

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



**TESIS DE GRADO**

**EFFECTO DEL COLOR DE LA LUZ LED EN LA PRODUCCIÓN DE KALE (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) EN EL MUNICIPIO DE EL ALTO**

**ELVIA MARISOL RIVERO ARUNI**

**LA PAZ - BOLIVIA**

**2022**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EFFECTO DEL COLOR DE LA LUZ LED EN LA PRODUCCIÓN DE KALE (*Brassica oleracea L. var. acephala*) EN EL MUNICIPIO DE EL ALTO**

Tesis de Grado presentado como  
requisito parcial para optar el Título  
de Ingeniero Agrónomo

**ELVIA MARISOL RIVERO ARUNI**

**ASESOR**

Ing. Joel Moisés Mamani Huanca

Ing. MSc. Celia María Fernández Chávez

**TRIBUNAL**

Ing. MSc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta

Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas

Ing.Ph.D. José Yakov Arteaga García

**Aprobada**

**Presidente Tribunal Examinador:**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre Daria Aruni (+) pues sin ella no lo había logrado. Tú bendición a lo largo de mi vida con Tigo y hoy sin ti me ha protegido y me ha llevado por el camino del bien. Por todas tus enseñanzas y el amor que me has dado. A mi padre Federico Rivero que siempre me ha apoyado y alentado a lo largo de mi vida, mis hermanos por ser fuente de inspiración Américo, Laura, Diego.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí y haberme brindado unos padres excepcionales por guiar mis pasos en todo camino que eh tomado.

Quiero agradecer a mis padres, Daria Aruni(+) y Federico Rivero que me han apoyado de distintas manera en el trayecto de mi formación, a mis hermanos Americo,Laura,Diego que me han alentado y guiado de maneras tan suyas que son y serán un gran ejemplo en mi vida.

Agradecer a una persona muy especial Adamo por el apoyo y alento en todo proceso universitario nunca me dejado sola y ha sido un gran copiloto de este proyecto y de mi vida.

.Al Ing. Joel Moises Mamani Huanca que siempre me apoyado en todo este proceso de mi vida universitaria, que ha compartido sus conocimientos con paciencia como asesor en la elaboración de mi tesis gracias por la comprensión y su enseñanza.

Ala Ing. Celia Fernández gracias por el apoyo y aver aceptado ser una de sus tesisistas gracias por todas las observación y ayuda que me a brindado.

A mis revisores al Ing.MSc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta por la comprensión y enseñanza que me a brindado por compartir con mi persona todo su conocimiento respecto a mi cultivo, al Ing. Luis Humberto Ortuño Roja por ayudarme a modificar algunas observaciones a mi proyecto desde el inicio de mi siembra, al Ing.Ph.D. José Yakov Arteaga García gracias por sus sugerencias respecto a mi trabajo por las correcciones y enseñanza.

Mi casa de estudio la Universidad Mayor de San Andrés, la Facultad de Agronomía, Carrera Ingeniería Agronómica que me acogió y me dio tantos años de felicidad y enseñanza. Alos docentes que siempre me han apoyado y guiado en toda mi vida universitaria gracias por tanta enseñanza y confianza y apoyo en todas las áreas, a mis amigos que me han alentado y aquellos que me han apoyado.

## CONTENIDO DE INVESTIGACIÓN

	<i>Pág.</i>
Índice DE TEMAS.....	ii
<i>ÍNDICE DE TABLAS.....</i>	<i>viii</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS.....</i>	<i>x</i>
<i>GLOSARIO.....</i>	<i>xii</i>
<i>RESUMEN.....</i>	<i>xiv</i>
<i>ABSTRACT.....</i>	<i>xv</i>

### Índice DE TEMAS

<b>1.INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.Objetivo general .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.Objetivos específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>3.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Características generales de la col rizada o kale.....</b>	<b>5</b>
3.1.1. Origen.....	5
3.1.2. Taxonomía .....	5
3.1.3. Genética de la especie col rizada.....	6
3.1.4. Morfología de col rizada .....	7
3.1.5. Importancia nutricional.....	8
3.1.6. Marco de plantación .....	10
3.1.7. Cultivo de col rizada.....	10

3.1.7.1 Siembra.....	10
3.1.7.2. Labores culturales .....	11
3.1.7.2.1. Riego .....	11
3.1.7.2.2. Raleo .....	11
3.1.7.2.3. Deshierbe o control de malezas .....	12
3.1.7.2.4. Podas.....	12
3.1.7.2.5. Trasplante.....	12
3.1.7.2.6. Cosecha .....	12
3.1.8. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de col rizada .....	14
3.1.8.1. Temperatura .....	14
3.1.8.2. Suelo .....	14
3.1.8.3. Riego .....	15
3.1.9. Variedades de kale o col rizada .....	15
3.1.10. Beneficios de la col rizada .....	17
3.1.11. Plagas y enfermedades de la col rizada .....	17
3.1.11.1. Insecto-plaga.....	17
3.1.11.2. Enfermedades .....	17
<b>3.2. La agricultura urbana.....</b>	<b>18</b>
3.2.1. Agricultura de interiores .....	18
3.2.2. Los ambientes urbanos y la luz.....	19
<b>3.3. Producción bajo luz LED.....</b>	<b>19</b>
3.3.1. La luz y las plantas .....	19
3.3.2. Iluminación LED .....	20
<b>3.4. Características del LED.....</b>	<b>20</b>
3.4.1. Tiempo On / Off .....	21
3.4.3 Tiempo de encendido: .....	21
3.4.3.1. Tiempo de calentamiento.....	21
3.4.4. Aplicación de los diodos LED .....	21
3.4.5. Clasificación según la radiación emitida .....	22
3.4.6. Cinta A LED SMD 5050 – IP65.....	23
3.4.6.1. Beneficios de la cinta LED 5050-IP-65 .....	23
3.4.7. Identificación de las características esenciales del sistema de iluminación.....	24
<b>3.5. Sistemas de producción .....</b>	<b>24</b>
3.5.1. Producción en ambiente protegido.....	24

3.5.2. Experiencia del empleo de luz LED en agricultura .....	25
3.5.3. Sistema de iluminación .....	26
3.5.4. Radiación fotosintéticamente activa .....	26
3.5.5. Efectos de la luz .....	26
<b>3.6. Importancia de la luz en el desarrollo de plantas .....</b>	<b>27</b>
3.6.1. Cantidad/ calidad de Luz .....	27
<b>4. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1. Localización.....</b>	<b>28</b>
4.1.1. Características climáticas .....	28
<b>4.2. Materiales.....</b>	<b>29</b>
4.2.1. Material biológico .....	29
4.2.2. Insumos .....	29
4.2.3. Material para la construcción.....	29
4.2.4. Material de gabinete.....	30
<b>4.3. Métodos .....</b>	<b>30</b>
4.3.1. Fase 1 – Construcción .....	30
4.3.2. Fase 2 – Adecuación.....	31
4.3.3. Fase 3 – Cultivo.....	31
4.3.4. Fase 4 – Labores culturales .....	32
4.3.5. Fase 5 – Evaluación .....	33
<b>4.4. Diseño experimental .....</b>	<b>33</b>
4.4.1. Modelo lineal.....	34
4.4.2. Tratamientos y repeticiones.....	34
4.4.3. Unidad experimental .....	35
4.4.4. Croquis experimental.....	35
4.4.5. Variables de respuesta.....	36
4.4.6. Variables agronómicas .....	36
4.4.6.1. Altura de planta (cm).....	36
4.4.6.2. Numero de hojas (N <sup>º</sup> hojas/planta) .....	36
4.4.6.3. Ancho de hojas (cm) .....	37
4.4.6.4. Largo de hoja (cm).....	37
4.4.6.5. Peso fresco(g/bandeja,planta/m <sup>2</sup> ) .....	37
4.4.6.6. Peso seco(g/bandeja,planta/m <sup>2</sup> ) .....	37

4.4.6.7. Largo de raíz (cm) .....	37
4.4.6.8. Rendimiento (g/m <sup>2</sup> ).....	38
4.4.7. Variables económicas .....	38
4.4.7.1. Beneficios o ingresos, .....	38
4.4.7.2. Costos de producción (Bs/m <sup>2</sup> ) .....	38
4.4.7.3. Relación Beneficio /Costo.....	39
<b>5.RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1. Variables alternas.....</b>	<b>40</b>
5.1.1. Fluctuación de las temperaturas durante el ciclo del cultivo .....	40
5.1.2. Análisis de parámetros físicos y químicos del suelo.....	41
<b>5.2. Variables de respuesta .....</b>	<b>42</b>
5.2.1. Variable altura de planta (cm).....	42
5.2.2. Variable número de hojas por planta (N°) .....	45
5.2.3. Variable ancho de hoja (cm).....	48
5.2.4. Variable larga de hoja (cm) .....	50
5.2.5. Variable peso fresco (g).....	52
5.2.6. Variable peso seco(g) .....	55
5.2.7. Variable largo de raíz .....	58
5.2.8. Variable rendimiento por bandejas (g/m <sup>2</sup> ) .....	60
<b>5.3. Variable económica (Bs/m<sup>2</sup>).....</b>	<b>62</b>
5.3.1. Costos de producción (Bs/m <sup>2</sup> ) .....	62
5.3.2. Beneficio bruto (Bs/m <sup>2</sup> ) .....	63
5.3.3. Relación beneficio costo .....	63
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>67</b>



## ÍNDICE TABLAS

<b>TABLA 1</b> Clasificación taxonómica .....	<b>6</b>
<b>TABLA 2</b> Composición nutricional de brassicaceae (por porción 100g) .....	<b>9</b>
<b>TABLA 3</b> Composición mineral de kale (por porción 100g) .....	<b>9</b>
<b>TABLA 4</b> Variedades de kale.....	<b>16</b>
<b>TABLA 5</b> Características LED.....	<b>21</b>
<b>TABLA 6</b> Características de la cinta A LED 5050 IP-65.....	<b>23</b>
<b>TABLA 7</b> Absorción de longitudes de onda para los pigmentos foto sensitivos.....	<b>24</b>
<b>TABLA 8</b> Combinación de factores A y factor B con 3 repeticiones .....	<b>34</b>
<b>TABLA 9</b> Datos promedio de la temperatura dentro del predio de investigación .....	<b>41</b>
<b>TABLA 10</b> Estudio y comparación con parámetros en el suelo.....	<b>41</b>
<b>TABLA 11</b> ANVA variable Altura de Plantas.....	<b>42</b>
<b>TABLA 12</b> Duncan para la comparación de medias del factor A .....	<b>43</b>
<b>TABLA 13</b> ANVA variable número de hojas .....	<b>45</b>
<b>TABLA 14</b> Duncan para la comparación de medias del factor A.....	<b>46</b>
<b>TABLA 15</b> ANVA variable ancho de hoja .....	<b>48</b>
<b>TABLA 16</b> ANVA variable largo de hoja.....	<b>50</b>
<b>TABLA 17</b> ANVA variable peso fresco.....	<b>52</b>
<b>TABLA 18</b> Duncan para la comparación de medias del factor A .....	<b>53</b>
<b>TABLA 19</b> ANVA variable peso seco .....	<b>55</b>
<b>TABLA 20</b> Duncan para la comparación de medias del factor A.....	<b>56</b>
<b>TABLA 21</b> ANVA variable largo de raíz.....	<b>58</b>
<b>TABLA 22</b> ANVA variable RDN por bandeja .....	<b>60</b>

<b>TABLA 23</b> Duncan para la comparación de medias del Factor A.....	<b>61</b>
<b>TABLA 24</b> Costos del cultivo de kale por los tratamientos (Bs/tratamiento) .....	<b>62</b>
<b>TABLA 25</b> Ingreso bruto total .....	<b>63</b>
<b>TABLA 26</b> Relación beneficio costo de los tratamientos.....	<b>64</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> Especto electromagnético de la luz LED.....	<b>27</b>
<b>FIGURA 2</b> Mapa de ubicación de la investigación.....	<b>28</b>
<b>FIGURA 3</b> Croquis de campo de las unidades experimentales en estudio.....	<b>35</b>
<b>FIGURA 4</b> Figura de densidad de siembra .....	<b>35</b>
<b>FIGURA 5</b> Fluctuación de temperaturas durante la investigación.....	<b>40</b>
<b>FIGURA 6</b> Desinfección de suelo con pistola de calor.....	<b>86</b>
<b>FIGURA 7</b> Transplante .....	<b>86</b>
<b>FIGURA 8</b> Sembrado en Almacigera.....	<b>86</b>
<b>FIGURA 9</b> Preparado del ambiente .....	<b>86</b>
<b>FIGURA 10</b> Etapa del transplante .....	<b>86</b>
<b>FIGURA 11</b> Encendido de el azul.....	<b>86</b>
<b>FIGURA 12</b> .....	<b>87</b>
<b>FIGURA 13</b> Tercer días de producción.....	<b>87</b>
<b>FIGURA 14</b> Registro de datos de hojas.....	<b>87</b>
<b>FIGURA 15</b> .....	<b>87</b>
<b>FIGURA 16</b> Pesaje del cosechado.....	<b>87</b>
<b>FIGURA 17</b> Cosecha .....	<b>87</b>
<b>FIGURA 18</b> Etapa raleo en almacigera.....	<b>88</b>
<b>FIGURA 19</b> Medicion de la planta.....	<b>88</b>
<b>FIGURA 20</b> Secado de hoja en la mufra.....	<b>88</b>
<b>FIGURA 21</b> Pesaje materia seca .....	<b>88</b>
<b>FIGURA 22</b> Toma de datos .....	<b>88</b>

<b>FIGURA 23</b> <i>Preparacion de sustrato</i> .....	<b>88</b>
<b>FIGURA 24</b> <i>Colocado de luz led</i> .....	<b>89</b>
<b>FIGURA 25</b> <i>Laboratorio toma de datos</i> .....	<b>89</b>
<b>FIGURA 26</b> <i>Análisis químico de suelo</i> .....	<b>90</b>

## GLOSARIO

**ANVA** Conocido como análisis de varianza, es un modelo estadístico en el cual la varianza esta particionada a ciertos componentes debido a diferentes variables explicativas

**Fluorescencia** Propiedad de reflejar la mayor longitud de onda que la recibida cuando están expuestas a ciertos rayos del espectro.

**Fotoperiodo** Termino para designar la duración del tiempo diario en que los organismos están expuestos a la acción de la luz.

**LED** Es un diodo emisor de luz donde en su interior hay un semiconductor atravesado por tensión continua el cual hace que emita luz, a este fenómeno se conoce como electroluminiscencia

**Longitud de onda** Es la distancia que recorre una perturbación (onda) en un determinado periodo de tiempo. Luminiscencia Fenómeno relativo a la producción de luz de débil intensidad por parte de ciertas plantas.

**NIR** Luz del infrarrojo cercano, es el campo espectral de la radiación solar desde los 700 hasta 2500 nanómetros para generar calor. **PAR** La luz usada por los vegetales desde los 400nm hasta los 700 nm para la fotosíntesis (conocida como radiación PAR, radiación fotosintéticamente activa -Photosynthetic Active Radiación- o luz de crecimiento), variando el efecto de la longitud de onda según las horas del día y los estadios de crecimiento de la planta.

**SMD.** Esta sigla proviene del inglés Light Emitting Diode Surface Mount Device. Es un diodo emisor de luz de montaje superficial. Es un chip muy pequeño envuelto en resina epoxi, que en forma de unidad se fija a una superficie, en nuestro caso una tira para poder utilizarlos.

**RFA.** Se denomina radiación fotosintéticamente activa (RFA) a la cantidad de radiación integrada del rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética en las plantas

**DLI.** La luz diaria integral (DLI) mide la cantidad total de luz que recibe una planta cada día. La DLI es una medida acumulativa del número total de fotones que llegan a las plantas y algas durante el fotoperiodo diario.

**Especto electromagnético.** Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias o de longitudes de ondas y pueden clasificarse según su principal fuente de producción. La clasificación no tiene límites precisos.

**RDN.** Rendimiento de la producción en unidades de Tn/ha o kg/m<sup>2</sup> o g/m<sup>2</sup>.

## RESUMEN

La col rizada (*Brassica oleracea var. acephala*) un cultivo innovador que presenta un importante impacto en el aspecto nutricional, la técnica de producción en sistemas cerrados donde se valoriza la herramienta sobre los efectos de la iluminación por LEDs en el desarrollo vegetal contribuirá en la productividad de cultivos alimentarios en ciertas partes del mundo. Debido a ello se planteó la presente investigación titulada: Efecto del color de la luz led en la producción de kale en el municipio de El Alto, se plantearon los siguientes objetivos: Identificar el efecto de tres diferentes colores de luces LED en la producción del cultivo kale en sistema cerrado, Comparar las dos distintas densidades de siembra en el cultivo kale, Realizar el análisis de costos parciales y de relación beneficio costo. Estos bajo un diseño un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial donde el factor A fue el color de luz LED y el factor B fueron las dos densidades, con un total de ocho variables de respuestas donde se obtuvieron los siguientes resultados: sobre la altura de las plantas el factor A colores de luz LED fue altamente significativo. la prueba duncan nos da el resultado que la luz LED azul fue la que obtuvo un mayor promedio de 24.06 cm, el Número de Hojas en el factor A colores mixta LED fue altamente significativo. la luz LED mixta obtuvo un mayor promedio de 16.67 hojas. En la variable peso fresco en el factor A el color de LED mixta fue altamente significativo, con un promedio de 10.24 gramos. En rendimiento, en el factor A colores de mixta LED fue altamente significativo con promedio de 40.38 gramos, en las variables como ser ancho de hoja, largo de hoja, largo de raíz el análisis de varianza nos muestra que no tienen significancia. El factor B, densidad de siembra de 8 plantines/bandeja y de 6 plantines/bandeja se obtuvo un resultado de no significativo en todas las variables de respuesta. El mayor beneficio donde se describe la relación beneficios costos, R/B del tratamiento (T2) con 0.7 Bs, indicando que por cada boliviano invertido no se generaría alguna ganancia, el coeficiente de menor coeficiente es el tratamiento (T6) con 0.4 Bs, siendo que el coeficiente de relación beneficio costo indico que la producción del cultivo no es rentable en todos los tratamientos.

## ABSTRACT

Kale (*Brassica oleracea var. acephala*) an innovative crop that has a significant impact on the nutritional aspect, the production technique in closed systems where the tool is valued on the effects of LED lighting on plant development will contribute to the productivity of food crops in certain parts of the world. Due to this, the present investigation entitled: Effect of the color of LED light on the production of kale in the municipality of El Alto was proposed, the following objectives were proposed: Identify the effect of three different colors of LED lights in the production of the kale crop in a closed system, Compare the two different planting densities in the kale crop, Perform the analysis of partial costs and cost-benefit ratio. These under a completely randomized design with a bifactorial arrangement where factor A was the color of LED light and factor B were the two densities, with a total of eight response variables where the following results were obtained: on the height of plants the factor A colors of LED light was highly significant. the duncan test gives us the result that the blue LED light was the one that obtained a higher average of 24.06 cm, the Number of Leaves in factor A mixed LED colors was highly significant. the mixed LED light obtained a higher average of 16.67 leaves. In the fresh weight variable in factor A, the mixed LED color was highly significant, with an average of 10.24 grams. In performance, in factor A mixed LED colors was highly significant with an average of 40.38 grams, in variables such as leaf width, leaf length, root length, the analysis of variance shows us that they have no significance. Factor B, planting density of 8 seedlings/tray and 6 seedlings/tray, a non-significant result was obtained in all the response variables. The greatest benefit where the benefit-cost ratio is described, R/B of the treatment (T2) with 0.7 Bs, indicating that for each Bolivian invested no profit would be generated, the coefficient with the lowest coefficient is the treatment (T6) with 0.4 Bs, being that the cost-benefit ratio coefficient indicated that crop production is not profitable in all treatments.



## 1.INTRODUCCIÓN

La col rizada (*Brassica oleracea var. acephala*) es una *Brassica* que presenta un importante impacto en el aspecto nutricional por su riqueza en hierro, calcio, vitamina A y ácido ascórbico, así como en el aspecto económico considerando la creciente expansión del mercado de hortalizas orgánicas. Los estudios científicos están dirigidos a esta hortaliza con el fin de comprender mejor su desarrollo y sus requerimientos en relación con el medio ambiente, insumos, sustratos (BARROS,2015).

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 además de tener un mejor control de plagas, mayor producción en menor espacio (Jiménez,2016).

El 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 (Árcas,2014).

Espinal y Del Castillo (2018), mencionan esta nueva e innovadora metodología de producción, puede llegar a ser una alternativa en la agricultura; no será una respuesta contundente a la seguridad alimentaria, pero, podrá aplacar en alguna medida la escasez de alimentos en nuestro medio generando más alimentos en poca área aprovechando el espacio en vertical de un ambiente.

Aún queda mucho por investigar en este campo, dado que este tipo de investigación es reciente en otros países, no obstante nosotros también podemos realizarlos en nuestro medio como aporte y pensando en el uso racional del recurso energético y económico en relación al convencional ( Espinal y Del Castillo *et al.*; 2018).

## **1.1. Antecedentes**

La col rizada (*Brassica oleracea var. acephala*) se caracteriza como una hortaliza bienal de extrema importancia en esta categoría debido a su amplia aceptación y alta productividad. Existe una amplia gama de cultivares de col rizada, desde la tipología suave hasta la rizada, con diferentes formas y colores de hojas (Novo *et al.*; 2010).

Lasso (2016), da a conocer que las luces de crecimiento a los sistemas de iluminación empleados en los cultivos en interiores, hacen parte de este concepto y son una fuente de luz artificial.

La tecnología de luz LED artificial ha sido 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, Singaas & Sharkey, 2000).

## **1.2. Planteamiento del problema**

La agricultura urbana es considerada como un concepto dinámico que comprende una variedad de sistemas agrícolas, que van desde la producción para la subsistencia y el procesamiento casero hasta la agricultura totalmente comercializada. La agricultura urbana normalmente tiene una función de nicho en términos de tiempo (transitoria), espacio (de intersticio), así como condiciones sociales (por ej., mujeres y grupos de bajos ingresos) y económicas específicas (Tello, 2012)

Con la segunda tasa de malnutrición crónica más elevada de América Latina, Bolivia es un país donde casi uno de cada tres niños menores de cinco años presenta retrasos en su crecimiento, uno los efectos de la mal nutrición (Johannsen 2013).

Uno de los problemas es el crecimiento en torno abierto a comparación a un ambiente cerrado de luces LED en el kale (col rizada o crespita) debe producir y desarrollar al igual que en luz normal, pero en luz artificial.

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 Amazings (2016).

### **1.3. Justificación**

Por estas situaciones adversas actuales (Pandemia 2019-2020) que han generado controversias, además nos presentaron complicaciones en el abastecimiento de alimentos y suministros básicos, tal situación nos orilló a buscar alternativas de producción urbana, donde se controlen todos los parámetros productivos.

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

## **2.OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo general**

Determinar el efecto del color de la luz LED en la producción de Kale (*Brassica oleracea* L. *var.acephala*) en el Municipio de El Alto.

### **2.2.Objetivos específicos**

- Identificar el efecto de tres diferentes colores de luces LED en la producción del cultivo kale en sistema cerrado.
- Comparar las dos distintas densidades de siembra en el cultivo kale.
- Realizar el análisis de costos parciales y de relación beneficio costo.

### **3.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Características generales de la col rizada o kale**

La col rizada (*Brassica oleracea var. acephala*) es una *brassica* que presenta un importante impacto en el aspecto nutricional por su riqueza en hierro, calcio, vitamina A y ácido ascórbico, así como en el aspecto económico considerando la creciente expansión del mercado de hortalizas orgánicas (SILVA et al., 2012).

Los estudios científicos están dirigidos a esta hortaliza con el fin de comprender mejor su desarrollo y sus requerimientos en relación con el medio ambiente, insumos, sustratos y plagas relacionadas (SILVA et al., 2012).

García (2015), indica que la col rizada se desarrolla con similitud a las demás especies de la familia *Brassicaceae*, teniendo como principal característica que éste, es un cultivo de hoja.

##### **3.1.1. Origen**

Según Sánchez (2017), no indica que la col rizada(kale) es una planta herbácea originaria de Alemania que alcanza una altura de 40 centímetros. Las hojas crecen en forma de rosetas, y miden hasta 35 cm de largo, de color verde oscuro.

La col rizada es una col con hoja rizadas o lisas, propia del norte de Alemania. Se cultiva principalmente en el norte de Europa en la costa noroeste de América del Norte y partes de Mexico.

El autor anterior también menciona que en Sudamérica se va insertando la producción desde el 2015 en Chile y en Argentina la *Brassica oleracea* es el nombre botánico de esta especie de la familia de las crucíferas y se conoce comúnmente como col rizada, col crespa o kale.

##### **3.1.2. Taxonomía**

Taxonomía Botánicamente se describe la col rizada como una planta herbácea bienal, que se cultiva como anual. La col rizada es una hortaliza de la que se consumen las

hojas, que están insertas en un tallo único que va creciendo hacia arriba y se van cosechando las hojas más antiguas. Esta planta alcanza entre los 40 cm hasta 1.50 m altura, dependiendo la variedad. Si bien prefiere las temperaturas frías o suaves, con temperaturas altas (Sabelatierra, 2016).

**TABLA 1**

*Clasificación taxonómica*

<b>Reino :</b>	<i>Plantae</i>
<b>División:</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase:</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Orden:</b>	<i>Brassicales</i>
<b>Familia:</b>	<i>Brassicaceae</i>
<b>Género:</b>	<i>Brassica</i>
<b>Especie:</b>	<i>Brassica oleracea</i> L.
<b>N. científico:</b>	: <i>Brassica oleracea</i> L. convar. <i>acephala</i> (DC.) Alef. var. <i>sabellica</i> L.
<b>N. común:</b>	Col rizada, col crespita

Fuentes. upov (2011), señala clasificación taxonómica de la col rizada

**3.1.3. Genética de la especie col rizada**

El kale tiene un número de cromosomas de  $n=9$  o  $2n=18$  y es derivado de col silvestre (*B. oleracea*), un tamaño de genoma de 488 mbp. La diversidad de las *brassicaceas* proviene de una triplicación de genoma completo en un ancestro de *B. rapa* que facilitó hibridación y especiación a través del reordenamiento genómico y retención génica sesgada (Cheng et al., 2014).

Siguiendo esta triplicación, el cultivo de diferentes razas locales adaptadas localmente de *B. oleracea* que fueron seleccionados por otros rasgos a lo largo del tiempo dieron como resultado modernos cultivos como brócoli y col rizada (Stansell et al., 2018).

### 3.1.4. Morfología de col rizada

El Kale es una especie de fácil manejo, sus requerimientos son similares a los de otras Brassicaceae. Se recomienda hacer rotaciones con cultivos que no pertenezcan a la familia y volver a plantarlos sobre el mismo suelo cada 3-4 años (Šamec et al., 2019).

Maroto(2002), señala que esta variedad tiene un ciclo de vida que no forma una cabeza de hojas, sino que están dispuestas abiertamente a lo largo de un tallo cilíndrico grueso, de 50 a 70 cm de alto, por lo que tiene un habito similar al brócoli. Las hojas con peciolo gruesos, tienen un limbo oblongo ovalado, con una superficie lisa a muy rizada, características de diferentes formas de col, reconocidas por algunos autores como subvariedades.

Según García (2015), describimos la morfología de la hortaliza de col rizada de manera general, la cual puede variar entre variedades.

**Raíz:** La forma de raíz de esta especie es de arraigamiento superficial, con raíz pivotante que alcanza hasta los 80 cm de profundidad, pero cuya masa radical más importante (raíces secundarias, terciarias y raicillas) se concentran en los primeros 40 a 60 cm del perfil del suelo, en especial cuando se destruye la raíz primaria, como ocurre casi siempre al realizar su cultivo por almácigo y trasplante (García,2015).

**Tallo:** Durante el primer ciclo vegetativo la col rizada forma un tallo largo herbáceo y erecto donde están distribuidos las hojas a lo largo del tallo de manera intercalar, la altura del tallo depende de la variedad y por diversos factores edafoclimáticos (García,2015).

**Hojas:** Las hojas de esta especie son simples, grandes, irregulares, anchas y de variadas formas según la variedad (ovales, oblongas, rizadas, partidas), lobuladas en su base, pencas gruesas, pueden ser sésiles y de pedúnculo largo, limbo redondeado o elipsoidal, presenta nervaduras muy notorias, presentándose muy gruesa. Los colores de las hojas pueden ser verdes claros, verde oscuro, rojos, sus nervaduras pueden ser verdes o moradas (García,2015).

**Flor:** Se produce durante el segundo ciclo vegetativo cuando la planta alcanza una altura entre 1,20 – 1,50 m este se ramifica formando racimos florales, las flores en gran número son amarilla o blanquecinas y se disponen en racimo en el extremo del tallo (García,2015).

**Fruto:** La col rizada son plantas bianuales, por lo que producen fruto al segundo año. Sus flores son de color amarillo y las semillas se encuentran en pequeñas vainas. El fruto es una silicua cilíndrica, semejante a una pequeña vaina, dehiscente y glabra de aproximadamente 10 cm de longitud y 4 a 5 cm de ancho y contiene unas 20 semillas 8 por lóculo, las que son redondeadas de superficie irregular y pequeñas (2 mm de diámetro) de coloración marrón (García,2015).

### **3.1.5. Importancia nutricional**

Tiene muchas propiedades nutraceuticas y es considerado un superalimento, porque sus hojas contienen gran cantidad de hierro, vitaminas A y K, antioxidantes, entre otras (Sánchez & Strassera,2020).

Masabni (2014), menciona que la col es una de las verduras más nutritivas. Tiene bajo contenido de calorías y alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales. Si bien pertenece a la familia de los repollos, la col no forma una cabeza. Se desarrolla a partir de las hojas. La col tolera más el frío y el calor que la mayoría del resto de verduras, es fácil de cultivar, productiva y se adapta bien tanto a huertos grandes como pequeños.

Podemos mencionar la presencia de vitamina C, carotenoides y fenoles, que le aportan propiedades antioxidantes de glucosinolatos, un grupo de compuestos cuyos productos de hidrólisis tienen propiedades anticancerígenas (Podsędek,2007).

El Kale, como miembro de la familia *Brassicaceae*, tiene un importante valor nutricional (Tabla 2 y 3), aportando un alto contenido de fibras y de energía. A su vez tiene un alto contenido de vitaminas A y vitamina C, micronutrientes (hierro, zinc y manganeso), macronutrientes (calcio y magnesio), fenoles, carotenoides, glucosinolatos (BecerraMoreno et al., 2014; Korus, 2011; Thavarajah et al., 2019; Walsh et al., 2015).



Reportaron que una porción de Kale aporta más del 40% de vitamina A y del 10% de vitamina C, de lo que se recomienda consumir diariamente. Además del alto valor nutricional del Kale, otro promotor de la expansión del cultivo es la baja oferta que hay en el mercado argentino, lo cual provoca que pueda comercializarse con un precio más elevado que otras hortalizas de hojas (Tamashiro,2017).

**TABLA 2**

*Composición nutricional de brassicaceae (por porción 100g)*

<b>Kale</b>	<b>%</b>
<b>Agua(g)</b>	89.63
<b>Energía (kcal)</b>	35
<b>Proteínas(g)</b>	2.92
<b>Lípidos totales (g)</b>	1.49
<b>Cenizas(g)</b>	1.54
<b>Fibras(g)</b>	4.41
<b>Azúcares(g)</b>	0.99

Fuentes. (USDA,2019).

**TABLA 3**

*Composición mineral de kale (por porción 100g)*

<b>MINERALES</b>	<b>KALE(PORCION DE 100g)</b>
<b>Ca</b>	254 mg
<b>Fe</b>	1.6 mg
<b>Mg</b>	33 mg
<b>P</b>	55 mg
<b>K</b>	348 mg
<b>Na</b>	53 mg
<b>Zn</b>	0.39 mg
<b>Mn</b>	0.92 mg
<b>Se</b>	0.9 µg

Fuentes (USDA, 2019)

### **3.1.6. Marco de plantación**

A la hora del trasplante de la col rizada a su lugar definitivo se debe mantener una distancia de entre 30 y 40 centímetros entre plantas y entre 50 y 70 centímetros entre líneas de cultivo. La densidad de cultivo alcanza a 5-7 plantas por metro cuadrado y tiene una textura apropiada para el consumo si se corta a las 8 o 10 semanas de su cultivo en campo abierto (Growing,2017).

### **3.1.7. Cultivo de col rizada**

Un huerto en mi balcón (2016), nos menciona que Para realizar la producción de col rizada se debe realizar los semilleros en primavera o verano y se cosecha en invierno, por ser una hortaliza resistente a bajas temperaturas, se puede producir cultivos rápidos de la col rizada primavera, mientras que el clima es fresco, y luego las plantas una segunda vez a finales del verano para la cosecha después de que el clima se enfría de nuevo en el otoño.

#### **3.1.7.1 Siembra**

Sommantico (2018), indica que hay dos métodos para realizar la siembra en vivero o en campo por siembra directa o al voleo. Para un uso más eficiente del agua, los nutrientes, mejor cultivar bajo techo, si las herramientas no están disponibles, también se observa un buen crecimiento en el campo.

Así mismo la misma autora, menciona que la semilla es una pequeña esfera color negro grisáceo de aproximadamente 1 mm de diámetro. En caso de sembrar bajo cubierta se recomienda mezclar tierra con compost. La profundidad de plantación es de aproximadamente 1,5 cm, luego suelo y agua inmediatamente.

Un huerto en mi balcón (2016), aconseja sembrar el kale en semilleros, para optimizar el espacio del huerto. Ya que los semilleros de kale y otras coles deben realizarse durante la primavera y el verano y a los 7 días de la siembra estas emergerán.

Mannise (2019), nos dice que las semillas se siembran, en siembra directa sobre el suelo y madurarían entre 55 y 75 días, mientras que si son en almacigueros se

aceleran en el proceso y estarán listas para la cosecha en unos 30 a 40 días después del trasplante.

Saavedra (2019), refiere que este cultivo se puede manejar de las dos maneras tradicionales, siembra directa y almácigo trasplante. En siembra directa se usan aproximadamente 4 a 5 kg/ha de semilla en hilera simple distanciando entre hileras 0,7 a 0,75 m. En este sistema, la fecha de siembra debe ser más temprano para favorecer la germinación de la semilla con mejor temperatura de suelo antes que comience el enfriamiento y el posterior desarrollo de plantas en su establecimiento.

### **3.1.7.2. Labores culturales**

Arce (2016), nos menciona que en las huerta urbana se implementan prácticas para el cuidado de las variedades en hortalizas las labores culturales se realizan con los grupos de investigación, la interacción con los diferentes grupos de participación permite generar espacios para la transferencia de conocimiento para la obtención de productos con calidad como para la dinamización de los tres elementos, el recurso, la comunidad y el modo de gestión. las prácticas más recurrentes son:

#### **3.1.7.2.1. Riego**

Es indispensable realizar esta labor en forma apropiada, se debe regar en las primeras horas de la mañana o al caer el sol en la tarde, tener en cuenta que la cantidad de agua aplicada a las plantas sea suficiente para que pueda ser absorbida rápidamente por el sustrato y se evite su saturación.

#### **3.1.7.2.2. Raleo**

Consiste en el retiro de plantas de la misma especie que crecen muy juntas (efecto competencia), ya que pueden perturbar el desarrollo. Esto sucede en aquellos casos en que 20 las semillas de especies muy pequeñas y se dificulta la dosificación, o en casos en que se deja pocas distancias entre ellas. En cultivos de siembra directa se debe guardar la distancia necesaria para el pleno desarrollo de la planta en el momento de ser cosechada.

### **3.1.7.2.3. Deshierbe o control de malezas**

es el retiro de hierbas que aparecen en el cultivo y que generan una competencia por espacio, luz o nutrientes que puedan afectar el adecuado desarrollo de las plantas. Las hierbas también se pueden convertir en focos de insectos y enfermedades. El proceso de retiro de las hierbas que invaden la unidad productiva se hace de forma manual o mediante el empleo de herramientas como rastrillo de mano, azadón. No se recomienda la eliminación de hierbas o plantas que no compiten con nuestro cultivo.

### **3.1.7.2.4. Podas**

Algunas plantas necesitan el retiro de partes como hojas, ramas y frutos secos enfermos, y podas de formación que permitan mejorar la estructura y optimizan las cosechas.

### **3.1.7.2.5. Trasplante**

Según Pleasant (2016) las plántulas emergerán de 4-7 días después de sembrarlas, es importante siempre mantener la humedad del semillero para que las plantas de col rizada se desarrollen bien. Las plántulas estarán listas para el trasplante cuando comiencen a salir el segundo par de hojas verdaderas. Antes del trasplante, debemos preparar nuestro suelo y aplicar composta. La distancia entre plantas es de 20-25 cm dependiendo de la variedad y el espacio disponible.

### **3.1.7.2.6. Cosecha**

Sommantico (2018), señala que la cosecha puede comenzar una vez que el cultivo tenga más de cinco hojas verdaderas. Así mismo recomienda comenzar a cosechar primero las hojas externas de la planta ya que esto fomenta su crecimiento, es importante dejar el punto de crecimiento, ya que de ahí se desarrollarán nuevas hojas.

El mismo autor nos menciona también que la cosecha de kale es escalonada en planta y en cultivo, de allí las hojas se pueden cosechar en diferentes etapas de madurez y desarrollo. Esto representa un problema postcosecha, debido al rendimiento

heterogéneo y la calidad de las hojas en diferentes etapas de madurez, particularmente aquellas destinadas al procesamiento de cortado (Albornoz,2014).

Wikihow (2016), dice kale col se cosecha aproximadamente 70-95 días después de sembrar y 55-75 días después de transferir a un lugar definitivo, la planta debe tener una altura de al menos ocho pulgadas antes de que coseches las hojas, el tiempo de cosecha varía dependiendo de cada variedad. Se debe arranca primero las hojas exteriores si solo estás recolectando las hojas individuales.

Mannise (2019), indica que el momento de cosechar es cuando las hojas, tienen 15 a 20 cm de ancho, se van cortando las hojas una a una, comenzando con las hojas más bajas y externas, y continuando hacia el centro así mismo menciona que es recomendable dejar algunas de las hojas centrales adheridas para estimular el crecimiento, en la mayoría de los casos se puede cosechar a partir de la misma planta de nuevo en cinco a siete días.

Las coles se pueden cosechar de dos maneras: Para las plantas pequeñas que necesitan adelgazamiento, corte toda la planta a unas cuatro pulgadas sobre el suelo. A veces volverá a crecer desde el lado del tallo Generalmente, solo se cosechan las hojas de col. Esto permite que la planta continúe creciendo y produciendo más hojas. En regiones templadas como las áreas costeras y del sur, las coles producen producción durante todo el invierno (Masabni,2014).

El indicador que las hojas están listas para ser cosechadas es el tamaño y suavidad de estas, que no alcancen a ponerse fibrosas y duras. La cosecha se realiza inicialmente por hojas desde abajo, o sea las hojas más viejas, pero una vez que la planta alcanza su altura definitiva, se debe cosechar completa para que no pierda calidad culinaria (Saavedra,2019).

### **3.1.8. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de col rizada**

#### **3.1.8.1. Temperatura**

El kale es una de las hortalizas de invierno que expuesta a bajas temperaturas y radiación solar es capaz de crecer. Es una de las plantas más versátiles de cultivar, prefiere temperaturas frescas para crecer, inclusive tolera temperaturas de  $-7^{\circ}\text{C}$  hasta  $27^{\circ}\text{C}$ , pero el óptimo está entre  $15$  y  $21^{\circ}\text{C}$ . Esta versatilidad le permite ser cultivado en invierno, con bajas temperaturas y radiación solar en latitudes bajas (áreas sobre el círculo polar ártico) y en verano en latitudes mayores (Decoteau,2000).

El kale se caracteriza por ser un cultivo de clima frío o ligeramente templado, teniendo la capacidad de desarrollarse mejor en ambientes con temperaturas entre  $10^{\circ}\text{C}$  y  $20^{\circ}\text{C}$  ejemplares de esta planta siquiera toleran sequias de calor excesivo y ellas necesitan sol para que sus hojas tengan un mejor tamaño y mejor calidad (Gottau,2016).

La col rizada es una planta robusta que puede tolerar una amplia gama de condiciones climáticas, la temperatura bajo cero incluso hace que un sabor más dulce kale normalmente crece a temperaturas entra  $7^{\circ}\text{C}$  y  $35^{\circ}\text{C}$  estos cultivos soportan temperaturas más bajas después del primer mes de desarrollo. Si bien puede cultivarse en cualquier época del año a temperatura ideal para esta planta entre los  $25^{\circ}\text{C}$  soporta heladas de  $-7^{\circ}\text{C}$  y temperaturas altas de  $35^{\circ}\text{C}$  (Hagen & Borge,2009).

#### **3.1.8.2. Suelo**

En cuanto a las condiciones edáficas, se puede cultivar en una amplia variedad de suelos, aunque se recomiendan los de pH ácido-neutro (pH 6-6,5) con buena capacidad de agua y aire (Šamec,2019).

Las coles se adaptan a diferentes tipos de suelo, se pueden utilizar desde arenosos hasta pesados, debido a sus finas ramas radiculares. Sin embargo, se prefieren suelos que sean fértiles, profundos y con buen drenaje; son plantas sensibles a la falta de cal, también a las carencias de boro y magnesio. También son exigentes en potasio y azufre, no toleran los suelos salinos (Olivos,2016).

### **3.1.8.3. Riego**

El cultivo de kale es una de las plantas con baja demanda en términos de requisitos de agua. El riego debe ser poco frecuente pero en la etapa de vivero y las primeras dos semanas del trasplante, no debe sufrir por lo que los riegos deben ser mas frecuentes es importante mantener humedad al sustrato del suelo por que no soporta sequia, sin encharcar por que las raíces se pueden podrir, el riego es importante sobre todo al inicio del cultivo hasta que las temperaturas del día disminuyan (Unhuertoenmibalcón,2016)

### **3.1.9. Variedades de kale o col rizada**

Otra de las clases de mercado que incluyen *B. napus var. forraje* (col rizada ruso-siberiana), *B. oleracea var. alboglabra* (col rizada china) y algunas variedades de col rizada (*B. oleracea var. viridius*; Swegarden et al., 2019). Curly kale has long central tallos y hojas claramente rizadas o con volantes y se ha identificado por los consumidores como la "col rizada ideal" (Waterland,2017).

La col rizada de dinosaurio es conocida por su hojas de color verde oscuro y textura de hoja irregular, la col rizada ruso-siberiana tiene hojas más planas y con volantes y, en el caso de Red Russian, tallos de color rojo oscuro y venas de las hojas. La col rizada portuguesa tiene hojas anchas, en su mayoría enteras, comparando con otros. La col rizada ornamental es bastante distinta debido a su color blanco o hojas moradas suelta (Waterland,2017).

**TABLA 4***Variedades de kale*

<b>Mercado clase</b>	<b>Ejemplos Nombre común</b>
<b>Rizado (verde)</b>	Darkibor
	Sabellica
	Verde enano
	Afro rizado
	Alondra
	Ripbor
	Winterbor
	Cumbre-azuk
	Caballero azul
	Maribor
<b>Rizado (rojo)</b>	Rojo baltico
	Redbor
	Ruleta
	Escarlata
<b>Beira portuguesa</b>	No presenta
<b>Ruso Siberiano</b>	Enano
	Siberiano
	Gulag
	Siberiano
	Magia negra
<b>Dinosaurio</b>	Lacado
	Manojo superior campeón
<b>Berza</b>	Georgia
	Berza
	Esmalte verde
	Joe rizado
<b>Mostaza</b>	Lizzy uy rizada

**Fuentes.** Waterland (2017) nos menciona la variedad de kale que existe



### **3.1.10. Beneficios de la col rizada**

Matelian (s.f.), refiere que la col rizada es una de las verduras comestibles con más nutrientes. Es conocida por: reducir el colesterol, reducir el riesgo de cáncer, proteger el corazón, proteger los ojos, reducir el nivel de azúcar en la sangre, mejorar la salud del sistema digestivo.

El kale protege contra el cáncer de próstata y de colon. También tiene propiedades que estudios han demostrado para calmar la congestión pulmonar, también es benéfico para el estómago, el hígado y el sistema inmunológico. Contiene luteína y zeaxantina, que ayudan a la protección de los ojos Otro efecto de su consumo es que provocan una sensación de saciedad en quien se alimenta de ellas, ayuda a reducir el riesgo de sufrir obesidad (Rolls,2004).

### **3.1.11. Plagas y enfermedades de la col rizada**

El cultivo de col rizada sufre el ataque de insectos, hongos y bacterias como las siguientes.

#### **3.1.11.1. Insecto-plaga**

Ordas (2004), refiere que este cultivo es atacado por los siguientes insectos: Lepidópteros: *Pierisrapae* (L.) y *Pierisbrassicae*, Mosca de la col: (*Delia radicum*) Pulgón ceroso de las crucíferas: *Brevicorynebrassicae* L., Chinche de las *crucíferas* o chinche roja de la col: *Eurydemaornatum*

#### **3.1.11.2. Enfermedades**

El cultivo sufre el ataque de las siguientes enfermedades: midiu(*peronospora prasitica*) *sclerotinia(sclerotiniasclerotiorum)* potra de la col: plamodio *plamodiophora brassicae* worron *alternaria brassicae* podredumbre negra (*xanthomonas campestrispc-campestris*) (Ordas,2004).

## **3.2. La agricultura urbana**

La agricultura urbana está convirtiéndose en una parte muy importante de la solución a la seguridad alimentaria, ya que con este sistema de producción es posible tener alimentos frescos, además de generar empleos y crear áreas verdes, al tiempo que disminuyen varios costos y también se contamina mucho menos (Amazings,2016).

### **3.2.1. Agricultura de 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).

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 (Rodriguez, 2018), por lo tanto se podría emplear en estas zonas donde tenemos espacios reducidos.

El concepto de granjas verticales fue desarrollado por Dickson Despommier, microbiólogo, ecólogo y profesor de salud pública y medioambiental en la universidad de Columbia en Nueva York, que reporta respecto a las granjas verticales presentan la doble ventaja de ahorrar tierras agrícolas y de producir cerca de los consumidores. (Amazings,2016).

El futuro de muchos mercados, y aseguran que pronto ofrecerán productos más sabrosos, frescos y baratos de producir que los de agricultores tradicionales (Pastor J,2016).

El mismo autor nos dice que el Departamento de Energía (DoE) de los Estados Unidos asegura que el precio de los LED ha caído un 90% desde 2010 y seguirá cayendo en los próximos años. Este es un factor muy importante, pero también lo es el hecho de que tanto la eficiencia (luz emitida por unidad de energía) como la autonomía (que en algunos modelos llega a las 36.000 horas) se han doblado.

### **3.2.2. Los ambientes urbanos y la luz**

Los ambientes urbanos buscan más protagonismo a los espacios interiores sin luz natural, que implica una revisión de las necesidades lumínicas y las de las plantas. Las lámparas eficientes para el desarrollo de las plantas deben transformar energía eléctrica en PAR (Radiación Solar Fotosintéticamente Activa, en español), ya que en una radiación menos eficaz en los rangos 300-400 y 700- 800 nm puede intervenir decisivamente en el crecimiento de la planta, este fenómeno es también conocido como foto morfogénesis (Jimenez,2016).

### **3.3. Producción bajo luz LED.**

Fuentes de luz en la investigación con plantas se han llevado a cabo estudios que han demostrado que tanto la cantidad y calidad de luz afectan el crecimiento, desarrollo, pigmentación y la forma de las plantas. El tipo de lámparas utilizado tanto para la investigación de plantas como para la horticultura en invernaderos, son los tubos fluorescentes y lámparas de descarga de gas, que tienen un espectro de irradiación característico para cada tipo de lámpara (Paniagua,2014).

#### **3.3.1. La luz y las plantas**

La Luz solar es la primordial fuente de energía para los ecosistemas, la cual es capturada mediante la fotosíntesis por las plantas mientras que la energía es almacenada por los enlaces químicos de los compuestos orgánicos (Gliessman ,2002).

Se conoce como radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol que viajan a la velocidad de la luz 300 000 km /s. La radiación solar comprende desde las radiaciones infrarrojas hasta las ultravioletas, quedando en el centro, la luz visible para el ojo humano (Roldán J,2012).

La radiación solar consiste en un flujo de fotones, estos contienen la energía y la masa relacionada a la radiación. Por lo cual varios tipos de radiaciones se diferencian por los fotones que la constituyen, estando la energía en cada fotón establecida por la

frecuencia de la radiación, debido a que esta y la frecuencia están recíprocamente relacionadas por la velocidad de la luz (Roldan J,2012).

### **3.3.2. Iluminación LED**

Un LED (light emitting diode) es un dispositivo semiconductor que emite luz cuasi monocromática cuando se polariza de forma directa y es atravesado por una corriente eléctrica. Es un semiconductor unido a dos terminales por la cual a la circular corriente eléctrica produce un efecto llamado electroluminiscencia, fenómeno que transforma la energía eléctrica en radiación visible. Por lo tanto, son fuentes de luz en estado sólido, es decir sin filamento o gas inerte (Ramos & Ramirez,2016).

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 (Ramos & Ramirez, 2016).

En comparación con otros tipos de luces de crecimiento, estos dispositivos para los cultivos en interiores son atractivos debido a que no requieren balastos y emiten mucho menos calor que cualquier sistema de iluminación (Ramos & Ramirez,2016).

Otro aspecto importante de las lámparas y/o dispositivos LED es que el ángulo de emisión de luz es menor a 180 grados, lo cual implica que toda la luz generada está enfocada hacia la parte frontal del dispositivo, lo que no ocurre con los otros sistemas de iluminación, los cuales generan luz en todas las direcciones, haciendo necesario el uso de superficies que reflejen la luz emitida (Ramos & Ulianov,2012).

### **3.4. Características del LED**

Según Sanz, (2016), las características a considerar en la compra de LED's son las siguientes:

## TABLA 5

### *Características LED*

Parametros	
Potencia	8W -50W
Incandescencia	7W - 60W
Flujo luminoso	6.000horas
Vida util	L70=30.000 horas

Fuentes Sanz (2016)

#### 3.4.1. Tiempo On / Off

El número de ciclos de encendido y apagado, o ciclos de conmutación, es el número de veces que la bombilla podrá encenderse y apagarse antes de fallar. En una bombilla que tiene un gran número de horas de vida útil, supongamos 30.000, pero sólo tiene 10.000 ciclos de encendido y apagado no nos interesará en un lugar de poco uso continuado (Sanz,2016).

#### 3.4.3 Tiempo de encendido:

El tiempo que tarda en encenderse el LED. Debe ser menor a 0,5 segundos.

##### 3.4.3.1. Tiempo de calentamiento

Suele venir como “tiempo de calentamiento hasta el 60 % del flujo luminoso completo” o “tiempo de encendido hasta alcanzar el 60% de luz”. Este tiempo debe ser inferior a 2 segundos (Sanz,2016).

Este valor podía ser interesante para las bombillas de bajo consumo, puesto que tardaban un tiempo en calentarse, pero para los LEDs vemos que es casi inmediato. Más que suficiente para uso doméstico (Sanz,2016).

#### 3.4.4. Aplicación de los diodos LED

Tecnologías agrícolas innovadoras para proyectos de agricultura urbana para que las plantas crezcan en entornos de interior sin luz solar. Este proceso de cultivo se

denomina agricultura urbana o cultivos verticales y es idónea para propagación de plantas jóvenes y producción integral de cultivos más sanos sin pesticidas. Maximiza la producción mediante el uso de tecnologías LED de nueva generación que permiten iluminar y obtener un rendimiento mayor en menos espacio (Philips,2020).

### **3.4.5. Clasificación según la radiación emitida**

Según Osram (2019) se clasifican en:

#### **a) LEDs Infrarrojos**

Emiten radiación con una longitud de onda superior a los 780nm. Se suelen usar en artefactos electrónicos y elementos de control.

#### **b) LEDs ultravioletas**

Emiten radiación con una longitud de onda inferior a los 380nm.

#### **c) LEDs de Colores**

Emiten radiación con una longitud de onda entre los 380nm y los 780nm. Se consigue la emisión de luz en una longitud de onda determinada del espectro según los materiales semiconductores usados. Principales colores usados: Azul, Verde, Amarillo y Rojo.

#### **d) LEDs de Luz Blanca**

Se obtiene luz blanca mediante conversión por luminiscencia. Usando LEDs azules o ultravioletas combinados con fósforo de distintos colores.

#### **e) LEDs RGB**

Combinación de tres chips de color rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue) que pueden generar cualquier color del espectro al regular su luminosidad.

### 3.4.6. Cinta A LED SMD 5050 – IP65

La cinta a LED viene en tira de luz LED de 5 metros, con clasificación IP65 significa que está totalmente protegida contra el polvo y puede soportar chorros de agua de baja potencia (desde una boquilla de 6.3 mm) disparados desde todas las direcciones contra el objeto (Kohen,2012).

**TABLA 6**

*Características de la cinta A LED 5050 IP-65*

Características	valor
Dimensiones	5 x 0,1 [cm]
Angulo de iluminación	120°
Intensidad	14,4, W/m2
Potencia	72 Wtts/rollo
Voltaje de entrada	12 v
Consumo de amperios	1,2 A x m
Lumens	360 LM/SMD máximo brillo
Alimentación	12 VDC
Cantidad de LEDs	60/metro
Tipo de LED SMD	5050
Rollo	5 metros
Adhesivo	3 metros
Vida útil	50000 horas
Grado de protección	IP65 uso exterior

Fuentes TBCin, (2018)

#### 3.4.6.1. Beneficios de la cinta LED 5050-IP-65

- Muy flexibles, adaptables a cualquier diseño.
- Alto rendimiento lumínico.
- Ahorro de energía.
- Se pueden fraccionar cada 3 led

### 3.4.7. Identificación de las características esenciales del sistema de iluminación

Una de las características con que debe contar la fuente de luz es la longitud de onda adecuada. Como se mencionó anteriormente, las longitudes de onda efectivas para el proceso de la fotosíntesis están entre 400 y 500 nm y entre 600 y 700 nm, longitudes de onda que estimulan varias etapas del desarrollo de la planta por medio de sus pigmentos fotosensitivos, como se observa en la Tabla 7 Ramos, Ramirez (2016).

**TABLA 7**

*Absorción de longitudes de onda para los pigmentos foto sensitivos*

LONGITUD DE ONDA ABSORBIDAS POR LOS PIGMENTOS FOTO SENSITIVOS DE LA PLANTA							
Pigmento de la planta	UV	Azul	Verde	Amarillo	Naranja	Rojo	Rojo profundo
Longitud de onda	200-400	400-495	495-570	570-590	590-620	620-710	710-850
Clorofila A		X				X	
Clorofila B		X				X	
Caratenoides		X					
Criptocromo	X	X					
Fototropinas	X	X					
Fitocromo rojo						X	
Fitocromo rojo profundo							X
Todos los pigmentos	X	X				X	X

Fuentes Ramos y Ramirez (2016)

### 3.5. Sistemas de producción

En cultivos de hoja se explota mediante el sistema sustancialmente diferente, la producción intensiva. Es un sistema que hace un uso intensivo de los medios de producción, explotando al máximo el cultivo para ello, se emplean manejos, mano de obra, en insumos especializados (Japon,2000)

#### 3.5.1. Producción en ambiente protegido

Blanco *et al.*, (1999), también citado por Alcázar (2016), 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.

Hartman (1990) citado por Colodro (2013) mencionó que los materiales en los ambientes protegidos son importantes y los más utilizados, pueden dosificarse en materiales de vidrio y material de plástico.

### **3.5.2. Experiencia del empleo de luz LED en agricultura**

Ramos & Ramirez (2016), señalan que el concepto de granja vertical, también relacionada como Agricultura Integrada en Edificaciones del acrónimo BIA (Building Integrated Agriculture) es un nuevo enfoque de la producción basada en la idea de localizar sistemas de cultivo de alto rendimiento en edificaciones para producir alimentos al interior de estos, haciendo uso de fuentes renovables, locales de energía y agua.

Los mismos autores señalan que se les conoce como luces de crecimiento a los sistemas de iluminación empleados en los cultivos en interiores, hacen parte de este concepto y son una fuente de luz artificial. Estas funcionan de tres maneras diferentes:

- 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. Los cultivos en el interior de edificios, alimentados con luz artificial, llevan años funcionando.

El ecologista y profesor de microbiología de la Universidad de Columbia, Dickson Despommier, los predicaba desde los 90 como una solución para aumentar la producción agraria y paliar el hambre. Existen empresas especializadas en algunas partes del mundo, como Green Spirit Farms, que opera en Estados Unidos y cuenta con varios establecimientos de cultivos verticales (Bejerano,2014).

El mismo autor señala, que estos cultivos que se encuentran emplazados en el interior de las fábricas se basan en luz LED o fluorescente que simula la luz solar. Las compañías controlan mediante software la orientación que tienen las plantas respecto a la luz en cada momento, para que todas reciban la misma cantidad. El agua se transmite mediante cañerías directamente para asegurar el flujo de nutrientes.

Este reto ha sido la inspiración de Shigeharu Shimamura, experto en fisiología vegetal, cuya compañía ha puesto en marcha una gran planta de cultivo interior que produce 10.000 lechugas diarias. La luz del sol se ha cambiado por bombillas LED y las condiciones de humedad y temperatura se controlan por software para crear el ambiente óptimo para el crecimiento de las lechugas (Bejerano,2014).

### **3.5.3. Sistema de iluminación**

Según Morrow (2008), la aplicación de iluminación LED estudio en el que el crecimiento 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

### **3.5.4. Radiación fotosintéticamente activa**

Según Lasso (2016), denomina radiación fotosintéticamente activa (RFA) a la cantidad de radiación integrada del rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética en las plantas y otros organismos fotosintéticos como microalgas y bacterias. Este rango es el comprendido aproximadamente entre los 400 y los 700 nanómetros y se corresponde, con el espectro visible.

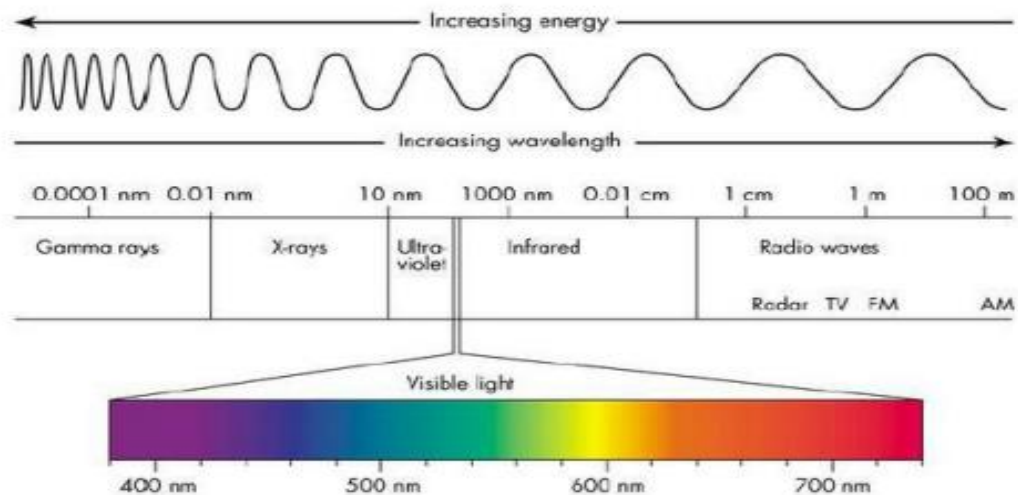
### **3.5.5. Efectos de la luz**

Según Lasso (2016), nos dice que encontramos que el área foliar aumentaba con los niveles bajos de DLI, especialmente en el caso del colinabo. Aun cuando la calidad de la luz produjo, y dependiendo de la DLI, mediante la que se estaba analizando la calidad de la luz.

### 3.6. Importancia de la luz en el desarrollo de 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 (Ramos & 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 el crecimiento y desarrollo (Martín, 2010).



**FIGURA 1** Espectro electromagnético de la luz LED

Fuente (Martín, 2010)

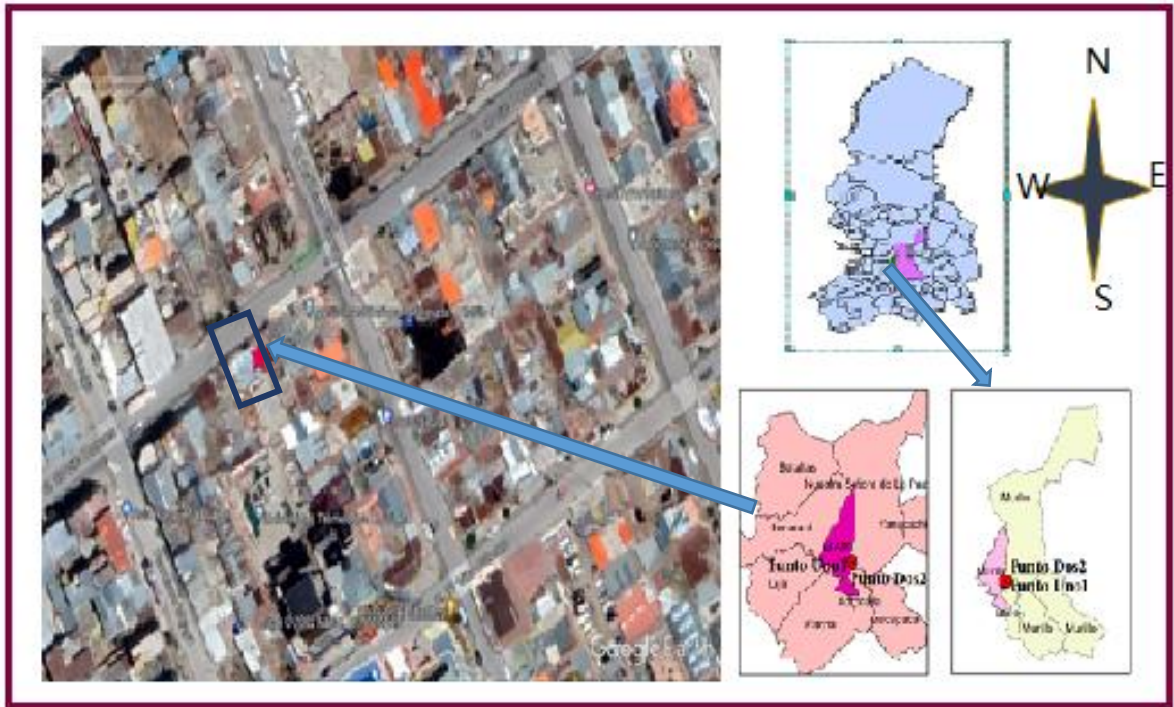
#### 3.6.1. Cantidad/ calidad de Luz

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 CO<sub>2</sub> atmosférico en carbohidratos, de aquí se desprenden dos variables, la intensidad de luz y la luz total (DLI) (Bejarano, 2014).

## 4. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Localización

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la ciudad de EL ALTO distrito 1 zona villa dolores calle 10 con ubicación situada a  $16^{\circ}51'$  Latitud Sur y  $68^{\circ}10'72''$  Longitud oeste desde la línea del Ecuador.



**FIGURA 2** Mapa de ubicación de la investigación

Fuentes Elaboración propias (2022) con programa ArcMap 10.2

#### 4.1.1. Características climáticas

SENAMHI (2015) señala que la zona presenta un clima frío, los valores de temperatura máxima para la localidad de Ventilla logran alcanzar los  $17,3^{\circ}\text{C}$ , la mínima hasta los  $-0,4^{\circ}\text{C}$  y temperatura media que oscila entre  $8,2$  a  $8,4^{\circ}\text{C}$ , con una humedad relativa del 55% Y la velocidad máxima de vientos es de  $1.4\text{m/s}$ .

## **4.2. Materiales**

### **4.2.1. Material biológico**

- 1 (onza) semilla de kale o col rizada (*Brassica oleracia*)

### **4.2.2. Insumos**

- 31,5 kilogramos de arena fina
- 31,5 kilogramos de tierra negra
- 63 kilogramos de turba

### **4.2.3. Material para la construcción**

- 18 Bandejas de colores
- 3 Rollos de luz LED (rojo) 15 metros
- 3 Rollos de luz LED(mixta)15 metros
- 3 Rollos de luz LED (azul)15metros
- 1 Timer.
- 9 Bandejas de desagüe de metal
- 72 Marbetes
- 8 Planillas de registro
- 1 Regadera
- 1 Tijera de poda
- 1 Pala jardinera
- 5 Bañadores
- 1 Colorímetro
- 3 Metros naylon negro
- 2 Roba corrientes
- 4 Adaptadores

- 1 Vernier
- 3 Metros de cable

#### **4.2.4. Material de gabinete**

- 1 Equipo de computación
- 1 Flash memory
- Balanza de precisión
- 54 Sobres de papel madera
- 5 Marcadores
- 1 Balanza en gramos
- 2 Regla métrica de metal de 50 centímetros
- 1 Cuaderno de campo
- 1 Cámara fotográfica
- 3 Bolígrafos
- 1 Hoja Cartulina blanca
- 3 Flexómetros
- 50 Hojas cuadriculadas

### **4.3. Métodos**

#### **4.3.1. Fase 1 – Construcción**

Para la fase de construcción primeramente se elaboró el estante 225 cm ancho y 170 cm de alto, y el espesor de 50 cm se realizó el armado con los fierros de ángulo L y fierros de ángulo T se utilizaron 5 barras de fierro L y 1 barra de fierro T. Para la construcción, se formó y se unió el estante cada división, entre 75 cm de largo y de altura de 50 cm entre sección de esa manera forma las 9 secciones del estante.

Ya separadas las divisiones se realizó el cerrado de toda la parte trasera con cartón prensado envuelto en aluminio, para la división entre secciones se utilizó papel

aluminio, se cerraron todas las divisiones y los exteriores a parte delantera será la única parte abierta con tela negra forramos todo el estante haciendo como una cortina para el riego y toma de datos.

Armada la infraestructura se dividió con cartón prensado, las luces en tira que se uso fueron modificados con un sistema para que se unan entre sí, colocado en la parte superior del estante de cada sección por colores, dividiéndose en las tres repeticiones una vez colocadas cortada y unidas, se realizó la adaptación junto a los 4 adaptadores para el encendido.

También se adaptó el conector en dirección directa a la luz, es decir al timer para el encendido y apagado de las luces, el timer de 8 am a 8 pm el encendido de las luces.

Se uso bandejas de 33 cm de ancho y de largo 48 cm, usando 18 bandejas las adaptaron con agrofilym para el colocado de la tierra que se preparó. También se realizó el desagüe de cada bandeja con el tamaño respectivo pequeñas bandejas de 33 cm de largo y ancho de 15 cm y las esponjas que se usó de 30 cm largo y 10 cm de ancho para la re absorción del excedente de agua.

#### **4.3.2. Fase 2 – Adecuación**

Una vez realizada toda la adaptación del estante, se procedió a la limpieza del lugar, también así como se esterilizó con cal blanca, y con la pistola de calor.

Se procedió a la mezcla de 1 kg arena, 1 kg tierra, 2 kg turba, y su posterior secado al mezclado en ambiente por 3 días. Para el llenado de las bandejas se secó con la pistola de calor para matar bacterias o residuos, malezas u otros.

#### **4.3.3. Fase 3 – Cultivo**

El sustrato preparado a las almacigueras con un poco de papel secante en el fondo para que no escape el sustrato y una vez regada se realizó la siembra de las semillas de col rizada (*Brassica oleracia*) kale de 3 a 4 semillas por almaciguera, se pasó la tierra por encima y nuevamente se realizó el riego, se cubrió con paja para que ocurra la germinación, pasado los 15 días se observó que ya existían los cotiledones.

Después del primer mes posterior a la siembra se observó que un 50% de las semillas germinaron, pasada dos semanas después de germinación se obtuvo de cuatro a cinco hojas verdaderas, para el tercer mes se realizó el trasplante en las respectivas bandejas y el riego.

Cada repetición tuvo 2 bandejas siendo un total de 18 bandejas, se empleó 9 bandejas para cada repetición para sembrar con 6 plantines/bandeja y las otras 9 bandejas con 8 plantines/bandejas, realizado el trasplante se ubicó al estante, se prendieron las luces por dos días para la adaptación de plantines, después de dos días se dejó en su respectivo horario fuera de todo acceso de luz, se cerró el área con nylon negro y tela negra.

#### **4.3.4. Fase 4 – Labores culturales**

Las labores culturales que se realizaron en horas de la tarde, sin el encendido de las luces LED realizaron las siguientes labores culturales:

- El riego se realizó con una frecuencia de tres días desde el trasplante hasta días antes de la cosecha, se realizó en horario de la tarde con regadera manualmente.
- El raleo se realizó en la adaptación del cultivo pasado el mes después del trasplante se quitó el excedente de plantines que existían para evitar la competencia entre plantines.
- El desmalezado se realizó en el periodo del cultivo, se realizó solo un desmalezado ya que el cultivo estaba en un área cerrada y se observaron pocas malezas en las bandejas, solo después del trasplante se observó unas pequeñas malezas no significativas, las mismas que se extrajo rápidamente de 5 bandejas, posteriormente no se presentaron más malezas.
- Las podas del cultivo se realizaron en aquellas hojas que presentaron un color amarillento y se procedió a la extracción de esas hojas
- Limpieza del área: también se realizó el limpiado de el sustrato observando si presentaba humedad para evitar la putrefacción del sustrato o la formación de moho en la parte superior del sustrato.



#### **4.3.5. Fase 5 – Evaluación**

La evaluación del cultivo se realizó en las diferentes tomas de datos de las plantas marbeteadas; por cada bandeja se realizó a marbete 4 plantines, de las dos bandejas que tenía cada repetición y las dos densidades de siembra, teniendo un total de 72 plantines, se realizó la toma de datos de número de hojas y altura de plantas durante el proceso para observar el crecimiento.

Con un vernier para tomar del ancho de las hojas y una regla para el largo de la hoja, para la medición del peso fresco se empleó una balanza de precisión que pesa en miligramos para tener un dato exacto, una hoja representativa al azar fue pesada y anotada luego se la llevo a la mufla, y su posterior pesaje de las hojas, de todas las plantas se contó el pesaje del rendimiento de cada bandeja.

El secado de las muestras que fueron separadas ya medidas en peso fresco, en sobres de papel, se mandó a secar por 48 horas en mufla, ya seca, las muestras se pesaron en laboratorio se registraron los datos en peso seco.

El estudio de suelo se realizó en la facultad de agronomía en laboratorio de suelos (LAFASA) de la muestra de un kilo en laboratorios de suelos para determinar el N P K la determinación del pH del suelo y del agua, CIC, conductividad eléctrica, MO.

#### **4.4. Diseño experimental**

El diseño experimental empleado en el presente estudio de investigación fue un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial donde el factor A fue el color de luz LED y el factor B fueron las dos densidades, empleándose los colores de luz LED roja, azul, mixta como factor A, para el factor B se empleó las densidades de (8 plantas/bandeja) y de (6 plantas/bandeja) utilizando el siguiente modelo de análisis estadístico. (Ochoa,2009).

#### 4.4.1. Modelo lineal

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

Dónde:

$X_{ijk}$  = Efecto de producción y desarrollo en el k-esimo de kale de la i-esima color de luz LED que recibió con la j-esima las dos densidades de siembra

$\mu$  = Media general

$\alpha_i$  = efecto fijo de la i-esima color de luz LED

$\beta_j$  = efecto fijo de la j-esima la densidad

$\alpha\beta_{ij}$  = efecto fijo de interacción de la i-enésima color con la j-esima las dos densidades.

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

#### 4.4.2. Tratamientos y repeticiones

De la combinación de los factores de estudio resultaron 6 tratamientos con 3 repeticiones como se lo expresa en la tabla 8 Combinación del factor A y factor B con 3 repeticiones

**TABLA 8**

*Combinación de factores A y factor B con 3 repeticiones*

FA	FB	TRAT	R1	R2	R3
LR	D1	T1	LR-D1	LR-D1	LR-D1
LR	D2	T2	LR-D2	LR-D2	LR-D12
LM	D1	T5	LM-D1	LM-D1	LM-D1
LM	D2	T6	LM-D2	LM-D2	LM-D2
LA	D1	T3	LA-D1	LA-D1	LA-D1
LA	D2	T4	LA-D2	LA-D2	LA-D2

Fuentes (Elaboración propia 2022)

#### 4.4.3. Unidad experimental

La combinación de factores, dió 6 tratamientos en estudio con 3 repeticiones haciéndose un total de 18 unidades experimentales cada unidad experimental contó con 6 y 8 plantines cada bandeja haciéndose un total de 126 plantines de los cuales se marbetearon ,4 plantines de cada repetición siendo un total de 72 plantines en estudio.

#### 4.4.4. Croquis experimental



**FIGURA 3** Croquis de campo de las unidades experimentales en estudio

Fuentes (Elaboración propia 2022)



**FIGURA 4** Figura de densidad de siembra

Fuentes (Elaboración propia 2022)

#### **4.4.5. Variables de respuesta**

Para el presente trabajo se muestran las siguientes variables de estudio:

#### **4.4.6. Variables agronómicas**

Los datos recopilados del evento estadístico variables de respuestas, fueron organizados y estudiados, para la cosecha única que se realizó a los cuatro meses después del trasplante en el presente trabajo se muestran las siguientes variables de estudio:

##### **4.4.6.1. Altura de planta (cm)**

Se registro la altura de la planta desde la base de el tallo al ápice superior, se midió a la cosecha en cm con una regla para la cosecha total de los cuatro meses.

##### **4.4.6.2. Numero de hojas (Nª hojas/planta)**

Para evaluar esta variable (Nª Hojas /Planta) se contarón el número de hojas por planta muestreada, tomando para esto como referencia las características comerciales al punto de la cosecha de las plantas muestreadas (marbeteadas) para la cosecha total de los cuatro meses.

Esta variable de datos discontinuos o discretos, fue necesario para el análisis estadístico transformar los datos discontinuos a datos continuos, se hace una transformación de raíz cuadrada, para tener una precisión en los resultados.

Normalmente esta transformación determina que las variaciones de los grupos sean más iguales, también es aplicable a las distribuciones sesgadas puesto que acorta la cola larga, si  $X$  es el número observado, para el análisis estadístico y la prueba de significación se utilizó la  $\sqrt{\quad}$ , cuando los números observados son pequeños (de 2 a 10), se prefiere la transformación  $\sqrt{(X + 1)}$  ò  $\sqrt{(X + 0,5)}$ , en especial cuando algunos de los números observados son cero Ochoa (2009).

#### **4.4.6.3. Ancho de hojas (cm)**

La evaluación del ancho de hojas se realizó mediante un vernier, para medir el ancho de las hojas de las plantas marbeteadas y así sacar un promedio exacto de cada planta marbetada de cada repetición de tratamiento para la cosecha total de los cuatro meses.

#### **4.4.6.4. Largo de hoja (cm)**

La evaluación del largo de la hoja se tomó en cuenta los respectivos datos a la hora de la cosecha desde el ápice hasta la base de la hoja con un vernier o regla, sacar el promedio por planta y por tratamiento para la cosecha total de los cuatro meses.

#### **4.4.6.5. Peso fresco(g/bandeja,planta/m<sup>2</sup>)**

Para la evaluación de la variable peso de materia fresca, se pesaron las muestras de cada tratamiento utilizándose la balanza analítica, Los valores obtenidos de cada planta se expresaron en gramos (g/planta) después de la cosecha, para luego pesar el total de las plantas/bandeja.

#### **4.4.6.6. Peso seco(g/bandeja,planta/m<sup>2</sup>)**

El peso de materia seca, se realizó a partir del muestreo de las plantas marbeteada, las cuales fueron pesadas, posteriormente fueron llevadas a la mufla por 48 horas, y nuevamente fueron pesadas se determinó el peso seco de cada muestra.

#### **4.4.6.7. Largo de raíz (cm)**

El largo de raíz se midió en la cosecha en (cm), el largo de las raíces de las plantas con marbete con la ayuda de un vernier y una cinta métrica, midiendo desde el cuello de la raíz hasta la parte más delgada de la raíz.

#### **4.4.6.8. Rendimiento (g/m<sup>2</sup>)**

El rendimiento se realizó pesando cada una de las plantas muestreadas en cada cosecha empleando una balanza, tomándose en cuenta todas las hojas peso fresco con características comerciales, Los datos obtenidos se expresaron en gramos por planta, que luego fue transformado a gramo por metro cuadrado, el número de plantas por metro cuadrado en función a la densidad planteada en el experimento para la cosecha total de los cuatro meses.

#### **4.4.7. Variables económicas**

El análisis económico preliminar y de rentabilidad de la presente investigación y por ende de los diferentes tratamientos, se realizó según la metodología de evaluación económica propuesto por el CYMMYT (1998)

##### **4.4.7.1. Beneficios o ingresos,**

Es llamado también beneficio bruto, es el rendimiento ajustado, multiplicado por el precio del producto (CIMMYT, 1988).

El ingreso bruto se calculó para cada tratamiento, se calculó multiplicando el rendimiento ajustado por el precio de venta del producto que fue de 8 Bs por kilogramo de beterraga, se determinó de la siguiente manera:

$$IB = R * P$$

*IB = Ingreso Bruto (Bs)*

*R = Rendimiento (Kg)*

*P = Precio (Bs/Kg)*

##### **4.4.7.2. Costos de producción (Bs/m<sup>2</sup>)**

Los Costos de Producción, son el gasto o desembolso de dinero que hace en la adquisición de los insumos, para producir bienes o servicios. Sin embargo el término

costo es más amplio, ya que significa el valor de todos los recursos que participan en el proceso productivo de un bien en cantidades y en un periodo de tiempo determinado

#### **4.4.7.3. Relación Beneficio /Costo.**

La relación de beneficio/costo, es la comparación sistemática entre el beneficio o resultado de una actividad y el costo de realizar esa actividad.

Se calculó con la relación entre los ingresos brutos percibidos con los costos de producción, para una evaluación económica final.

$$B/C = IB/CTP$$

*B/C= relacion beneficio costo*

*IB = Ingreso Bruto (Bs)*

*CTP = Costos Totales de Produccion (Bs)*

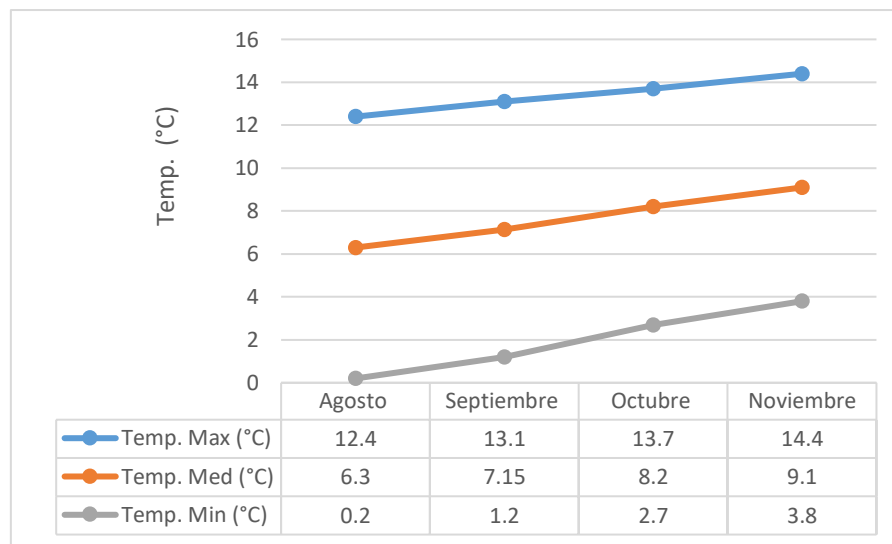
## 5.RESULTADOS Y DISCUSIONES

De los objetivos planteados se llegó a los siguientes resultados.

### 5.1. Variables alternas

#### 5.1.1. Fluctuación de las temperaturas durante el ciclo del cultivo

Durante el proceso de investigación se realizó el registro de temperaturas de los cuatro meses donde se realizó la investigación descritas en la siguiente figura donde se tiene las temperaturas máximas, medias y mínimas promediadas.



**FIGURA 5** *Fluctuación de temperaturas durante la investigación*

**Fuente** (Elaboración propia 2022)

Durante la producción del cultivo bajo luz led de diferentes colores realizado durante los meses de agosto a noviembre, la temperatura menor registrada fue en el mes de agosto con 0.2 °C y la mayor en el mes de noviembre con 14.4 °C.



**TABLA 9***Datos promedio de la temperatura dentro del predio de investigación*

	<b>Temp. Max (°C)</b>	<b>Temp. Med (°C)</b>	<b>Temp. Min (°C)</b>
<b>Promedio</b>	13.4	7.7	1.9

**Fuente** (Elaboración propia 2022)

Los promedios de las temperaturas registradas muestran una temperatura máxima de 13.4 °C y mínima de 1.9 °C, siendo los aceptables por el cultivo.

**5.1.2. Análisis de parámetros físicos y químicos del suelo**

Se realizaron los muestreos respectivos del sustrato empleado en las bandejas de cultivo en el sistema, tomando en cuenta parámetro químicos y físicos.

**TABLA 10***Estudio y comparación con parámetros en el suelo*

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>CLASIFICACION DE LA FAO</b>
PH en H2O relacion 1:5		6.5	6.0 - 6.5	ligeramente ácido
pH en KCl 1:5		5.56	5.5 - 5.9	moderadamente ácido baja
conductividad eléctrica en agua 1:5	mmhos/cm	0.8	0.8-1.6	media
Potasio intercambiable	meq/100g S.	2.03	mayor a 0.3	alto
Capacidad de intercambio cationico	meq/100g S.	7.1	menor que 10 meq/100g	baja
Nitrogeno total	%	0.76	mayor de 0.30	muy rico
Materia organica	%	16.78	mayor a 2.8	alto
Fosforo disponible	ppm	31.4	mayor a 30%	alto

Fuente: elaboración propia (2022)

## 5.2. Variables de respuesta

### 5.2.1. Variable altura de planta (cm)

En el análisis de varianza en la tabla 11 se describen los resultados para la variable altura de planta para la cosecha total de los cuatro meses.

**TABLA 11**

*ANVA variable Altura de Planta resultado del empleo de diferentes colores de tres luces LED y dos densidades*

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	P-Valor	Significancia
<b>Factor A Colores de luz LED</b>	2	245.62	122.81	11.19	0.0018	**
<b>Factor B Densidades</b>	1	41.86	41.86	3.81	0.0745	NS
<b>Interacción Factor AxB</b>	2	35.58	17.79	1.62	0.2382	NS
<b>Error Experimental</b>	12	131.70	10.97			
<b>Total</b>	17	454.75				
<b>Coeficiente de Variabilidad</b>			17.20%			

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

**Fuente** Elaboración propia (2022)

El coeficiente de variabilidad para la variable altura de planta bajo factores colores de luz LED y dos densidades acomodado en D.C.A. estructura bifactorial fue de C.V. 17.20%, lo que indica confiabilidad de los resultados y de la toma de datos durante el trabajo de investigación.

Para la fuente de variabilidad Factor A colores de luz LED el estadístico F, diferencias altamente significativas en los promedios de altura de planta muestra bajo la aplicación de diferentes tiempos de exposición a luz LED, indicando que alguno de los niveles de tiempos presenta un promedio distinto al resto estadísticamente. Se ratifica la aplicación de la prueba de Duncan

**TABLA 12**

*Duncan para la comparación de medias del factor A*

<b>Factor A Colores de luz LED</b>	<b>Media Cm</b>	<b>Agrupación de medias</b>
<b>LA</b>	24.06	A
<b>LM</b>	18.63	B
<b>LR</b>	15.08	B

**Fuente** Elaboración propia (2022)

Del cuadro anterior en la prueba Duncan para el factor A, niveles de colores de luz LED, para la variable altura de planta se agrupan los promedios obtenidos en dos, de mayor promedio el (la luz LED color azul (LA) con 24.06 cm de altura por planta muestreada, los restantes promedios alcanzaron un promedio menor que los agrupa estadísticamente a la luz LED color mixta (LM) y al luz LED color roja (LR) alcanzando promedios de hojas contadas por planta muestreada de 18.63 y 15.08 respectivamente a cada nivel.

A diferencia de Aruquipa (2021) que nos menciona Para determinar la altura que alcanzaron las plantas de dos variedades de coles, las mismas tuvieron una altura de 12 cm. Se tomaron tres muestras al azar en centímetros lineales (cm) desde la base tallo hasta el ápice superior en forma recta midiendo cada muestra elegida con ayuda de un metro en los 50 días después del trasplante.

En el cuadro de análisis de varianza para la fuente de variabilidad Densidad de plantas, con dos densidades de 6 y de 8 plantas por bandeja, la prueba de p-valor del estadístico F, muestra diferencias no significativas en los promedios de altura por planta muestreada en las dos densidades, indicando que ninguna de las dos densidades presenta estadísticamente un promedio distinto al resto.

Finalmente, para la fuente de variabilidad interacción de factores FA x FB (colores de luces LED y dos densidades) no presento diferencias significativas en los promedios

de altura, indicando que los factores de estudio actúan independientemente uno del otro, asumiendo que cada factor interactúa con la variable.

El proceso de absorción y movimiento de nutrientes a través de la planta es muy influenciado por la temperatura y humedad del suelo y más aún por la luminosidad de 12cm a 25cm. Por lo cual todos los tratamientos condiciones de temperatura, sombra, humedad, sustrato y densidad de siembra similares fueron no significativas (Serrano 1979)

Según Wikihow (2017), la col aproximadamente se cosecha a los 70-95 días después de sembrar y 55-75 días después de transferir a su lugar definitivo. La planta debe tener una altura de al menos 20.32 cm antes de la cosecha de las hojas, el tiempo de cosecha varía dependiendo de cada variedad

En el presente trabajo de investigación se observó un promedio mayor a los registrados por Aruquipa y wikihow para la presente variable así también podemos comparar con el testigo que dió un promedio de 22 cm de altura de planta, se puede distinguir los promedios obtenidos alcanzó un dato de 24.06 cm altura de planta por muestra mostrándonos la diferencia entre un sistema cerrado y sistema abierto. Atribuimos este valor a los factores empleados como los colores de luz LED y dos densidades, siendo la respuesta de estas favorables para la altura de planta por muestra.

### 5.2.2. Variable número de hojas por planta (N°)

En el análisis de varianza en la tabla 13, se describen los resultados para la variable de número de hojas/planta para la cosecha total de los 4 meses.

**TABLA 13**

*ANVA variable número de hojas resultado del empleo de diferentes colores de luz LED y dos densidades*

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	P-Valor	Significancia
Factor A Colores de luz LED	2	78.13	39.07	8.88	0.043	**
Factor B Densidades	1	4.75	4.75	1.08	0.3191	NS
Interacción Factor AxB	2	2.01	1.00	0.23	7994	NS
Error Experimental	12	52.79	4.40			
Total	17	137.68				
<b>Coefficiente de Variabilidad</b>		15.24%				

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

**Fuente** Elaboración propia (2022)

El coeficiente de variabilidad para la variable número de hojas bajo factores colores de luz LED y dos densidades acomodado en D.C.A. estructura bifactorial fue de C.V. 15.24%, lo que indica confiabilidad de los resultados y de la toma de datos durante el trabajo de investigación.

para la fuente de variabilidad Factor A, colores de luz LED el estadístico F, con diferencias altamente significativas en los promedios de altura de planta muestra bajo la aplicación de diferentes tiempos de exposición a luz LED, indicando que alguno de los niveles de tiempos presenta un promedio distinto al resto estadísticamente. Se ratifica la aplicación de la prueba de Duncan.

**TABLA 14**

*Duncan para la comparación de medias del factor A*

<b>Factor A Colores de luz LED</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación de medias</b>
<b>LA</b>	16.67	A
<b>LM</b>	12.75	B
<b>LR</b>	11.88	B

**Fuente** Elaboración propia (2022)

Del cuadro anterior en la prueba Duncan para el factor A, niveles de colores de luz LED y dos densidades, para la variable número de hojas se agrupan los promedios obtenidos en dos, de mayor promedio el color de luz LED azul (LA) con 16.67 hojas por planta muestreada, los restantes promedios alcanzaron un promedio menor que los agrupa estadísticamente al color de luz LED mixto(LM) y color de luz LED rojo (LR) alcanzando promedios de hojas contadas por planta muestreada de 12.75 y 11.88 respectivamente a cada nivel.

En el cuadro de análisis de varianza para la fuente de variabilidad Densidad de plantas con dos densidades de 6 y de 8 plantas por bandeja, la prueba de p-valor del estadístico F, muestra diferencias no significativas en los promedios de altura por planta muestreada en las dos densidades, indicando que ninguna de las dos densidades presenta estadísticamente un promedio distinto al resto.

Finalmente, para la fuente de variabilidad interacción de factores FA x FB (colores de luz LED y dos densidades) no presento diferencias significativas en los promedios de número de hojas, indicando que los factores de estudio actúan independientemente uno del otro, asumiendo que cada factor interactúa con la variable.

Según Pleasan (2016), se debe cosechar las hojas externas de la planta, esto fomenta su crecimiento. Es importante dejar el punto de crecimiento, ya que de ahí se desarrollarán nuevas hojas. No se debe dejar las plantas de col rizada con pocas hojas

ya que tardaran en recuperarse y crecer cuando tus plantas llegaran a su pico de producción pueden producir 3 hojas por semana.

Pereira, Díaz *et al.* 2020 menciona que en la producción de Kale (*brassica oleracea var acephala*) con dos tipos de abonamiento de estiércol ovino y polvo de roca tubo como cosecha entre 14 hoja en polvo de roca y en estiércol bovino entre 17 hojas. En campo abierto.

Del trabajo de tesis efecto de la iluminación led en sistema vertical de producción de Lactuca sativa bajo ambiente nos dice que la producción en luz led de lechugas este da un promedio entre 17 a 14 hojas en ambiente cerrado y en color azul y rojo (Br Espinal 2022)

En el presente trabajo de investigación es observado un promedio a los registrados por Pleasan y Br Espinal para la presente variable, podemos distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato de 17 hojas por muestra y en campo abierto de 14 a 15 hojas. Atribuimos a este valor a los factores empleados que fueron los colores de luz LED y las dos densidades, siendo la respuesta de estas favorables para la formación de hojas.

### 5.2.3. Variable ancho de hoja (cm)

En el análisis de varianza en la tabla 15, se describen los resultados para la variable ancho de hoja para la cosecha total de los 4 meses.

**TABLA 15**

*ANVA variable ancho de hoja resultado del empleo de diferentes colores de tres luces LED y dos densidades*

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	P-Valor	Significancia
Factor A Colores de luz LED	2	0.05	0.02	0.07	0.9374	NS
Factor B Densidades	1	0.54	0.54	1.49	0.2458	NS
Interacción Factor AxB	2	0.37	0.19	0.54	0.6089	NS
Error Experimental	12	4.34	0.36			
Total	17	5.30				
<b>Coefficiente de Variabilidad</b>		12.41%				

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

**Fuente** Elaboración propia (2022)

El coeficiente de variabilidad para la variable ancho de hoja bajo factores colores de luz LED y dos densidades acomodado en D.C.A. estructura bifactorial fue de C.V. 12.41%, lo que indica confiabilidad de los resultados y de la toma de datos durante el trabajo de investigación.

Para fuente de variabilidad de colores de luz LED estadístico F, sin diferencias en los promedios de ancho de hoja por planta muestreada bajo la aplicación de diferentes tiempos de exposición a luz LED, indicando que alguno de los niveles de tiempos presenta un promedio distinto al resto estadísticamente.

En el cuadro de análisis de varianza para la fuente de variabilidad Densidad de plantas, con dos densidades de 6 y de 8 plantas por bandeja, muestra diferencias no significativas en los promedios de ancho de hoja muestreada en las dos densidades,



indicando que ninguna de las dos densidades presenta estadísticamente un promedio distinto al resto.

Finalmente, para la fuente de variabilidad interacción de factores FA x FB (colores de luces LED y dos densidades) no presento diferencias significativas en los promedios de ancho de hoja, indicando que los factores de estudio actúan independientemente uno del otro, asumiendo que cada factor interactúa con la variable.

Aruquipa (2021), nos menciona que en producción de kale en ambiente abierto se observó que el kale tuvo un promedio entre 11.5 cm a 8.33 cm de ancho de hoja.

Del trabajo de tesis de Moreno nos dice que en producción en luz led en ambiente cerrado tuvo resultados en promedio ancho de la hoja de 8 cm en luz azul y 6 cm en luz roja en producción de lechuga y chile. Moreno (2017).

En el presente trabajo de investigación se observó que, de acuerdo a los registrados de Moreno y Aruquipa para la presente variable, podemos distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato de 10 cm de ancho de la hoja por muestra siendo un promedio intermedio entre los datos mencionados, así también en sistema abierto nos dio un promedio de 15 cm a 18 cm, siendo la respuesta aceptable para el cultivo.

#### 5.2.4. Variable larga de hoja (cm)

En el análisis de varianza en el tabla16, se describen los resultados para la variable largo de hoja para la cosecha total de los 4 meses.

**TABLA 16**

*ANVA variable larga de hoja resultado del empleo de diferentes colores de tres luces LED y dos densidades*

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	P-Valor	Significancia
<b>Factor A Colores de luz LED</b>	2	0.44	0.22	0.14	0.8721	NS
<b>Factor B Densidades</b>	1	0.05	0.05	0.03	0.8688	NS
<b>Interacción Factor AxB</b>	2	0.76	0.38	0.24	0.7911	NS
<b>Error Experimental</b>	12	18.97	1.58			
<b>Total</b>	17	20.21				
<b>Coefficiente de Variabilidad</b>		15.23%				

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

**Fuente** Elaboración propia (2022)

El coeficiente de variabilidad para la variable largo de hoja bajo factores colores de luz LED y dos densidades acomodado en D.C.A. estructura bifactorial fue de C.V. 15.23%, lo que indica confiabilidad de los resultados y de la toma de datos durante el trabajo de investigación.

Para la fuente de variabilidad de colores de luz LED estadístico F, sin diferencias en los promedios de largo de hoja por planta muestreada bajo la aplicación de diferentes tiempos de exposición a luz LED, indicando que alguno de los niveles de tiempos presenta un promedio distinto al resto estadísticamente.

En el cuadro de análisis de varianza para la fuente de variabilidad Densidad de plantas con dos densidades de 6 y de 8 plantas por bandeja, la prueba de p-valor del estadístico F, muestra diferencias no significativas en los promedios de largo de hoja muestreada en las dos densidades, indicando que ninguna de las dos densidades presenta estadísticamente un promedio distinto al resto.

Finalmente, para la fuente de variabilidad interacción de factores FA x FB (colores de luces LED y dos densidades) no presento diferencias significativas en los promedios de altura, indicando que los factores de estudio actúan independientemente uno del otro, asumiendo que cada factor interactúa con la variable.

Del trabajo de tesis del Moreno nos dice que en producción en luz led en ambiente cerrado tuvo resultados en promedio largo de la hoja de 5 cm en luz azul y 4 cm en luz roja dando un promedio de 7 cm en producción de lechuga y chile Moreno (2017)

Aruquipa (2021), nos menciona que presentó el mayor largo de hoja promedio con 18,8 cm y estadísticamente con 14,2 cm. y 11,3 cm presentó el menor largo de hoja promedio respecto a las demás frecuencias en caldos de humus de lombriz.

En el presente trabajo de investigación se observó de acuerdo a los registros de Moreno y Aruquipa para la presente variable, se puede distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato entre 4 cm a 18 cm de ancho de la hoja por muestra. Atribuimos este valor del trabajo de 8.5 a los factores empleados como fueron los colores de luz LED y dos densidades sin embargo que tiene el dato que campo abierto de 16 cm, siendo la respuesta aceptable para un ambiente cerrado.

### 5.2.5. Variable peso fresco (g)

En el análisis de varianza en la tabla 17, se describen los resultados para la variable de peso fresco para la cosecha total de los 4 meses.

**TABLA 17**

*ANVA variable peso fresco de la Planta resultado del empleo de diferentes colores de tres luces LED y dos densidades*

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	P-Valor	Significancia
<b>Factor A Colores de luz LED</b>	2	23.06	11.53	26.10	0.0001	**
<b>Factor B Densidades</b>	1	1.83	1.83	4.14	0.0645	NS
<b>Interacción Factor AxB</b>	2	0.25	0.12	0.28	0.7589	NS
<b>Error Experimental</b>	12	5.30	0.44			
<b>Total</b>	17	30.44				
<b>Coefficiente de Variabilidad</b>		9.79%				

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

**Fuente** Elaboración propia (2022)

El coeficiente de variabilidad para la variable peso fresco bajo factores colores de luz LED y dos densidades acomodado en D.C.A. estructura bifactorial fue de C.V. 9.79%, lo que indica confiabilidad de los resultados y de la toma de datos durante el trabajo de investigación.

Para la fuente de variabilidad Factor A colores de luz LED el estadístico F, diferencias altamente significativas en los promedios de peso fresco de la Planta muestra bajo la aplicación de diferentes tiempos de exposición a luz LED, indicando que alguno de los niveles de tiempos presenta un promedio distinto al resto estadísticamente. Se ratifica la aplicación de la prueba de Duncan

**TABLA 18**

*Duncan para la comparación de medias del factor A*

<b>Factor A</b> <b>Colores de luz</b> <b>LED</b>	<b>Medida</b> <b>g</b>	<b>Agrupación de</b> <b>medias</b>
<b>LM</b>	8.36	A
<b>LA</b>	6.30	B
<b>LR</b>	5.72	B

**Fuente** Elaboración propia (2022)

Del cuadro anterior en la prueba Duncan para el factor A, niveles de colores de luz LED, para la variable peso fresco de la Planta se agrupan los promedios obtenidos en dos, de mayor promedio la luz LED color mixta (LM) con 8.36 de peso fresco por planta muestreada, los restantes promedios alcanzaron un promedio menor que los agrupa estadísticamente a la luz LED color azul (LA) y al luz LED color roja(LR) alcanzando promedios de hojas contadas por planta muestreada de 6.3 y 5.72 respectivamente a cada nivel.

En la tabla de análisis de varianza para la fuente de variabilidad Densidad de plantas, con dos densidades de 6 y de 8 plantas por bandeja, la prueba de p-valor del estadístico F, muestra diferencias no significativas en los promedios de altura por planta muestreada en las dos densidades, indicando que ninguna de las dos densidades presenta estadísticamente un promedio distinto al resto.

Finalmente para la fuente de variabilidad interacción de factores FA x FB (colores de luces LED y dos densidades) no presento diferencias significativas en los promedio peso fresco, indicando que los factores de estudio actúan independientemente uno del otro, asumiendo que cada factor interactúa con la variable.

El peso fresco de las plántulas varió entre 0,26 y 0,34 g bajo los distintos espectros de luz. El peso fresco fue significativamente mayor en las plántulas mantenidas bajo el espectro de luz blanco (0,34 g) y rojo (0,31 g) respecto a las plántulas tratadas con luz azul (0,29 g), mixta (0,28 g) y ambiente (0,26 g). Por su parte, el peso fresco de las

plántulas del. Carmolí osciló entre 0,20 y 0,37 g y se observaron diferencias significativas entre los espectros de luz. Kosai (2016).

Robles (1991), indica que el rendimiento va desde 5 g a 50 g por m<sup>2</sup> de cualquier especie vegetal es afectado por factores ecológicos influyendo en el crecimiento de los cultivos, así como su misma capacidad genética de producir, existiendo procesos fenológicos dentro de un vegetal que influirán el rendimiento

Aruquipa (2021) nos menciona que tuvo un mejor resultado durante el ciclo productivo con un promedio de peso fresco de 100 g y el menor peso fresco fue de 200 g perteneciente a la variedad sabellica.

El proceso de absorción y movimiento de nutrientes a través de la planta es muy influenciado por la temperatura y humedad del suelo y mas aun por la luminosidad. Por lo cual todos los tratamientos condiciones de temperatura, sombra, humedad, sustrato y densidad de siembra similares fueron no significativas. Sierra (2018).

En el presente trabajo de investigación según, Kosai y Aruquipa uno en ambiente cerrado y otro en ambiente protegido nos dan un promedio 25.13 donde se compara nuestro dato promedio obtenido alcanzando un dato 8.36 g peso fresco, atribuyendo también que en campo abierto dio un promedio de 10 g. Atribuimos este valor a los factores empleados como fueron los colores de luz LED y dos densidades, siendo la respuesta favorable en pesos de hoja de planta.

### 5.2.6. Variable peso seco(g)

En el análisis de varianza en la tabla 19 se describen los resultados de variable peso seco para la cosecha total de los 4 meses.

**TABLA 19**

*ANVA variable peso seco de la Planta resultado del empleo de diferentes colores de tres luces LED y dos densidades*

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	P-Valor	Significancia
Factor A Colores de luz LED	2	20.05	10.03	24.42	0.0001	**
Factor B Densidades	1	0.02	0.02	0.06	0.8175	NS
Interacción Factor AxB	2	0.24	0.12	0.30	0.7493	NS
Error Experimental	12	4.96	0.41			
Total	17	25.24				
<b>Coefficiente de Variabilidad</b>		7.27%				

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

**Fuente** Elaboración propia (2022)

El coeficiente de variabilidad para la variable peso seco bajo factores colores de luz LED y dos densidades acomodado en D.C.A. estructura bifactorial fue de C.V. 7.27%, lo que indica confiabilidad de los resultados y de la toma de datos durante el trabajo de investigación.

Para la fuente de variabilidad Factor A colores de luz LED el estadístico F, con diferencias altamente significativas en los promedios de peso fresco de la Planta muestra bajo la aplicación de diferentes tiempos de exposición a luz LED, indicando que alguno de los niveles de tiempos presenta un promedio distinto al resto estadísticamente. Se ratifica la aplicación de la prueba de Duncan

**TABLA 20**

*Duncan para la comparación de medias del factor A*

<b>Factor A Colores de luz LED</b>	<b>Media g</b>	<b>Agrupación de medias</b>
<b>LM</b>	10.24	A
<b>LA</b>	8.52	B
<b>LR</b>	7.71	C

**Fuente** Elaboración propia (2022)

Del cuadro anterior en la prueba Duncan para el factor A, niveles de colores de luz LED, para la variable peso fresco de la Planta se agrupan los promedios obtenidos en dos, de mayor promedio el (la luz LED color mixta (LM) con 10.24 gramos de peso seco por planta muestreada, los restantes promedios alcanzaron un promedio menor que los agrupa estadísticamente a la luz LED color azul (LA) y al luz LED color roja(LR) alcanzando promedios de hojas contadas por planta muestreada de 6.3 y 5.72 gramos respectivamente a cada nivel.

En el cuadro de análisis de varianza para la fuente de variabilidad Densidad de plantas, con dos densidades de 6 y de 8 plantas por bandeja, la prueba de p-valor del estadístico F, muestra diferencias no significativas en los promedios de altura por planta muestreada en las dos densidades, indicando que ninguna de las dos densidades presenta estadísticamente un promedio distinto al resto.

Finalmente para la fuente de variabilidad interacción de factores FA x FB (colores de luces LED y dos densidades) no presento diferencias significativas en los promedio peso fresco, indicando que los factores de estudio actúan independientemente uno del otro, asumiendo que cada factor interactúa con la variable.

El contenido de materia seca varió entre 5,2 gramos y 12 gramos y se observaron diferencias significativas entre los distintos espectros de luz. El porcentaje de materia seca fue significativamente más alto en las plántulas tratadas con luz mixta que



alcanzó un 6,8 gramos, 6,6 gramos y 1,6 gramos más respecto de las plantas tratadas con luz roja, blanca y ambiente, respectivamente, y no se diferenció de la luz. (kosai T 2016)

(Lin et al., 2011) menciona que la planta se estimula cuando se exponen a mayor cantidad de luz azul respecto de la roja. Sin embargo, esta opción no es viable para aumentar la producción de hojas en las plántulas de *L. autumnalis* debido a los cambios morfológicos degenerativos ocasionados por el exceso de luz azul dándonos un promedio de peso fresco de 10.82 gramos.

En distintas variedades de kale se observó como un promedio de peso en materia seca ente 100 a 500 g de materia seca bajo diferentes sustratos en condiciones de invernadero esto nos menciona Ordaz,Sanches et al., 2021

En el presente trabajo de investigación se observó que el color de luz LED y dos densidades influenciaron a la presente variable, se puede distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato 10.24 g peso seco por muestra. En comparación con kosai y Lin et al. Decimos que tuvo un buen promedio en campo abierto nos dio un resultado de 13 g. Atribuimos este valor a los factores empleados como fueron los colores de luz LED y dos densidades, siendo la respuesta de estos favorables pesos de hoja de planta.

### 5.2.7. Variable largo de raíz

En el análisis de varianza en la tabla 21, se describen los resultados para la variable altura de planta para la cosecha total de los 4 meses.

**TABLA 21**

*ANVA variable largo de raíz de la Planta resultado del empleo de diferentes colores de tres luces LED y dos densidades*

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	P-Valor	Significancia
<b>Factor A Colores de luz LED</b>	2	5.15	2.58	1.15	0.3498	NS
<b>Factor B Densidades</b>	1	0.49	0.49	0.22	0.6480	NS
<b>Interacción Factor AxB</b>	2	7.50	3.75	1.67	0.2290	NS
<b>Error Experimental</b>	12	26.92	2.24			
<b>Total</b>	17	40.06				
<b>Coefficiente de Variabilidad</b>		17.90 %				

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

**Fuente** Elaboración propia (2022)

El coeficiente de variabilidad para la variable largo de hoja bajo factores colores de luz LED y dos densidades acomodado en D.C.A. estructura bifactorial fue de C.V. 17.90%, lo que indica confiabilidad de los resultados y de la toma de datos durante el trabajo de investigación.

Para la fuente de variabilidad de colores de luz LED estadístico F, sin diferencias en los promedios de largo de raíz por planta muestreada bajo la aplicación de diferentes tiempos de exposición a luz LED, indicando que alguno de los niveles de tiempos presenta un promedio distinto al resto estadísticamente.

En el cuadro de análisis de varianza para la fuente de variabilidad Densidad de plantas con dos densidades de 6 y de 8 plantas por bandeja, la prueba de p-valor del estadístico F, muestra diferencias no significativas en los promedios de largo de raíz

muestreada en las dos densidades, indicando que ninguna de las dos densidades presenta estadísticamente un promedio distinto al resto.

Finalmente, para la fuente de variabilidad interacción de factores FA x FB (colores de luces LED y dos densidades) no presento diferencias significativas en los promedios de largo de raíz, indicando que los factores de estudio actúan independientemente uno del otro, asumiendo que cada factor interactúa con la variable.

Según Calani (2021) nos menciona que el crecimiento en lechuga en luz led nos da un promedio de 25 a 30 cm de longitud de largo de raíz en un sistema vertical.

En el presente trabajo de investigación se observó que el color de luz LED y dos densidades influenciaron a la presente variable, se puede distinguir los promedios obtenidos alcanzando un dato 8.85 cm peso seco por muestra. En comparación con Calani no fue significativo. Decimos que tuvo un promedio en campo abierto nos dio un resultado de 13 cm Atribuimos este valor a los factores empleados como fueron los colores de luz LED y dos densidades, siendo la respuesta de estos no favorables en largo de raíz de planta.

### 5.2.8. Variable rendimiento por bandejas (g/m<sup>2</sup>)

En el análisis de varianza en la tabla 22, se describen los resultados para la variable rendimiento para la cosecha total de los 4 meses.

**TABLA 22**

*ANVA variable RDN por bandeja resultado del empleo de diferentes colores de tres luces LED y dos densidades*

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrado Medio	F cal	P-Valor	Significancia
<b>Factor A Colores de luz LED</b>	2	563.38	281.69	17.66	0.0003	**
<b>Factor B Densidades</b>	1	1.74	1.74	0.11	0.7467	NS
<b>Interacción Factor AxB</b>	2	35.17	17.58	0.10	0.3635	NS
<b>Error Experimental</b>	12	191.40	15.95			
<b>Total</b>	17	791.69				
<b>Coefficiente de Variabilidad</b>		12.28%				

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

**Fuente** Elaboración propia (2022)

De la tabla 19, el análisis de varianza para la variable rendimiento, resultando un coeficiente de variabilidad de 12.28 %, demostrando que los colores de luz LED acomodado en D.C.A. estructura bifactorial que el registro de los datos del experimento fue homogéneo, son confiables para realizar el análisis experimental.

En el análisis de varianza, de la fuente de variabilidad Factor A niveles colores de luz LED el estadístico F, donde existe diferencias altamente significativas en los promedios de rendimiento de col rizada, bajo la aplicación de colores de luz led, indicando que alguno de los colores de luz LED presenta un promedio diferente al resto estadísticamente. Se produjo el empleo de la prueba de medias Duncan.

## TABLA 23

*Duncan para la comparación de medias del Factor A*

Factor A Colores de luces LED	Media g	Agrupación de medias
LM	40.38	A
LR	29.37	B
LA	27.82	B

Fuente Elaboración propia (2022)

En la tabla 20, la prueba de comparación de medias Duncan en la variable rendimiento en peso fresco, se agruparon en dos, el de mayor promedio fue agrupado en A, con un promedio de 40.38 gramos por metro cuadrado de la luz mixta (LM) de manera contraria los menores promedios son compuesto por los dos niveles restantes.

La luz color LED roja y la luz LED color azul (LR y LA), con promedios de 29.37 gramos y 27.82 gramos de rendimiento por metro por bandeja respectivamente a cada nivel.

En el país no hay mucha información sobre resultados de rendimiento de este cultivo, pero en publicaciones internacionales se puede tener una visión del potencial de rendimiento. Cosecha de hojas para consumo humano ha mostrado rendimientos informados de 2.900 a 3.600 g/m<sup>2</sup> por Balčau y otros (2013) con una población de 31.200 plantas por hectárea.

Korus(2010) reporto 40.000 g/m<sup>2</sup> en una población de 40.000 plantas por hectárea, mientras que en EEUU se informan rendimientos que fluctúan entre 1.500g/ m<sup>2</sup>.

En comparación con los promedios alcanzados por los mencionados por investigadores se puede observar los resultados obtenidos por la presente investigación, donde se muestra los rendimientos promedio general obtenido por metro cuadro obtenidos fue de 40.38 gramos de peso fresco, alcanzado por el nivel con el color de luz LED mixto, siendo que en campo abierto nos dio un promedio un tanto

mayor comparativamente de 60.20 gramos de peso fresco. Siendo que el sistema cerrado dio un promedio tanto menor al de los investigadores, pero igual al de los que se hacen en este tipo de sistema cerrado combinación de la luz mixta para el mayor rendimiento.

### 5.3. Variable económica (Bs/m2)

La variable económica es muy importante debido a que proporciona información económica, procurando correlacionarlo con la perspectiva del agricultor, y poder establecer los beneficios que podría obtener en términos de rentabilidad.

El análisis económico preliminar, se realizó para conocer la relación beneficio/costo y establecer la rentabilidad económica de cada uno de los tratamientos estudiados, con la aplicación colores de luz LED con dos densidades diferentes de 6 y 8 plantines respectivamente. Peso fresco (g/m<sup>2</sup>) recomendar el mejor tratamiento para la producción del cultivo de col rizada. El análisis económico se realizó para una superficie de 1 m<sup>2</sup>.

#### 5.3.1. Costos de producción (Bs/m2)

Los Costos de Producción, son todos los recursos que participan en el proceso productivo de un bien en cantidades y en un periodo de tiempo determinada.

**TABLA 24**

*Costos del cultivo de kale por los tratamientos (Bs/tratamiento)*

Ítem	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Sumatoria acumulada
<b>1. Mano De Obra</b>	21	21	21	21	21	21	126
<b>2. Insumos Y Materiales</b>	78	80	78	80	78	80	474
<b>Costo Total</b>	99	101	99	101	99	101	600

Fuente Elaboración propia (2022)

### 5.3.2. Beneficio bruto (Bs/m<sup>2</sup>)

El retorno de mano de obra y la tierra de los tratamientos y factores en estudio, mostraron beneficios monetarios después del trabajo de investigación, respecto al rendimiento generado multiplicado por el precio de mercado 200g = 5 Bs según biomaket, kale.

**TABLA 25**

*Ingreso bruto total y por tratamientos en bolivianos (Bs)*

Tratamientos	Rendimiento acumulado (g)	Precio Unitario (Bs/200g)	Ingreso Bruto (Bs)
T1	2243	0.025	56
T2	2906.1	0.025	73
T3	1931.7	0.025	48
T4	1866.7	0.025	47
T5	1838.2	0.025	46
T6	1517.1	0.025	38
<b>Total</b>	12302.8	0.025	308

Fuente Elaboración propia (2022)

En la tabla 22, se describe los ingresos generados por los tratamientos, indicando que el tratamiento dos es el de mayor beneficio con 73 Bs, debido a su mayor rendimiento acumulado por tratamiento, es también de manera contraria el menor ingreso fue del tratamiento cuatro con 38 Bs, el ingreso bruto total del trabajo de investigación fue de 308 Bs acumulado por todo el rendimiento generado.

### 5.3.3. Relación beneficio costo

La relación Beneficio/Costo de los tratamientos y los factores, son descritos relacionados con los costos y los beneficios brutos previamente determinadas y relacionadas.

**TABLA 26***Relación beneficio costo de los tratamientos*

Tratamientos	Ingreso Bruto (Bs)	Costo (Bs)	Relación B/C
T1	56	99	0.6
T2	73	101	0.7
T3	48	99	0.5
T4	47	101	0.5
T5	46	99	0.5
T6	38	101	0.4
Total	308	600	0.5

Fuente Elaboración propia (2022)

De la tabla 23, donde se describe la relación beneficios costos, donde el mayor coeficiente es el tratamiento (T2) con 0.7, indicando que por cada boliviano invertido no se generaría alguna ganancia, el coeficiente de menor retribución es el del tratamiento (T6) con 0,4 siendo que el coeficiente de relación beneficio costo indica que la producción del cultivo no es rentable en todos los tratamientos.

La relación B/C es menor a la unidad, indica que no existe beneficio económico, por tanto el cultivo no es rentable, cuando la relación B/C es igual a la unidad, muestra que los ingresos logran cubrir solo los costos de producción y el cultivo tampoco es rentable; si la relación B/C es mayor a la unidad, indica que los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción Cadena (2014).

Se obtuvo beneficios netos los saldos son negativos, es decir que, si tomamos en cuenta el costo de mano de obra en los valores de cada uno de los sistemas, estos no se pagan con la primera cosecha ni con la segunda; no obstante, a partir del tercer ciclo de siembra se empiezan a generar ganancias netas en cada uno de los módulos. Bustamante (2012).



## 6. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, en cumplimiento de los objetivos planteados y desarrollados en el cultivo de kale (*Brassica oleracia* L. var. *acephala*) bajo la aplicación de diferentes colores de luz LED se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El efecto de 3 colores de luces LED, sobre la: altura de las plantas en el factor “A” colores de luz LED fue altamente significativo con un promedio de 24.06 cm. A su vez el Número de Hojas, en el factor A colores de luz, la mixta LED fue altamente significativo con un mayor promedio de 16.67 hojas.
- En el efecto de 3 colores de luces LED, sobre la: variable peso fresco, del factor “A” resulto altamente significativo con un promedio de 10.24 gramos. También la variable rendimiento, fue altamente significativa para el factor “A” el resultado que la luz LED mixta fue la que obtuvo un mayor promedio de 40.38 gramos.
- En las siguientes variables como ser ancho de hoja, largo de hoja, largo de raíz análisis de varianza nos muestra que no tiene significancia.
- Con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, para el factor B, densidad de siembra de 8 plantines/bandeja y de 6 plantines/bandeja, en todas las variables de respuesta se obtuvo un resultado no significativo.
- De acuerdo al análisis económico, el mayor beneficio donde se describe la relación beneficios costos, R/B del tratamiento (T2) con 0.7 Bs, indicando que por cada boliviano invertido no se generaría alguna ganancia, el coeficiente de menor coeficiente es el tratamiento (T6) con 0.4 Bs, siendo que el coeficiente de relación beneficio costo indico que la producción del cultivo no es rentable en todos los tratamientos.

## **7. RECOMENDACIONES**

Para las condiciones en que se realizó el presente trabajo de investigación, se recomienda:

- Realizar la producción en luz LED de color mixto.
- Realizar anterior mente la simbra en almacigueras para mejor adaptación.
- El cultivo de col rizada o kale se debe sembrar en una época donde no afecte tanto el frio para el cultivo.
- Variar tiempos de exposición a la luz y cuidar el manejo de la humedad.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Amazings®. (16 de Agosto de 2016). noticiasdelaciencia.com. Obtenido de <http://noticiasdelaciencia.com/not/20776/-granja-vertical-alternativa-sostenible-a-laagricultura-tradicional/>

Aruquipa Alejo Olinda COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE DOS VARIEDADES DE COL RIZADA (*Brassica oleracea* var. *Sabellica*) BAJO DOS FRECUENCIAS DE APLICACIÓN DE CALDO DE HUMUS DE LOMBRIZ EN EL MUNICIPIO DE EL ALTO 2021

Arce, B., Malagón Guzmán, D. C., & Sánchez León, G. D. (2016). Aprendiendo y construyendo nuestra huerta escolar. Bogotá: Agrosavia.

Arcas, J. (31 de Octubre de 2014). *¿Cultivo de lechugas con LEDS?*. Recuperado de: <http://colegiomontecastelo.com/2014/10/31/cultivo-de-lechugas-con-leds/>

Balčau, S. L., Apahidean, M., Zaharia, A., Gocan Tincuta, M., Boca, D. F., y Barjuta, J. 2013. Establishing some technological methods to increase leaves production of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology. 17(1): 15-20. [http://journal-hfb.usab-tm.ro/engleza/2013/Lista%20Lucrari%20PDF/Volum%2017\(1\)%20PDF/4Balcau%20Simina.pdf](http://journal-hfb.usab-tm.ro/engleza/2013/Lista%20Lucrari%20PDF/Volum%2017(1)%20PDF/4Balcau%20Simina.pdf).

BARROS, JDSG; GOMES, ECS; CAVALCANTI, LS Efeito de extratos de *Allamanda blanchetti* no controle de *Alternaria brassicicola* em mudas de couve-manteiga. Revista Caatinga, Mossoró, v.28, n.3, p.36-46, mar./abr. 2015.

Bejerano, P. (24 de Noviembre de 2014). Diario Turing. Obtenido de <https://diarioturing.com/las-tecnologias-se-pasan-a-la-agricultura-con-luz-artificial>

Bejerano, P. (15 de Julio de 2014). JaponAmazings®. (16 de Agosto de 2016). noticiasdelaciencia.com. Obtenido de <http://noticiasdelaciencia.com/not/20776/-granja-vertical-alternativa-sostenible-a-laagricultura-tradicional>.

Becerra-Moreno, A., Alanís-Garza, P. A., Mora-Nieves, J. L., Mora-Mora, J. P., y D. A. JacoboVelázquez. 2014. Kale: An excellent source of vitamin C, pro-vitamin A, lutein and glucosinolates. *CyTAJournal of Food*, 12(3),298-303.

Bustamante, M. (Junio de 2012). Estudio de los efectos de la luz LEDs en dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema hidróponico NFT vertical. trabajo de titulación. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias agrarias

Cadena, L. (2014). Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviado de humus de lombriz y dos formas de aplicación en el cultivo de espinaca (*Spinaceaoleracea* L), bajo ambiente protegido. Tesis de Grado Ing. Agrónomo Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.

Cheng, F., Wu, J. y Wang, X. (2014). La triplicación del genoma impulsó la diversificación de las plantas de Brassica. *Investigación en horticultura*, 1(1). <https://doi.org/10.1038/hortres.2014.24>

CYMMYT ,1998. Un manual metodológico de evaluación económica, Mexica D.F. p 79.

Decoteau. (2002). Fertilización edáfica y foliar en Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) tipo mercado. En Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Montecillo, Méx.

Eduardo, J. (noviembre de 2016). Sistema de medición y monitoreo para el estudio del efecto de la radiación PAR en las plantas. proyecto curricular de ingeniería electrónica. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

FOUCHY, MV; SANTOS, CI; AHN, CSV; MENDONÇA, CRB; NOGUEIRA, MB. 2019. Desarrollo de suco detox sem aditivos y su aceptabilidad em relação a uma formulação comercial. *Revista Brasileira Tecnologia* 2: 601-607

García, F. 2015. Familia Brasicáceas. Escuela Superior del Medio Rural y Enología, Universidad Politécnica de Valencia. Documento consultado el 25 de noviembre del

2015. Disponible en: [www.euita.upv.es/variados/biologia/Temas %20PDF/Familia%20cruciferas.pdf](http://www.euita.upv.es/variados/biologia/Temas%20PDF/Familia%20cruciferas.pdf)

Goitea, 2012. Manual de Practicas de dasonomía y silvicultura. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de agronomía. La Paz-Bolivia. 2012.

Gottau, G. (2016). Vitonica. Obtenido de Cultivo de Kale y sus características: [https://www.vitonica.com/alimentos/todo-sobre-el-kale-propiedades-beneficios-y-su-uso-en-la-cocin](https://www.vitonica.com/alimentos/todo-sobre-el-kale-propiedades-beneficios-y-su-uso-en-la-cocina)

Graetz, A. H. 2000. Suelos y fertilización. Manuales para la educación agropecuaria. Área suelos y agua. Segunda edición. Trillas. México.

Growing, 2017. Guide For Kale - Organic Seeds. Consultado el 25 de Noviembre del 2016. Disponible en: [www.organicseed.co.za/dl/gg/grow\\_guide\\_kale.pdf](http://www.organicseed.co.za/dl/gg/grow_guide_kale.pdf).

Japon, J. (Octubre de 2000). Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura. La Lechuga. Madrid, España: Extención Agraria, Neografics.S L.

Jimenez, L. (2016). Efecto de la intensidad lumínica de lámparas LED en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*). Guayaquil, Ecuador: Facultad de Educación Técnica Para el Desarrollo – d Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Judith A. Espinal Calani y Carmen R. Del Castillo Gutiérrez (2018) Uso de las luces led en la producción agrícola Revista Estudiantil AGRO – VET

*Julia Johannsen es especialista de la División de Protección Social y Salud del BID. El artículo se publicó inicialmente en la publicación Panorama de Efectividad en el Desarrollo del BI D2013*

Korus, A. 2010., Effect of the cultivar and harvest date of kale (*Brassica oleracea* L.var. *acephala*) on crop yield and plant morphological features. Vegetables Crops Research Bulletin. 73

Kosai T., Fujiwara K. y Runkle, E. 2016. LED lighting for urban agricultura. Editorial Springer.:55-65. <http://dx.doi.org/10.2478/v10032-010-0018-7>.

Lasso, Yesid Ramos Gonzalías<sup>1</sup>Eduardo Ramírez 2016 Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores - Vertical Farming (VF)

Maroto, J. V. Y Baixauli, C. 2017. Broculis, coliflores y coles. En: Maroto, J.V. y Baixauli, C. Cultivos hortícolas al aire libre. Serie Agricultura 13, Cajamar Rural. 371-434.

Moreno-Jiménez *Bioteología Vegetal - septiembre, 2017* Instituto de Bioteología de las Plantas. UCLV. MES.

NOVO, MCSS; PRELA PANTANO, A; DEUBER, R; TORRES, RB; TRANI, PE; -BRON, IU. 2010. Morfologia de folhas de couve do Banco de Germoplasma do Instituto Agronômico. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 27p

Ochoa, R., 2009. Diseños experimentales. La Paz, Bolivia: Vázquez. pp. 155-176.

Olivos. (2016). BRASSICACEAE El huerto. Obtenido de <http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/Ense%C3%B1anza/Clases%20Oleri%20general/Brassicaceae%202016.pdf>

Onegreenplanet, 2016. Tipos populares de col rizada y sus beneficios de salud. Consultado el 10 de febrero del 2016. Disponible en : <http://www.onegreenplanet.org/vegan-food/popular-types-of-kale-and-their-health-benefits>

Ordaz Gallegos<sup>1</sup> , Julio Sánchez Escudero<sup>1</sup> , Jonathan E. Márquez de la Cruz<sup>1</sup> , Ivan Cabanzo Atilano<sup>2</sup> , María de las Nieves Rodríguez Mendoza Producción de kale en diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero 2021

Osram. (2019). LED: soluciones innovadoras de iluminación.

Paniagua, G. (2014). Luz LED de alta intensidad en procesos fisiológicos de lechuga (*Lactuca sativa* L.): enfoque sistémico transdisciplinario. Mexico, D.F.: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica - Programa de Post Grado en Ingeniería de Sistemas.

Pastor, J. (18 de Junio de 2016). Quartz. Obtenido de xataka.com: <https://www.xataka.com/investigacion/la-caida-de-precios-en-leds-podriarevolucionar-la-agricultura-de-interiores>

Pereira Micaela B.,Dias Thiago J, Lima Neriane R.Justino Evandra S.,Oliveira Daivyd S.,Veras Mario L. Martins Efecto de la aplicación combinada de estiércol bovino y polvo de roca en el crecimiento y producción de col rizada (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) | Acta Agronómica (unal.edu.co)

Philips. (5 de Agosto de 2020). lighting.philips. Obtenido de <://www.lighting.philips.es/productos/iluminacion-led-horticultura/agricultura-urbana>

Podsędek, A. 2007. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1), 1-11.

Ramos, Y., & Ramirez, E. (22 de Diciembre de 2016). Informador técnico. Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores - vertical farming (VF). Colombia.

Roldán Viloría, J. (2012). Estudio de viabilidad de instalaciones solares. Madrid, España: Paraninfo.

Rolls, B., Ello Martin, J., & Tohill, C. (2004). What can intervention studies tell us about the relationship between fruit and vegetable consumption and weight management? *Nutrition Reviews*, 1-17

Rodriguez, R. (2018). Comparación de dos técnicas hidropónicas, flujo laminar de nutrientes y raíz flotante para la producción de lechuga (*Lactuca sativa*.L) en el centro experimental de Cota Cota. La Paz, Bolivia: Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés.

Saavedra, G., Corradini, F., Antunez, A., Felner, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de lechuga. Boletín INIA.

Sánchez, M. 2017. Cultivo de la col rizada. Consultado el 16 de enero de 2017. Disponible en: <https://www.jardineriaon.com/cultivo-de-la-col-rizada.html>

Sanz, D. (25 de diciembre de 2016). Actitud Ecológica. Obtenido de Características de un LED: Valores a tener en cuenta: <https://actitudecologica.com/caracteristicas-de-unled>.

SENAMHI, 2015-2016. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Disponible en: [www.senamhi.gob.bo/](http://www.senamhi.gob.bo/)

Samec, D., Urlic, B., & Salopek-Sondi, B. (2019). Review of the scientific evidence behind the statement. Critical reviews in food science and nutrition,. Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood, 15

Sierra, C. (28 de agosto de 2018). Cómo enfrentar la fertilización de las hortalizas. El mercurio, pág. 1.

Singh, Devesh; Basu, Chandrajit ; MeinhardtWollweber,& Bernhard Roth, Merve (2014). LEDs for Energy Efficient Greenhouse Lighting. Recuperado de <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1406/1406.3016.pdf>

SILVA, CP; GARCÍA, KGV; SILVA, RM; ARAÚJO OLIVEIRA, LA; TOSTA, MS. Desarrollo inicial de mudas de couve-folha em função do uso de extrato de alga (*Ascophyllum nodosum*). Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró, n.7, v.1, p.7-11, ene./mar. 2012.

Stansell, Z., Hyma, K., Fresnedo-Ramírez, J., Sun, Q., Mitchell, S., Björkman, T. y Hua, J. (2018). El genotipado por secuenciación de vegetales de *Brassica oleracea* revela patrones filogenéticos únicos, estructura de población y huellas de domesticación. Investigación en horticultura, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-018-0040-38>



Tamashiro, S. 2017. Kale, una hortaliza en auge que interesa a investigadores. Disponible en: <http://sobrelatierra.agro.uba.ar/kale-una-hortaliza-en-auge-que-interesa-a-investigadores/>. Último acceso: 29 de noviembre del 2019.

Tello Gavilanes Juan Carlos (2012) la agricultura urbana y su influencia en el cultivo de productossaludables.[http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/2867/1/52699\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/2867/1/52699_1.pdf)

Tennessen DJ, Singaas EL & Sharkey TD.(1994). Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynth Res*, 39:85–92.

Un huerto en mi balcon, 2016 Cultivo de kale o col rizada en el huerto. Consultado en febrero del 2017. Disponible en: **[www.unhuertoenmibalcon.com](http://www.unhuertoenmibalcon.com)**

USDA. 2019. Disponible en: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168421/nutrients>. Último acceso 20 de noviembre del 2019.

Waterland, NL, Moon, Y., Tou, JC, Kim, MJ, Pena-Yewtukhiw, EM y Park, S. (2017). El contenido de minerales difiere entre las etapas microverde, hoja bebé y adulta en tres cultivares de col rizada. *HortScience*, 52(4), 566–571. <https://doi.org/10.21273/hortsci11499-16>

WIKIHOW, 2016. Cómo cultivar col rizada. Consultado en marzo del 2017. Disponible en: <http://es.wikihow.com/cultivar-col-rizada>

Yesid Ramos Gonzalías<sup>1</sup> Eduardo Ramírez Lasso Development of an artificial LED lighting system for indoor Recibido: 29- 12 - 2015 Aceptado: 22-11-2016

# ANEXOS

TABLA 1 del Anexo datos var. 1 longitud de tallo

REP	FA	FB	TRAT	VAR1 longitud cm
R1	LA	D1	T1	17
R1	LA	D1	T2	12.875
R1	LR	D1	T3	17.275
R1	LR	D1	T4	17.45
R1	LM	D1	T5	21.35
R1	LM	D1	T6	21.575
R2	LA	D1	T1	23.3
R2	LA	D1	T2	22.475
R2	LR	D1	T3	13.2
R2	LR	D1	T4	14.475
R2	LM	D1	T5	27.1
R2	LM	D1	T6	11.525
R3	LA	D1	T1	22.05
R3	LA	D1	T2	16.4
R3	LR	D1	T3	29.5
R3	LR	D1	T4	26.175
R3	LM	D1	T5	16.275
R3	LM	D1	T6	16.65

TABLA 2 del Anexo datos var. 2 numero de hojas

REP	FA	FB	TRAT	VAR2 Nª de hojas
R1	LA	D1	T1	10.5
R1	LA	D1	T2	11.75
R1	LR	D1	T3	11.5
R1	LR	D1	T4	10.5
R1	LM	D1	T5	16.25
R1	LM	D1	T6	13.75
R2	LA	D1	T1	19
R2	LA	D1	T2	19
R2	LR	D1	T3	15.75
R2	LR	D1	T4	12.75
R2	LM	D1	T5	14.25
R2	LM	D1	T6	12.5
R3	LA	D1	T1	14.75
R3	LA	D1	T2	13
R3	LR	D1	T3	17
R3	LR	D1	T4	15
R3	LM	D1	T5	9.5
R3	LM	D1	T6	11

**TABLA 3** del Anexo datos var. 3 ancho de hojas

REP	FA	FB	TRAT	VAR3 ancho de hojas
R1	LA	D1	T1	5.9625
R1	LA	D1	T2	3.85
R1	LR	D1	T3	3.825
R1	LR	D1	T4	4.55
R1	LM	D1	T5	5.175
R1	LM	D1	T6	4.275
R2	LA	D1	T1	5.3
R2	LA	D1	T2	5.35
R2	LR	D1	T3	4.7
R2	LR	D1	T4	4.825
R2	LM	D1	T5	5.325
R2	LM	D1	T6	4.825
R3	LA	D1	T1	5.275
R3	LA	D1	T2	5.025
R3	LR	D1	T3	4.425
R3	LR	D1	T4	4.325
R3	LM	D1	T5	5.15
R3	LM	D1	T6	5

**TABLA 4** del Anexo datos var. 4 largo de hojas

REP	FA	FB	TRAT	VAR4 largo de hoja
R1	LA	D1	T1	9.275
R1	LA	D1	T2	6.975
R1	LR	D1	T3	5.55
R1	LR	D1	T4	7.55
R1	LM	D1	T5	9
R1	LM	D1	T6	7.925
R2	LA	D1	T1	8.3
R2	LA	D1	T2	9.675
R2	LR	D1	T3	7.475
R2	LR	D1	T4	7.15
R2	LM	D1	T5	9.425
R2	LM	D1	T6	8
R3	LA	D1	T1	8.7
R3	LA	D1	T2	9.25
R3	LR	D1	T3	8.15
R3	LR	D1	T4	7.7
R3	LM	D1	T5	8.875
R3	LM	D1	T6	9.625

**TABLA 5** del Anexo datos var 5 peso fresco

REP	FA	FB	TRAT	VAR5 peso fresco
R1	LA	D1	T1	5.72
R1	LA	D1	T2	5.35
R1	LR	D1	T3	8.20
R1	LR	D1	T4	6.95
R1	LM	D1	T5	6.03
R1	LM	D1	T6	5.75
R2	LA	D1	T1	7.35
R2	LA	D1	T2	6.43
R2	LR	D1	T3	5.25
R2	LR	D1	T4	5.38
R2	LM	D1	T5	9.05
R2	LM	D1	T6	8.15
R3	LA	D1	T1	8.78
R3	LA	D1	T2	9.00
R3	LR	D1	T3	6.90
R3	LR	D1	T4	5.33
R3	LM	D1	T5	6.70
R3	LM	D1	T6	5.90

**TABLA 6** del Anexo datos var. 6 peso seco

REP	FA	FB	TRAT	VAR6 peso seco
R1	LA	D1	T1	7.0475
R1	LA	D1	T2	6.566666667
R1	LR	D1	T3	10.5014881
R1	LR	D1	T4	10.04186508
R1	LM	D1	T5	8.12760989
R1	LM	D1	T6	8.3125
R2	LA	D1	T1	8.483044733
R2	LA	D1	T2	8.704123932
R2	LR	D1	T3	7.755208333
R2	LR	D1	T4	8.236071429
R2	LM	D1	T5	9.380584416
R2	LM	D1	T6	11.23684653
R3	LA	D1	T1	10.26111111
R3	LA	D1	T2	10.00293651
R3	LR	D1	T3	8.911547619
R3	LR	D1	T4	8.5525
R3	LM	D1	T5	8.5890625
R3	LM	D1	T6	8.045039683

**TABLA 7** del Anexo datos var 7 rendimiento

REP	FA	FB	TRAT	VAR7 rendimiento
R1	LA	D1	T1	27.7
R1	LA	D1	T2	28.8
R1	LR	D1	T3	36.9
R1	LR	D1	T4	41.6
R1	LM	D1	T5	20.6
R1	LM	D1	T6	26.8
R2	LA	D1	T1	31.3
R2	LA	D1	T2	27.3
R2	LR	D1	T3	34.8
R2	LR	D1	T4	31.1
R2	LM	D1	T5	41.6
R2	LM	D1	T6	38.3
R3	LA	D1	T1	36.4
R3	LA	D1	T2	47.5
R3	LR	D1	T3	31
R3	LR	D1	T4	29.9
R3	LM	D1	T5	29.6
R3	LM	D1	T6	24.2

**TABLA 8** del Anexo datos var largo de raiz

REP	FA	FB	TRAT	VAR8 largo de raiz
R1	LA	D1	T1	10.175
R1	LA	D1	T2	8.525
R1	LR	D1	T3	6.325
R1	LR	D1	T4	5.45
R1	LM	D1	T5	8.75
R1	LM	D1	T6	6.75
R2	LA	D1	T1	9.075
R2	LA	D1	T2	10.1
R2	LR	D1	T3	7.025
R2	LR	D1	T4	9.7
R2	LM	D1	T5	8.35
R2	LM	D1	T6	6.8
R3	LA	D1	T1	10.85
R3	LA	D1	T2	7.95
R3	LR	D1	T3	8.9
R3	LR	D1	T4	8.15
R3	LM	D1	T5	7.325
R3	LM	D1	T6	10.375

## CORRIDA DE DATOS CON INFOSTAT

### Analisis de datos ANVA para las variables

#### Análisis de la varianza

#### VAR1 longitud de tallo

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

VAR1 18 0,71 0,59 17,20

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 323,06 5 64,61 5,89 0,0056

FA 245,62 2 122,81 11,19 0,0018

FB 41,86 1 41,86 3,81 0,0745

FA\*FB 35,58 2 17,79 1,62 0,2382

Error 131,70 12 10,97

Total 454,75 17

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 10,9749 gl: 12

FA Medias n E.E.

LA 24,06 6 1,35 A

LM 18,63 6 1,35 B

LR 15,08 6 1,35 B

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

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 10,9749 gl: 12

FB Medias n E.E.

D1 20,78 9 1,10 A

D2 17,73 9 1,10 A

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

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 10,9749 gl: 12

FA FB Medias n E.E.

LA D1 24,72 3 1,91 A

LA D2 23,41 3 1,91 A

LM D1 22,14 3 1,91 A

LR D1 15,49 3 1,91 B

LM D2 15,13 3 1,91 B

LR D2 14,67 3 1,91 B

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

#### VAR2 numero de hojas

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

VAR2 18 0,62 0,46 15,24

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 84,89 5 16,98 3,86 0,0257

FA 78,13 2 39,07 8,88 0,0043

FB 4,75 1 4,75 1,08 0,3191

FA\*FB 2,01 2 1,00 0,23 0,7994

Error 52,79 12 4,40

Total 137,68 17

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 4,3993 gl: 12

FA Medias n E.E.

LA 16,67 6 0,86 A

LM 12,75 6 0,86 B

LR 11,88 6 0,86 B

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

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 4,3993 gl: 12

FB Medias n E.E.

D1 14,28 9 0,70 A

D2 13,25 9 0,70 A

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

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 4,3993 gl: 12

FA FB Medias n E.E.

LA D1 17,42 3 1,21 A

LA D2 15,92 3 1,21 A B

LM D1 13,50 3 1,21 B C

LM D2 12,00 3 1,21 B C

LR D1 11,92 3 1,21 B C

LR D2 11,83 3 1,21 C

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

**VAR3 ancho de hoja**

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

VAR3 18 0,18 0,00 12,41

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 0,96 5 0,19 0,53 0,7493

FA 0,05 2 0,02 0,07 0,9374

FB 0,54 1 0,54 1,49 0,2458

FA\*FB 0,37 2 0,19 0,52 0,6089

Error 4,34 12 0,36

Total 5,30 17

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,3614 gl: 12

FA Medias n E.E.

LR 4,91 6 0,25 A

LA 4,81 6 0,25 A

LM 4,80 6 0,25 A

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

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,3614 gl: 12

FB Medias n E.E.

D1 5,02 9 0,20 A

D2 4,67 9 0,20 A

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

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,3614 gl: 12

FA FB Medias n E.E.

LR D1 5,27 3 0,35 A

LA D1 4,97 3 0,35 A

LM D1 4,81 3 0,35 A

LM D2 4,80 3 0,35 A

LA D2 4,65 3 0,35 A

LR D2 4,56 3 0,35 A



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

#### VAR4 largo de hoja

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

VAR4 18 0,06 0,00 15,23

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 1,24 5 0,25 0,16 0,9738

FA 0,44 2 0,22 0,14 0,8721

FB 0,05 1 0,05 0,03 0,8688

FA\*FB 0,76 2 0,38 0,24 0,7911

Error 18,97 12 1,58

Total 20,21 17

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,5807 gl: 12

FA Medias n E.E.

LA 8,46 6 0,51 A

LR 8,23 6 0,51 A

LM 8,08 6 0,51 A

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

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,5807 gl: 12

FB Medias n E.E.

D1 8,31 9 0,42 A

D2 8,21 9 0,42 A

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

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,5807 gl: 12

FA FB Medias n E.E.

LR D1 8,54 3 0,73 A

LA D1 8,48 3 0,73 A

LA D2 8,43 3 0,73 A

LM D2 8,27 3 0,73 A

LR D2 7,92 3 0,73 A

LM D1 7,89 3 0,73 A

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

#### VAR5 peso fresco

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

VAR5 18 0,83 0,75 9,79

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 25,14 5 5,03 11,38 0,0003

FA 23,06 2 11,53 26,10 <0,0001

FB 1,83 1 1,83 4,14 0,0645

FA\*FB 0,25 2 0,12 0,28 0,7589

Error 5,30 12 0,44

Total 30,44 17

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,4418 gl: 12

FA Medias n E.E.

LM 8,36 6 0,27 A

LA 6,30 6 0,27 B

LR 5,72 6 0,27 B

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

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,4418 gl: 12

FB Medias n E.E.

D1 7,11 9 0,22 A

D2 6,47 9 0,22 A*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,4418 gl: 12

FA FB Medias n E.E.

LM D1 8,68 3 0,38 A

LM D2 8,03 3 0,38 A

LA D1 6,76 3 0,38 B

LR D1 5,89 3 0,38 B

LA D2 5,84 3 0,38 B

LR D2 5,54 3 0,38 B*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***VAR6 peso seco**Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CVVAR6 18 0,80 0,72 7,27**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 20,32 5 4,06 9,90 0,0006

FA 20,05 2 10,03 24,42 0,0001

FB 0,02 1 0,02 0,06 0,8175

FA\*FB 0,24 2 0,12 0,30 0,7493

Error 4,93 12 0,41

Total 25,24 17**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,4106 gl: 12

FA Medias n E.E.

LM 10,24 6 0,26 A

LA 8,52 6 0,26 B

LR 7,71 6 0,26 C*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,4106 gl: 12

FB Medias n E.E.

D2 8,86 9 0,21 A

D1 8,78 9 0,21 A*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,4106 gl: 12

FA FB Medias n E.E.

LM D2 10,43 3 0,37 A

LM D1 10,05 3 0,37 A

LA D2 8,52 3 0,37 B

LA D1 8,51 3 0,37 B

LR D1 7,80 3 0,37 B

LR D2 7,62 3 0,37 B*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )***VAR7 rendimiento**Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CVVAR7 18 0,76 0,66 12,28**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo**

### III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	600,29	5	120,06	7,53	0,0021
FA	563,38	2	281,69	17,66	0,0003
FB	1,74	1	1,74	0,11	0,7467
FA*FB	35,17	2	17,58	1,10	0,3635
Error	191,40	12	15,95		
<u>Total</u>	<u>791,69</u>	<u>17</u>			

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 15,9500 gl: 12

#### FA Medias n E.E.

LM	40,38	6	1,63	A
LR	29,37	6	1,63	B
<u>LA</u>	<u>27,82</u>	<u>6</u>	<u>1,63</u>	<u>B</u>

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

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 15,9500 gl: 12

#### FB Medias n E.E.

D2	32,83	9	1,33	A
<u>D1</u>	<u>32,21</u>	<u>9</u>	<u>1,33</u>	<u>A</u>

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

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 15,9500 gl: 12

#### FA FB Medias n E.E.

LM D2	42,47	3	2,31	A
LM D1	38,30	3	2,31	A
LR D1	30,70	3	2,31	B

LR D2 28,03 3 2,31 B

LA D2 28,00 3 2,31 B

LA D1 27,63 3 2,31 B

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

#### VAR8 largo de raíz

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

VAR8 18 0,33 0,05 17,90

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo	13,14	5	2,63	1,17	0,3780
FA	5,15	2	2,58	1,15	0,3498
FB	0,49	1	0,49	0,22	0,6480
FA*FB	7,50	2	3,75	1,67	0,2290
Error	26,92	12	2,24		
<u>Total</u>	<u>40,06</u>	<u>17</u>			

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 2,2433 gl: 12

#### FA Medias n E.E.

LR	8,85	6	0,61	A
LA	8,62	6	0,61	A
<u>LM</u>	<u>7,62</u>	<u>6</u>	<u>0,61</u>	<u>A</u>

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

#### Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 2,2433 gl: 12

#### FB Medias n E.E.

D1	8,53	9	0,50	A
<u>D2</u>	<u>8,20</u>	<u>9</u>	<u>0,50</u>	<u>A</u>

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

**Test:Duncan Alfa=0,05**

Error: 2,2433 gl: 12

FA FB Medias n E.E.

LR D2 9,53 3 0,86 A

LA D1 8,91 3 0,86 A

LM D1 8,51 3 0,86 A

LA D2 8,33 3 0,86 A

LR D1 8,18 3 0,86 A

LM D2 6,73 3 0,86 A

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

**TABLA 9** del Anexo Costos de producción

Items	Unidad	Cantidad	Costo unitario (bs)	subtotal
<b>Mano de obra</b>				
Preparacion del sustrato	jornal	1	50	50
Almacigado	jornal	0.5	50	25
Labores culturales	jornal	1	50	50
<b>Insumos y materiales</b>				125
Semillas	onzas	2	20	40
Agua	lt	0.5	1.78	0.89
Luz	kwts	5	20	100
Estante de metal	Unidad	1	29.2	29.2
Lámparas Led	Unidad	9	6.4	57.6
Accesorios	estimado	1	22.2	22.2
Bandejas	Unidad	27	2.5	67.5
Regaderas	Unidad	2	2.5	5
almacigeras	unidad	2	7.5	15
balanzas	unidad	1	13.8	13.8
cables	metros	6	1	6
adaptadores	unidad	20	4	80
timer	unidad	1	35.7	35.7
				472.89
			total	597.89

**TABLA 10** del Anexo Costos de producción

Items	Unidad	Cantidad	Costo unitario (bs)	subtotal
<b>Mano de obra</b>				
Preparacion del sustrato	jornal	1	50	50
Almacigado	jornal	0.5	50	25
Labores culturales	jornal	1	50	50
<b>Insumos y materiales</b>				125
Semillas	onzas	1		0
Agua	lt	0.5	1.78	0.89
Luz	kwts	5	20	100
Estante de metal	Unidad	1	50	29.2
Lámparas Led	Unidad	9	6.4	57.6
Accesorios	estimado	1	22.2	22.2
Bandejas	Unidad	27	2.5	67.5
Regaderas	Unidad	2	2.5	5
almacigeras	unidad	2	7.5	15
balanzas	unidad	1	13.8	13.8
cables	metros	6	1	6
adaptadores	unidad	20	4	80
timer	unidad	1	35.7	35.7
<b>Investigacion</b>				432.89
				234.445



**FIGURA 6** Desinfección de suelo con pistola de calor



**FIGURA 7** Transplante



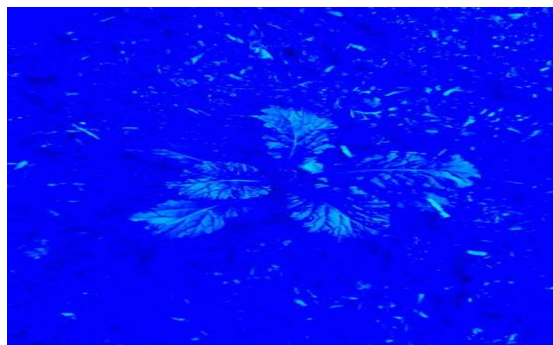
**FIGURA 8** Sembrado en Almacigera



**FIGURA 9** Preparado del ambiente



**FIGURA 10** Etapa del transplante



**FIGURA 11** Encendido de el azul





**FIGURA 12** Encendido de luz mixta



**FIGURA 13** Tercer días de producción



**FIGURA 14** Registro de datos de hojas



**FIGURA 15:** adaptacion



**FIGURA 16** Pesaje del cosechado



**FIGURA 17** Cosecha



**FIGURA 18** Etapa raleo en almacigera



**FIGURA 19** Medicion de la planta



**FIGURA 20** Secado de hoja en la mufla



**FIGURA 21** Pesaje materia seca



**FIGURA 22** Toma de datos



**FIGURA 23** Prepracion de sustrato





**FIGURA 24** Colocado de luz led



**FIGURA 25** Laboratorio toma de datos



**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°44

ANÁLISIS QUÍMICO

**INTERESADO:** Elvia Marisol Rivero  
**SOLICITUD:** LAF 44\_22  
**FECHA DE ENTREGA:** 05/05/2022  
**PROCEDENCIA:** Departamento La Paz  
Provincia Murillo  
Sustrato en bandeja

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
pH en H <sub>2</sub> O relación 1:5	-	6.51	Potenciometría
pH en KCl 1:5	-	5.56	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5	mmhos/cm	0.78	Potenciometría
Potasio intercambiable	meq/100g S.	2.03	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/100g S.	7.10	Acetato de amonio 1N(Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetria
Nitrógeno total	%	0.76	Kjendahl
Materia orgánica	%	16.78	Walkley y Black
Fósforo disponible	ppm	31.40	Espectrofotometría UV-Visible

  
Ph.D. Roberto Miranda Casas  
**LABORATORIO DE SUELOS**



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

FIGURA 26 Análisis químico de suelo