



Artículo

## Comparación de diferentes frecuencias de iluminación con luz led en el cultivo de menta (*Mentha piperita* L.)

### Comparison of different lighting frequencies with led light in the crop of mint (*Mentha piperita* L.)

*María Elena Ticona Quenta, Celia María Fernández Chávez*

**RESUMEN:**

La presente investigación se realizó en un área urbana del distrito 16 San Antonio en la zona Villa Armonía, en el departamento de La Paz. El objetivo fue determinar las frecuencias de iluminación y el comportamiento agronómico en el cultivo de menta. El estudio fue conducido en un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo bifactorial empleándose las variedades: tiempos de exposición de luz LED como Factor A, para en Factor B se empleó dos densidades de siembra, conformando seis tratamientos, y tres repeticiones, las variables de respuesta fueron: altura de planta, largo de hoja, ancho de hoja, número de hojas por planta, peso total fresco, peso total seco y velocidad de crecimiento. Los resultados que se obtuvieron durante el estudio de campo en altura de la planta presentaron diferencias significativas en el factor A, registrando una altura promedio de 40.48 cm con respecto al factor B e interacción frecuencia\* densidad indicando que no existe interacción para esta variable entre los dos factores. Para el largo de la hoja se registró diferencias significativas en el factor A, registrando un promedio de 5.12 cm de largo de hoja y densidad indicando que no existe interacción para esta variable entre los dos factores. En el ancho de la hoja se obtuvo diferencias significativas en la frecuencia con un promedio de 2.51 cm de ancho de la hoja. Para el número de hojas por planta se registró diferencias significativas registrando una media de 17.88, para la interacción de los factores frecuencia\*densidad se obtuvo un resultado significativo lo cual indica que, al interactuar los tiempos de iluminación y las densidades de siembra, hay un efecto directo en el número de hojas. En el peso total fresco se presentaron diferencias significativas 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 peso seco total se registró diferencias significativas en el factor A, registrando un promedio de 2,17g de peso seco por planta y para la velocidad de crecimiento 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 ya que respondieron de una manera más eficiente a sus variables de respuesta evaluadas, 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.

**PALABRAS CLAVE:**

LED, frecuencia, iluminación, menta, escasez.

**ABSTRACT:**

This research was conducted in an urban area of district 16 San Antonio in the Villa Armonía zone, in the department of La Paz. The objective was to determine lighting frequencies and agronomic performance in the mint crop. The study was conducted in a Completely Randomized Design (CRD) with a bifactorial arrangement using the varieties: LED light exposure times as Factor A, for Factor B two planting densities were used, forming six treatments, and three replications, the response variables were: plant height, leaf length, leaf width, number of leaves per plant, total fresh weight, total dry weight and growth rate. The results obtained during the field study for plant height showed significant differences in factor A, registering an average height of 40.48 cm with respect to factor B and the interaction frequency\* density, indicating that there is no interaction between the two factors for this variable. For leaf length, significant differences were recorded in factor A, with an average leaf length of 5.12 cm and density, indicating that there is no interaction between the two factors for this variable. In leaf width, significant differences were obtained in the frequency with an average of 2.51 cm leaf width. For the number of leaves per plant, significant differences were recorded with an average of 17.88. For the interaction of the factors frequency\*density, a significant result was obtained, which indicates that, with the interaction of illumination times and planting densities, there is a direct effect on the number of leaves. There were significant differences in the total fresh weight because the higher the frequency of illumination, the greater the demand of the plant and therefore its development will be satisfactory. For the total dry weight, significant differences were registered in factor A, registering an average of 2.17g of dry weight per plant and for the growth speed it was statistically demonstrated that the result was significant, which indicates that when using different frequencies of LED light, there is a direct effect on the growth speed since they responded in a more efficient way to their evaluated response variables, thus observing the interaction of lighting frequency - plant density, they had good results of mint production generating an improvement in the economic yield of the crop.

**KEYWORDS:**

LEDS, frequency, illumination, mint, shortage.

**AUTORES:**

**María Elena Ticona Quenta:** Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ticonaquenta152@gmail.com  
**Celia María Fernández Chávez:** Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

DOI: <https://doi.org/10.53287/txbn5623vk83k>

Recibido: 14/03/2023. Aprobado: 14/04/2023.



## INTRODUCCIÓN

*Adesmia miraflorensis* Remy es una especie nativa con crecimiento arbustivo perennifolio, semileñoso que puede llegar a crecer 0.80-2 m altura, crece en laderas secas y pedregosas de los cerros, entre los 3 000 - 4 000 m. Se encuentra distribuido desde el Sur de Perú, Oeste de Bolivia y Norte de Argentina (Ulibarri y Burkart, 2000). Tiene ramas castaño grisáceas a cobrizas terminadas en espinas. Hojas pecioladas, compuestas-parinpinadas, glabrescentes o pilosas de 10 - 25 mm longitud; folíolos de 2 - 5 mm longitud x 1 - 2.5 mm ovado-elípticos de color verde intenso. Flores axilares de 10 - 14 mm longitud, solitarias pediceladas y pentámeras; cáliz gamosépalo, piloso; corola papilionácea de color amarillo a naranja, con líneas cafés; androceo de 10 estambres libres; gineceo con ovario supero, alargado, unilocular, estilo corto y estigma simple. Fruto legumbre cubierta de pilosidad (Gutiérrez et al., 2013).

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.

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.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

El estudio se realizó durante la gestión 2021 en la ciudad de La Paz, ubicado en el macro distrito San Antonio, distrito 17, situado a 16°51'11" Latitud Sur y 68°10'72" Longitud oeste desde la línea del Ecuador. A una altitud de 3 627 m.s.n.m

### Metodología

Para la investigación se utilizaron dos factores de estudio: tiempos de exposición de luz LED y dos densidades de siembra, las cuales fueron sometidas a diferentes tratamientos para ver la interacción de los tiempos de iluminación con respecto a la densidad. para la temperatura promedio registrada en el área de estudio fluctuó entre 0 a 21 °C. 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, en cuanto a las temperaturas superiores fueron en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Para la construcción del sistema, se construyó un estante de fierro platino con las siguientes dimensiones: 2.25 x 1.62 m, se impermeabilizó las paredes laterales y la cubierta superior e inferior con papel plateado para q tenga un reflejo espejo, posteriormente se realizó el sistema eléctrico utilizando cables y precintos plásticos para cada tratamiento que está conectado a una caja térmica y a los tres temporizadores ya que este sistema es

programada automáticamente en el encendido y apagado de las luces LED, se usó bandejas plásticas forrado en el interior con agrofilm para la base de los recipientes donde se albergaron a ocho y seis esquejes por recipiente, haciendo un total de 126 esquejes.

La preparación del sustrato 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.

El diseño experimental empleado en el presente estudio de investigación fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo bi-factorial empleándose 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). Utilizando el siguiente modelo de análisis estadístico.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Dónde:  $Y_{ijk}$  = Una observación;  $\mu$  = Media poblacional;  $\alpha_i$  =Efecto del i-ésimo nivel del factor A (tiempos de exposición a luz LED);  $\beta_j$  = 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;  $\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental.

Los factores de estudio, fueron compuestos por el factor A (tiempos de exposición de luz LED) T1 = 4 horas; T2 = 12 horas y T3= 8 horas. El factor B (densidades de siembra) seis plantas/ bandeja y ocho plantas/ bandeja. Se contó con seis tratamientos, cada una con 3 repeticiones, haciendo un total de 18 unidades experimentales, los tratamientos se describen en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Combinación de los factores en estudio (tratamientos).

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

Las variables de respuesta fueron, altura de la planta, largo de hojas, ancho de hoja, número de hojas, peso fresco de planta completa, peso seco de la planta y velocidad de crecimiento,

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variable altura de planta (cm)

Tabla 2. ANVA variable altura de la planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

FV	gl	SM	CM	P-Valor	Significancia
Factor A	2	131.74	65.87	0.0220	*
Factor B	1	0.20	0.20	0.9017	NS
FAxFB	2	10.59	5.30	0.6608	NS
Error	12	148.15	12.35		
Total	17	290.68			
CV		9.34%			

En el análisis de varianza presentado en la tabla 2, 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 3. 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

La tabla 3, 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.

### Variable largo de la hoja (cm)

Tabla 4. ANVA variable Largo de Hojas resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

FV	gl	SM	CM	P-Valor	Significancia
Factor A	2	2.41	1.20	0.0001	*
Factor B	1	0.05	0.05	0.3569	NS
FAx FB	2	0.01	0.0031	0.9405	NS
Error	12	0.60	0.05		
Total	17	3.06			
CV		4.64%			

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 5. 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

La tabla 5, 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 es observado 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.

### Variable ancho de hojas (cm)

En la tabla 6, 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 6. ANVA variable Ancho de hojas resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

FV	gl	SM	CM	P-Valor	Significancia
Factor A	2	0.44	0.22	0.0001	*
Factor B	1	0.01	0.01	0.2271	NS
FAXFB	2	0.04	0.02	0.1469	NS
Error	12	0.11	0.01		
Total	17	0.61			
CV		3.98%			

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 7. 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

La tabla 7, 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 es observado 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.

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

FV	gl	SM	CM	P-Valor	Significancia
Factor A	2	17.19	8.60	0.0119	*
Factor B	1	0.03	0.03	0.8799	NS
FAxTB	2	16.58	8.29	0.0134	*
Error	12	15.75	1.31		
Total	17	49.56			
CV		6.94%			

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 9. 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

La tabla 9, 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 10. Duncan para la comparación de medias del factor A y factor B.

Factor A Frecuencia	Factor B Densidad	Promedio N° 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

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.

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

FV	gl	SM	CM	P-Valor	Significancia
Factor A	2	431.69	215.85	0.0117	*
Factor B	1	26542.08	26542.08	0.0001	*
Fx FB	2	193.29	96.65	0.0908	*
Error	12	393.17	32.76		
Total	17	27560.24			
CV		2.05%			

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 12. 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

En la tabla 12, 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 13. 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

La prueba Duncan al 5 % de probabilidad de la tabla 13, 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 14. 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

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.

En el presente trabajo de investigación se observó un promedio menor a los registrados por impofost 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.

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

FV	gl	SM	CM	P-Valor	Significancia
Factor A	2	2.08	1.04	0.0105	*
Factor B	1	0.68	0.68	0.0565	*
Fx FB	2	0.53	0.26	0.2192	NS
Error	12	1.83	0.15		
Total	17	5.13			
CV					22.34%

En el análisis de varianza presentado en la tabla 15, 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 16. 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

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 17. 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

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 es observado 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.

### Variable velocidad de crecimiento (días)

En la tabla 18, 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 18. ANVA variable velocidad de crecimiento de Planta resultado del empleo de diferentes tiempos de exposición a luz LED y dos densidades

FV	gl	SM	CM	P-Valor	Significancia
Factor A	2	0.01	0.01	0.0309	*
Factor B	1	0.00	0.00	0.9999	NS
FAxTB	2	0.0016	0.0008	0.6116	NS
Error	12	0.02	0.0016		
Total	17	0.04			
CV		17.52%			

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 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 19. 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

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 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 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.

## CONCLUSIONES

La energía emitida por el LED violeta de 29  $\mu\text{mol}$ , 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 cm de velocidad de crecimiento y la frecuencia de 8 horas obtuvo una media de 0.23. 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.

## BIBLIOGRAFÍA

- Calzada, B. J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Lima, Perú. 546p.
- Guerra Reina, J. K. (2010). Densidad de siembra y su efecto sobre las características agronómicas y rendimiento en *Mentha piperita* L. menta en la zona de Belén.
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo, EC.) 1997. Manual Internacional de fertilidad de suelos. Quito, EC. 93 p.
- 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.
- 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.
- 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).

- Muñoz, F. (2000). Plantas Medicinales y Aromáticas Estudio, Cultivo y Procesado. Barcelona: Mundi-Prensa
- 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>
- Torres, P. (2006). Sustentabilidad y agricultura urbana. Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- 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).