revolutionize-hi-techgreenhouse-farming/>.
- Morrow, R. C. (2008). LED Lighting in Horticulture. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 43(7), 1947–1950. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.7.1947>
- Mosquera, D. (2011). Estructura y función de los huertos caseros de las comunidades afrodescendientes asentadas en la cuenca del río Atrato departamento del Chocó, Colombia. *Rev. Biodivers. Neotrop.* 2011; (1 (2): 91-7), 92. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5168108.pdf>
- Mougeot, J. A. (2006). *Cultivando Mejores Ciudades: Agricultura Urbana Para El Desarrollo Sostenible*. Canada: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- Muñoz, F. (1987). *Plantas Medicinales y Aromáticas: Estudio cultivo y procesado*. Madrid, ES. Mundi- Prensa. 236–247.
- Muñoz, F. (2000). *Plantas Medicinales y Aromáticas Estudio, Cultivo y Procesado*. Barcelona: Mundi-Prensa
- Ocampo, & Valverde. (2000). *Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales*. San José; Santo Domingo: Enda-Caribe.
- Ochoa, R. (2009). *Diseños experimentales*. La Paz.

- Orellana López, J. V. (2013). Efecto de varias dosis de fertilizante nitrogenado en el comportamiento agronómico del cultivo de hierbabuena (*Mentha sativa* L.) en la parroquia cone Provincia del Guayas.
- Orizo.O , A. Curioni y G. Motta (2008) Evolución de las importaciones y exportaciones
- Osorio, E.(2009) Aspectos básicos de Farmacognosia. Antioquia, Colombia
- Ozcan, M., & Chalchat, J. (2005). Constituents of the essential oil of *Sideritis erythrantha* boiss y heldr. Var. *erythrantha* Departament of Food Engineering. Tuquía.
- Percy D, Arones C., (2007). Manual para la Producción de Plantas Aromáticas y Medicinales. Ministerio de la Mujer y Desarrollo Social.
- Pérez, E. (2011). Fotosíntesis: Aspectos Básicos. REDUCA, 2-5.
- Pérez, J., & Carlos, J. (2003). El Fototropismo en planas. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 47–52.
- Philips. (5 de Agosto de 2020). lighting.philips. Obtenido de <https://www.lighting.philips.es/productos/iluminación-led-horticultura/agricultura-urbana>
- Photosystem. (21 de septiembre de 2020). Micromoles de fotones, la medida de la luz para las plantas: photosystem. Obtenido de photosystem.es: <https://photosystem.es/micromoles-de-fotones-la-medida-de-luz-para-las-plantas/>
- Ramírez Y, (2002). Plantas Medicinales Volumen II. Centro Nacional de Medicamentos Costa Rica.
- Ramos, M. (2016). Evaluacion de cultivo de oregano (*Origanum Vulgare* L.) propagado por esquejes bajo diferentes dosis del enraizador root-hor y tiempos en la localidad de Ventilla La Paz.
- Rodríguez-Sahagún, A. (2011). Effect of light quality and culture medium on somatic embryogenesis of *Agave tequilana* Weber var. Azul. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 104(2), 271–275. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9815-4>
- Rojas. (2014). El crecimiento y desarrollo de la planta de Hierbabuena [Blog]. Retrieved from <http://yudymarcela1991.blogspot.com/2014/06/de-20cm.html#comment-form>
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de liminología neotropical.

- Salveti, N., Ludeña, M., Ricci, N., Lorente, J., Gapel, C., & Ortega, H. (2002). Influencia del fotoperíodo sobre la morfología gonadal del ratón (*Mus Musculus*): efecto de la falta de alternancia luz/oscuridad. *FAVE - Sección Ciencias Veterinarias*. 21–29.
- Santander R, J. (1992). Evaluación del comportamiento de tres especies aromáticas en cuatro zonas de vida del departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*. Vol. 11. N° 1-8. Universidad de Nariño. Colombia.
- SENAMHI. 2016. Centro Nacional de Meteorología e Hidrología. (en línea). La Paz, Bolivia. Consultado el 5 de nov. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.bo/meteorologia/boletinmensualprecipitacion>
- Singh, Devesh; Basu, Chandrajit ; (2014). LEDs for Energy Efficient Greenhouse Lighting. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/1406.3016>.
- Siñani, L. (2017). Evaluación agronomica de dos variedades de berro (*Nasturtium officinale* R. Br. Y *Lepidium sativum*) en cultivo sin suelo en el centro experimental de Cota – Cota. La Paz - Bolivia: Facultad de Agronomía - UMSA.
- Taboada Ramón, J. (2020). Luz LED azul y roja en germinación para la producción de Germinado Hidropónico de cebada (*Hordeum Vulgare*) en Lambayeque.
- Taiz L, Zeiger E. 2006. *Fisiología vegetal*. 3a ed. Castelló de la Plana: Universitat Jaume. ISBN: 9788480216012.
- Tamayo C. F. (2014) .Tasa de incremento lumínico óptimo durante la aclimatación in vitro de *Nothofagus alpina* (*Nothofagus alpina* Poepp et Endl (Oerst)). Obtenido de: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/fift153t/doc/fift1_53t.pdf
- TBCin. (2018). Cintas A LED. Obtenido de www.tbcin.com.ar
- Tennessen, D. J., Singaas, E. L., & Sharkey, T. D. (1994). Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynthesis Research*, 39(1), 85–92. <https://doi.org/10.1007/BF00027146>
- The future of food and agriculture-Trends and challenges. (2017).
- Torres Jima, P. A. (2013). Respuesta de la hierba buena (*Mentha piperita* L.) a dos distancias de siembra ya la aplicación edáfica de dos abonos orgánicos más compuestos minerales a tres dosis.

- Torres, P. (2006). Sustentabilidad y agricultura urbana. Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Ubeda, J. & López M. (2015). Plantas aromáticas. Guía para huertos urbanos. España. Servicio de medio ambiente.
- UNESUR Universidad Nacional Experimental sur del Lago “Jesús María Semprum” Manual de plantas medicinales (s.f.) .Pagina 9 Citado en la página web <http://es.scribd.com/doc/4063156/Manual-de-plantas-medicinales>
- Urban Harvest. (2006). Memoria y Declaración:"Agricultura urbana y periurbana en Lima Metropolitana: una estrategia de lucha contra la pobreza 50 y la inseguridad alimentaria. Lima: Centro Internacional de la Papa-Urban Harvest
- Valles, (2007). Fundación Para el desarrollo Técnico y Agropecuario de los Valles. Orégano/ manual de cultivo /FDTA-Valles. Cochabamba, Bolivia.Pp.31- 43
- Vasquez Silva, P. (2018). Efecto de tecnologías de iluminación e intensidades de luz sobre el crecimiento vegetativo de cuatro cultivares de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) para la obtención de varas florales de longitud comercial en la región Lambayeque.
- Vázquez, N. (2020). Evaluación de algunos factores de calidad y cantidad de los espectros de radiación en las plantas.
- Vegaffinity. (2014). Alimentos Vegetarianos y Alimentos Veganos. Vegaffinity. <https://www.vegaffinity.com/alimento/menta-beneficios-informacion-nutricional-->
- Zambrano Ravelo, V. M. (2013). Respuesta productiva de la especie vegetal medicinal aromática menta (*Mentha piperita* L.) al manejo agronómico de las variables densidad de siembra y frecuencias de corte Otavalo–Ecuador 2012 (Bachelor's thesis).

ANEXOS



Figura 6. Características botánicas de la menta

Fuente: Osorio (2009).

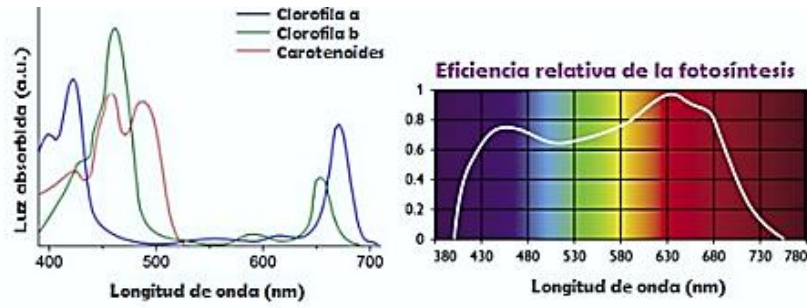


Figura 7. Fotosíntesis y longitudes de onda efectivas.

Fuente: MIT Technology Review (2014).



Figura 8. Cinta flexible LED.

Fuente: Erazo (2019).



Figura 9. Bandejas utilizadas para el trasplante.



Figura 10. Instalación eléctrica de los timers.



Figura 11 Instalación completa del sistema de iluminación, caja térmica, transformadores, timers y un térmico.



Figura 12 Adecuación de ambiente de investigación.



Figura 13. Precintos plásticos para sujetar los cables de la conexión.

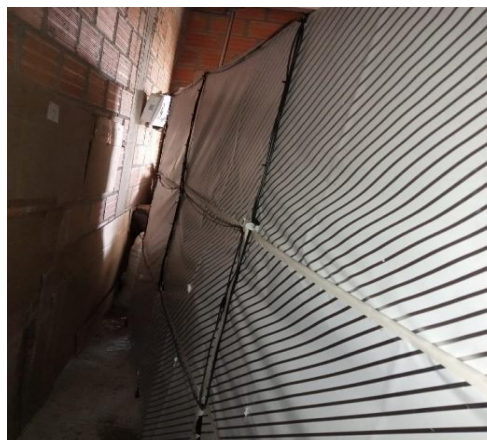


Figura 114. conexión de la distribución de los cables de cada tratamiento.



Figura 15. Instalación de luces de iluminación cintas LED 5050-IP65.



Figura 16. Remoción de los sustratos: turba negra, tierra negra y arena fina.



Figura 17. Desinfección del sustrato con la pistola calorimétrica.



Figura 128. Sustrato desinfectado.



Figura 19. Área del trabajo de estudio con su respectiva instalación.



Figura 20. Distribución de los tratamientos a estudiar.



Figura 21. Plántulas de menta.



Figura 22. Desinfección de plántulas.



Figura 23. Sustrato preparado para el trasplante.



Figura 24. Trasplante de esquejes de menta.



Figura 25. Riego después del trasplante.



Figura 26. Supervisión de las plantas trasplantadas.



Figura 27. Supervisión de prendimiento de esquejes de menta.



Figura 28. Tutorado de las plántulas.



Figura 29. Marbeteado de las plántulas.



Figura 30. Supervisión de las bandejas.



Figura 31. Supervisión de las luces LED.



Figura 32. Plántulas con mejor rendimiento de la investigación.

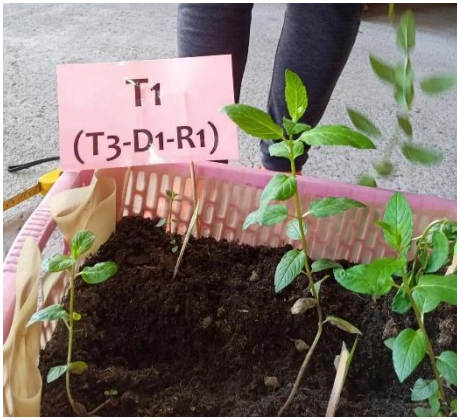


Figura 33. Cosecha de menta.



Figura 34. Medición de la variable altura de planta.



Figura 35. Conteo de número de hojas por planta.



Figura 36. Medida del largo de la hoja.



Figura 37. Medida del ancho de la hoja.

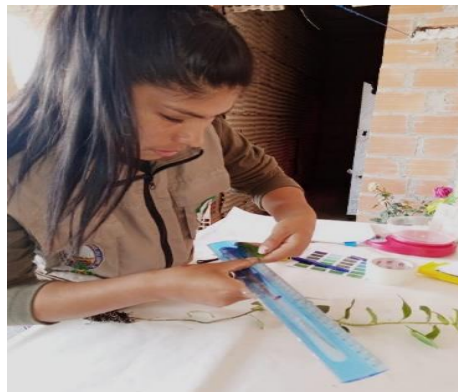


Figura 38. Velocidad de crecimiento.



Figura 39. Peso fresco por planta



Figura 40. Peso seco por planta

Anexo 1. Análisis de varianza altura de planta

VAR 1

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| VAR 1 | 18 | 0,49 | 0,28 | 9,34 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 142,53 | 5 | 28,51 | 2,31 | 0,1091 |
| FA | 131,74 | 2 | 65,87 | 5,34 | 0,0220 |
| FB | 0,20 | 1 | 0,20 | 0,02 | 0,9017 |
| FA*FB | 10,59 | 2 | 5,30 | 0,43 | 0,6608 |
| Error | 148,15 | 12 | 12,35 | | |
| Total | 290,68 | 17 | | | |

Test:Duñcañ Alfa=0,05

Error: 12,3460 gl: 12

FA Medias η E.E.

| | | | | |
|----|-------|---|------|-----|
| T2 | 40,48 | 6 | 1,43 | A |
| T3 | 38,36 | 6 | 1,43 | A B |
| T1 | 33,98 | 6 | 1,43 | B |

Medias coñ uña letra común ño son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duñcañ Alfa=0,05

Error: 12,3460 gl: 12

FB Medias η E.E.

| | | | | |
|----|-------|---|------|---|
| D2 | 37,71 | 9 | 1,17 | A |
| D1 | 37,50 | 9 | 1,17 | A |

Medias coñ uña letra común ño son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duñcañ Alfa=0,05

Error: 12,3460 gl: 12

FA FB Medias η E.E.

| | | | | |
|-------|-------|---|------|-----|
| T2 D1 | 40,88 | 3 | 2,03 | A |
| T2 D2 | 40,08 | 3 | 2,03 | A |
| T3 D1 | 38,83 | 3 | 2,03 | A B |
| T3 D2 | 37,88 | 3 | 2,03 | A B |
| T1 D2 | 35,17 | 3 | 2,03 | A B |
| T1 D1 | 32,79 | 3 | 2,03 | B |

Medias coñ uña letra común ño son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

VAR 2

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| VAR 2 | 18 | 0,80 | 0,72 | 4,64 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 2,46 | 5 | 0,49 | 9,81 | 0,0006 |
| FA | 2,41 | 2 | 1,20 | 24,00 | 0,0001 |
| FB | 0,05 | 1 | 0,05 | 0,92 | 0,3569 |
| FA*FB | 0,01 | 2 | 3,1E-03 | 0,06 | 0,9405 |
| Error | 0,60 | 12 | 0,05 | | |
| Total | 3,06 | 17 | | | |

Test: Duñcan Alfa=0,05

Error: 0,0501 gl: 12

FA Medias η E.E.

T3 5,12 6 0,09 A

T2 5,05 6 0,09 A

T1 4,31 6 0,09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcan Alfa=0,05

Error: 0,0501 gl: 12

FB Medias η E.E.

D2 4,87 9 0,07 A

D1 4,77 9 0,07 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcan Alfa=0,05

Error: 0,0501 gl: 12

FA FB Medias η E.E.

T3 D2 5,14 3 0,13 A

T2 D2 5,12 3 0,13 A

T3 D1 5,09 3 0,13 A

T2 D1 4,98 3 0,13 A

T1 D2 4,37 3 0,13 B

T1 D1 4,25 3 0,13 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

VAR 3

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| VAR 3 | 18 | 0,82 | 0,75 | 3,98 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|------|----|------|-------|---------|
| Modelo | 0,50 | 5 | 0,10 | 11,18 | 0,0003 |
| FA | 0,44 | 2 | 0,22 | 24,88 | 0,0001 |
| FB | 0,01 | 1 | 0,01 | 1,62 | 0,2271 |
| FA*FB | 0,04 | 2 | 0,02 | 2,26 | 0,1469 |
| Error | 0,11 | 12 | 0,01 | | |
| Total | 0,61 | 17 | | | |

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,0089 gl: 12

FA Medias η E.E.

T3 2,51 6 0,04 A

T2 2,45 6 0,04 A

T1 2,15 6 0,04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,0089 gl: 12

FB Medias η E.E.

D2 2,40 9 0,03 A

D1 2,34 9 0,03 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,0089 gl: 12

FA FB Medias η E.E.

T2 D2 2,54 3 0,05 A

T3 D1 2,54 3 0,05 A

T3 D2 2,49 3 0,05 A

T2 D1 2,36 3 0,05 A

T1 D2 2,17 3 0,05 B

T1 D1 2,13 3 0,05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

VAR 4

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| VAR 4 | 18 | 0,68 | 0,55 | 6,94 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo | 33,81 | 5 | 6,76 | 5,15 | 0,0094 |
| FA | 17,19 | 2 | 8,60 | 6,55 | 0,0119 |
| FB | 0,03 | 1 | 0,03 | 0,02 | 0,8799 |
| FA*FB | 16,58 | 2 | 8,29 | 6,32 | 0,0134 |
| Error | 15,75 | 12 | 1,31 | | |
| Total | 49,56 | 17 | | | |

Test: Duñcan Alfa=0,05

Error: 1,3125 gl: 12

FA Medias η E.E.

T1 17,88 6 0,47 A

T3 16,04 6 0,47 B

T2 15,63 6 0,47 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcan Alfa=0,05

Error: 1,3125 gl: 12

FB Medias η E.E.

D2 16,56 9 0,38 A

D1 16,47 9 0,38 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcan Alfa=0,05

Error: 1,3125 gl: 12

FA FB Medias η E.E.

T1 D1 18,92 3 0,66 A

T3 D2 17,33 3 0,66 A B

T1 D2 16,83 3 0,66 A B C

T2 D1 15,75 3 0,66 B C

T2 D2 15,50 3 0,66 B C

T3 D1 14,75 3 0,66 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5. Análisis de varianza peso total fresco

VAR 5

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| VAR 5 | 18 | 0,61 | 0,45 | 17,40 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo | 14,37 | 5 | 2,87 | 3,81 | 0,0268 |
| FA | 9,20 | 2 | 4,60 | 6,09 | 0,0149 |
| FB | 0,93 | 1 | 0,93 | 1,24 | 0,2878 |
| FA*FB | 4,23 | 2 | 2,12 | 2,80 | 0,1002 |
| Error | 9,06 | 12 | 0,76 | | |
| Total | 23,43 | 17 | | | |

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,7550 gl: 12

| FA Medias | η | E.E. | |
|-----------|--------|------|--------|
| T2 | 5,65 | 6 | 0,35 A |
| T1 | 5,33 | 6 | 0,35 A |
| T3 | 4,00 | 6 | 0,35 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,7550 gl: 12

| FB Medias | η | E.E. | |
|-----------|--------|------|--------|
| D1 | 5,22 | 9 | 0,29 A |
| D2 | 4,77 | 9 | 0,29 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,7550 gl: 12

| FA FB Medias | η | E.E. | |
|--------------|--------|------|------------|
| T2 D1 | 6,50 | 3 | 0,50 A |
| T1 D2 | 5,67 | 3 | 0,50 A B |
| T1 D1 | 5,00 | 3 | 0,50 A B C |
| T2 D2 | 4,80 | 3 | 0,50 B C |
| T3 D1 | 4,17 | 3 | 0,50 B C |
| T3 D2 | 3,83 | 3 | 0,50 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 6. Análisis de varianza peso total seco

VAR 6

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| VAR 6 | 18 | 0,64 | 0,49 | 22,34 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 3,29 | 5 | 0,66 | 4,31 | 0,0178 |
| FA | 2,08 | 2 | 1,04 | 6,82 | 0,0105 |
| FB | 0,68 | 1 | 0,68 | 4,45 | 0,0565 |
| FA*FB | 0,53 | 2 | 0,26 | 1,73 | 0,2192 |
| Error | 1,83 | 12 | 0,15 | | |
| Total | 5,13 | 17 | | | |

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,1528 gl: 12

| FA Medias | η | E.E. | |
|-----------|--------|------|----------|
| T2 | 2,17 | 6 | 0,16 A |
| T1 | 1,75 | 6 | 0,16 A B |
| T3 | 1,33 | 6 | 0,16 B |

Medias coñ una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,1528 gl: 12

| FB Medias | η | E.E. | |
|-----------|--------|------|--------|
| D2 | 1,94 | 9 | 0,13 A |
| D1 | 1,56 | 9 | 0,13 A |

Medias coñ una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,1528 gl: 12

| FA FB Medias | η | E.E. | |
|--------------|--------|------|----------|
| T2 D2 | 2,17 | 3 | 0,23 A |
| T2 D1 | 2,17 | 3 | 0,23 A |
| T1 D2 | 2,17 | 3 | 0,23 A |
| T3 D2 | 1,50 | 3 | 0,23 A B |
| T1 D1 | 1,33 | 3 | 0,23 B |
| T3 D1 | 1,17 | 3 | 0,23 B |

Medias coñ una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 7. Análisis de varianza velocidad de crecimiento

VAR 7

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| VAR 7 | 18 | 0,47 | 0,24 | 17,52 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------|---------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 0,02 | 5 | 3,3E-03 | 2,09 | 0,1372 |
| FA | 0,01 | 2 | 0,01 | 4,71 | 0,0309 |
| FB | 0,00 | 1 | 0,00 | 0,00 | >0,9999 |
| FA*FB | 1,6E-03 | 2 | 8,0E-04 | 0,51 | 0,6116 |
| Error | 0,02 | 12 | 1,6E-03 | | |
| Total | 0,04 | 17 | | | |

Test:Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,0016 gl: 12

FA Medias η E.E.

T2 0,26 6 0,02 A

T3 0,23 6 0,02 A B

T1 0,19 6 0,02 B

Medias coñ uña letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,0016 gl: 12

FB Medias η E.E.

D1 0,23 9 0,01 A

D2 0,23 9 0,01 A

Medias coñ uña letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duñcañ Alfa=0,05

Error: 0,0016 gl: 12

FA FB Medias η E.E.

T2 D1 0,27 3 0,02 A

T2 D2 0,25 3 0,02 A B

T3 D1 0,23 3 0,02 A B

T3 D2 0,22 3 0,02 A B

T1 D2 0,20 3 0,02 A B

T1 D1 0,18 3 0,02 B

Medias coñ uña letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 8. Datos de los factores de estudio.

| | | | AF | LH | AH | NHP | PTF | PTS | VEL |
|-----------|-----------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| FA | FB | | VAR 1 | VAR 2 | VAR 3 | VAR 4 | VAR 5 | VAR 6 | VAR 7 |
| T1 | D1 | trat1 | 32.38 | 4.19 | 2.17 | 19.00 | 90.0 | 2.00 | 0.16 |
| T1 | D2 | trat2 | 35.88 | 4.42 | 2.16 | 17.00 | 128.0 | 2.50 | 0.18 |
| T2 | D1 | trat3 | 38.38 | 4.95 | 2.26 | 15.50 | 102.0 | 2.50 | 0.23 |
| T2 | D2 | trat4 | 37.25 | 5.12 | 2.47 | 15.00 | 120.0 | 2.00 | 0.21 |
| T3 | D1 | trat5 | 34.00 | 4.90 | 2.42 | 14.00 | 78.0 | 1.00 | 0.20 |
| T3 | D2 | trat6 | 38.38 | 5.10 | 2.39 | 15.75 | 112.0 | 1.50 | 0.24 |
| T1 | D1 | trat1 | 32.25 | 4.26 | 2.10 | 17.75 | 84.0 | 1.00 | 0.17 |
| T1 | D2 | trat2 | 34.25 | 4.41 | 2.16 | 16.25 | 120.0 | 2.00 | 0.21 |
| T2 | D1 | trat3 | 38.00 | 5.01 | 2.28 | 15.75 | 102.0 | 2.50 | 0.25 |
| T2 | D2 | trat4 | 36.50 | 5.05 | 2.58 | 16.25 | 121.6 | 2.00 | 0.23 |
| T3 | D1 | trat5 | 42.75 | 5.57 | 2.56 | 15.00 | 84.0 | 1.00 | 0.24 |
| T3 | D2 | trat6 | 37.75 | 5.49 | 2.48 | 16.25 | 104.0 | 1.50 | 0.17 |
| T1 | D1 | trat1 | 33.75 | 4.30 | 2.13 | 20.00 | 96.0 | 1.00 | 0.20 |
| T1 | D2 | trat2 | 35.38 | 4.27 | 2.20 | 17.25 | 128.0 | 2.00 | 0.22 |
| T2 | D1 | trat3 | 46.25 | 4.98 | 2.55 | 16.00 | 93.0 | 1.50 | 0.32 |
| T2 | D2 | trat4 | 46.50 | 5.18 | 2.58 | 15.25 | 113.6 | 2.50 | 0.32 |
| T3 | D1 | trat5 | 39.75 | 4.80 | 2.63 | 15.25 | 93.0 | 1.50 | 0.26 |
| T3 | D2 | trat6 | 37.50 | 4.83 | 2.59 | 20.00 | 116.0 | 1.50 | 0.25 |

Anexo 9. Factor A y Factor B de estudio.

| | NIVELES | | NIVELES |
|-----------|----------|-----------|-----------|
| T1 | 4 HORAS | D1 | 6 Plantas |
| T2 | 12 HORAS | D2 | 8 Plantas |
| T3 | 8 HORAS | | |



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRO.LAB. N°70

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUSTRATO

INTERESADO: María Elena Ticona Quenta
SOLICITUD: LAF 70_22
FECHA DE ENTREGA: 28/06/2022
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
 Provincia Murillo
 Tesis de investigación

| | PARAMETRO | UNIDAD | RESULTADO | MÉTODO |
|----------------|-------------------------------------|-------------|----------------|---|
| TEXTURA | Arena | % | 57 | Bouyoucos |
| | Limo | % | 27 | |
| | Arcilla | % | 16 | |
| | Clase Textural | - | Franco Arenoso | |
| | pH en H ₂ O relación 1:5 | - | 4.63 | Potenciometría |
| | Conductividad eléctrica en agua 1:5 | mmhos/cm | 2.23 | Potenciometría |
| | Potasio intercambiable | meq/100g S. | 1.02 | Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica) |
| | Nitrógeno total | % | 0.94 | Kjendahl |
| | Fósforo disponible | ppm | 230.20 | Espectrofotometría UV-Visible |


 Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



Dirección: Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850,
Telf. IAREN: 2484647 - 74016356 - 73075326 • **E-mail:** lafasa.suelos@gmail.com
Página web: agro.umsa.bo • La Paz - Bolivia

Anexo 11.Presupuesto

| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO PARCIAL |
|--|---------|----------|----------------|---------------|
| MATERIAL DE LA ESTRUCTURA | | | | |
| Estante de metal | unidad | 1 | 13.3 | 13.3 |
| Papel aluminio | unidad | 12 | 4.0 | 48.0 |
| Bandejas | Unidad | 18 | 2.5 | 45.0 |
| Agro film | Unidad | 3 | 5.8 | 17.5 |
| | | | | 123.8 |
| Material del sistema eléctrico | | | | |
| Rollos de cintas LED (violeta) | Unidad | 3 | 16.7 | 50.0 |
| Temporizador digital (Digital time Switches) | Unidad | 3 | 16.7 | 50.0 |
| Térmico | Unidad | 1 | 5.0 | 5.0 |
| Cable #16 | Unidad | 30 | 0.3 | 10.0 |
| Transformadores | Unidad | 3 | 1.7 | 5.0 |
| Precintos plásticos | Unidad | 30 | 0.0 | 0.5 |
| Cinta aislante | Unidad | 1 | 3.3 | 3.3 |
| | | | | 123.8 |
| Mano de obra | | | | |
| Instalación | jornal | 1 | 50 | 50.0 |
| Siembra de cultivo | jornal | 1 | 50 | 50.0 |
| Labores culturales | jornal | 1 | 50 | 50.0 |
| Cosecha | jornal | 1 | 50 | 50.0 |
| | | | | 200.0 |
| Insumos | | | | |
| Sustrato | quintal | 7 | 15 | 105.0 |
| Agua | m3 | 0.5 | 6.52 | 3.3 |
| Plantines | unidad | 126 | 1.2 | 151.2 |
| | | | | 259.5 |
| Gastos Investigación | | | | |
| Análisis de suelo | unidad | 1 | 160 | 160.0 |
| Toma de datos | jornal | 1 | 50 | 50.0 |
| | | | | 210 |
| | | | | 917.1 |

Anexo 12. Presupuesto para la densidad de 8 plantas por bandeja

| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO PARCIAL |
|--|---------|----------|----------------|---------------|
| MATERIAL DE LA ESTRUCTURA | | | | |
| Estante de metal | unidad | 0.2 | 13.3 | 2.2 |
| Papel aluminio | unidad | 2.0 | 4.0 | 8.0 |
| Bandejas | unidad | 3.0 | 2.5 | 7.5 |
| Agrofilm | unidad | 0.5 | 5.8 | 2.9 |
| | | | | 20.6 |
| Material del sistema eléctrico | | | | |
| Rollos de cintas LED (violeta) | unidad | 0.5 | 16.7 | 8.3 |
| Temporizador digital (Digital time Switches) | unidad | 0.5 | 16.7 | 8.3 |
| Térmico | unidad | 0.2 | 5.0 | 0.8 |
| Cable #16 | unidad | 5.0 | 0.3 | 1.7 |
| Transformadores | unidad | 0.5 | 1.7 | 0.8 |
| Precintos plásticos | unidad | 5.0 | 0.0 | 0.1 |
| Cinta aislante | unidad | 0.2 | 3.3 | 0.6 |
| | | | | 20.6 |
| Mano de obra | | | | |
| Instalación | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| Siembra de cultivo | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| Labores culturales | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| Cosecha | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| | | | | 33.3 |
| Insumos | | | | |
| Sustrato | quintal | 1.2 | 15 | 17.5 |
| Agua | m3 | 0.1 | 6.52 | 0.5 |
| Plantines | unidad | 24.0 | 1.2 | 28.8 |
| | | | | 46.8 |
| Gastos investigación | | | | |
| Análisis de suelo | unidad | 0.2 | 160 | 26.7 |
| Toma de datos | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| | | | | 35 |
| | | | 469.36 | 156.5 |

Anexo 13. Presupuesto de 6 plantas por bandeja

| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO PARCIAL |
|--|---------|----------|----------------|---------------|
| MATERIAL DE LA ESTRUCTURA | | | | |
| Estante de metal | unidad | 0.2 | 13.3 | 2.2 |
| Papel aluminio | unidad | 2.0 | 4.0 | 8.0 |
| Bandejas | unidad | 3.0 | 2.5 | 7.5 |
| Agrofilm | unidad | 0.5 | 5.8 | 2.9 |
| | | | | 20.6 |
| Material del sistema eléctrico | | | | |
| Rollos de cintas LED (violeta) | unidad | 0.5 | 16.7 | 8.3 |
| Temporizador digital (Digital time Switches) | unidad | 0.5 | 16.7 | 8.3 |
| Térmico | unidad | 0.2 | 5.0 | 0.8 |
| Cable #16 | unidad | 5.0 | 0.3 | 1.7 |
| Transformadores | unidad | 0.5 | 1.7 | 0.8 |
| Precintos plásticos | unidad | 5.0 | 0.0 | 0.1 |
| Cinta aislante | unidad | 0.2 | 3.3 | 0.6 |
| | | | | 20.6 |
| Mano de obra | | | | |
| Instalación | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| Siembra de cultivo | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| Labores culturales | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| Cosecha | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| | | | | 33.3 |
| Insumos | | | | |
| Sustrato | quintal | 1.2 | 15 | 17.5 |
| Agua | m3 | 0.1 | 6.52 | 0.5 |
| Plantines | unidad | 18.0 | 1.2 | 21.6 |
| | | | | 39.6 |
| Gastos investigación | | | | |
| Análisis de suelo | unidad | 0.2 | 160 | 26.7 |
| Toma de datos | jornal | 0.2 | 50 | 8.3 |
| | | | | 35 |
| | | | 447.76 | 149.3 |