

UNIVERSIDAD  
**CIENTÍFICA**  
DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

**“EFECTO DE TRATAMIENTOS DE ONDAS DE LUZ LED EN LA PRODUCCIÓN  
DE GERMINADOS DE ALFALFA (*Medicago sativa*)”**

Tesis para optar al Título Profesional de:

INGENIERO AGROFORESTAL

Presentado por:

JOSÉ ANTONIO DOCUMET RODRÍGUEZ

Asesor:

Javier Alvarado Llerena, Mg.

Lima – Perú

2019

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 30 de mayo de 2019.

Los integrantes del Jurado de Tesis:

Presidente: Dra. Gladys Liliana Lino Villanueva
Miembro: Ing. Oscar Reátegui Arévalo
Miembro: Ing. Luis Abraham Gomero Osorio

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:  
**"EFECTO DE TRATAMIENTOS DE ONDAS DE LUZ LED EN LA PRODUCCIÓN DE GERMINADOS DE ALFALFA (*Medicago sativa*)"**

Presentada por el bachiller:

- **JOSE ANTONIO DOCUMET RODRIGUEZ**

Para optar al Título Profesional de **Ingeniero Agroforestal**

Asesorada por:

- **M.Sc. JAVIER FRANCISCO ALVARADO LLERENA**

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista en la sustentación, concluyen de manera unánime ( ) por mayoría simple ( ) calificar a:

JOSE ANTONIO DOCUMET RODRIGUEZ			Nota (escrito): 15
Aprobado (x)	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



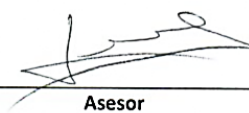
\_\_\_\_\_  
**Presidente del Jurado**  
 Dra. Gladys Liliana Lino Villanueva



\_\_\_\_\_  
**Miembro del Jurado**  
 Ing. Oscar Reátegui Arévalo



\_\_\_\_\_  
**Miembro del Jurado**  
 Ing. Luis Abraham Gomero Osorio



\_\_\_\_\_  
**Asesor**  
 M.Sc. Javier Francisco Alvarado Llerena



## Índice General

Índice General.....	3
Índice de Figuras.....	4
Índice de Tablas.....	7
Índice de Anexos.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
III. JUSTIFICACIÓN.....	17
IV. MARCO TEÓRICO.....	20
4.1. Antecedentes.....	20
4.2. Generalidades.....	24
4.2.1. Germinados.....	24
4.2.2. Germinados de Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ).....	26
4.2.3. Agricultura urbana.....	26
4.2.4. Luces LED.....	27
4.2.5. Clorofila.....	27
V. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	29
5.1. Objetivos.....	29
5.1.1. Objetivo General.....	29
5.1.2. Objetivos específicos.....	29
5.2. Hipótesis.....	29

5.2.1. Hipótesis generales .....	29
5.2.2. Hipótesis específicas .....	29
VI. METODOLOGÍA.....	30
6.1. Ubicación del estudio.....	30
6.2. Materiales .....	30
6.3. Métodos.....	30
6.3.1. Unidad experimental .....	30
6.3.2. Metodología de trabajo.....	32
6.3.3. Indicadores de respuesta .....	34
6.3.4. Esquema experimental.....	38
6.3.5. Diseño estadístico .....	38
VII. RESULTADOS.....	39
7.1. Efecto de los tratamientos.....	39
7.2. Efecto del tipo de color de luz .....	44
7.3. Influencia del tiempo .....	51
7.4. Análisis de costo y beneficio de germinados de alfalfa por tratamiento .....	55
VIII. DISCUSIÓN .....	58
8.1. Efecto de los tratamientos.....	58
8.2. Efecto del tipo de luz .....	60
8.3. Efecto del tiempo.....	62
IX. CONCLUSIONES.....	64
X. RECOMENDACIONES.....	65
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
XII. ABREVIATURAS .....	79

XIII. ANEXOS..... 80

**Índice de Figuras**

Figura 1. Unidad experimental ..... 31

Figura 2. Unidad experimental con bandejas..... 31

Figura 3. Germinado bajo la influencia de LEDS rojos..... 33

Figura 4. Germinado bajo la influencia de LEDS azules..... 33

Figura 5. Germinado bajo la influencia de LEDS rojos+azules..... 33

Figura 6. Medición de germinado de alfalfa (Medicago sativa) ..... 34

Figura 7. Medición de área foliar..... 35

Figura 8. Muestras de extracciones pigmentos fotosintéticos ..... 36

Figura 9. Altura de plántulas de alfalfa (cm) germinadas por tratamiento ..... 39

Figura 10. Área foliar (cm<sup>2</sup>) de germinados de alfalfa por tratamiento..... 40

Figura 11. Peso seco (g) de los germinados de alfalfa por tratamiento..... 41

Figura 12. Clorofila A y B (mg/L) en los germinados de alfalfa por tratamiento..... 42

Figura 13. Clorofila total y carotenoides (mg/L) en germinados de alfalfa por  
tratamiento..... 43

Figura 14. Altura (cm) de germinados de alfalfa tipo de color de luz ..... 44

Figura 15. Área foliar (cm<sup>2</sup>) de los germinados de alfalfa por tipo de color de luz..... 45

Figura 16. Peso seco (g) de los germinados de alfalfa por tipo de color de luz ..... 46

Figura 17. Clorofila A y B (mg/L) en los germinados de alfalfa por tipo de color de luz  
..... 47

Figura 18. Clorofila total y carotenoides (mg/L) en germinados de alfalfa por tipo de color de luz..... 48

Figura 19. Germinados de alfalfa bajo la influencia de diferentes tipos de luz y tiempo de explosión en ambientes semi-controlados..... 50

Figura 20. Altura (cm) de germinados de alfalfa por el tiempo (h)..... 51

Figura 21. Área foliar (cm<sup>2</sup>) de los germinados de alfalfa por el tiempo (h)..... 52

Figura 22. Peso seco (g) de los germinados de alfalfa por el tiempo (h) ..... 53

Figura 23. Clorofila A y B (mg/L) en los germinados de alfalfa por tiempo (h) ..... 54

Figura 24. Clorofila total y carotenoides (mg/L) en germinados de alfalfa por tiempo (h) ..... 55

Figura 25. Costo unitario (S/.) y análisis de Beneficio/Costo en la producción de germinados de alfalfa por tratamiento ..... 57

## Índice de Tablas

Tabla 1. Tratamientos de investigación de producción de germinados de alfalfa.....	38
Tabla 2. Análisis de costo de producción, beneficio/costo en la producción de germinados de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ) por tratamientos.....	57
Tabla 3. Análisis de varianza para los tratamientos de ondas de luz LED en la producción de germinados de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ) .....	83
Tabla 4. Prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) para los tratamientos de ondas de luz LED en la producción de germinados de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ).....	83
Tabla 5. Análisis de varianza para los colores de luz en la producción de germinados de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ) .....	84
Tabla 6. Prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) para los colores de luz en la producción de germinados de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ).....	84
Tabla 7. Análisis de varianza para el tiempo (h) en la producción de germinados de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ) .....	85
Tabla 8. Prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) para los colores de luz en la producción de germinados de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ).....	85



## Índice de Anexos

Anexos 1. Matriz de consistencia .....	80
Anexos 2. Diseño de luces LEDS en ambientes semi-controlados .....	81
Anexos 3. Extracción de pigmentos fotosintéticos .....	81
Anexos 4. Fotos de muestras de germinados pesadas .....	82
Anexos 5. Análisis estadístico para los tratamientos de ondas de luz LED en la producción de germinados de alfalfa (Medicago sativa).....	83
Anexos 6. Análisis estadístico para los colores de luz en la producción de germinados de alfalfa (Medicago sativa).....	84
Anexos 7. Análisis estadístico para el tiempo (h) en la producción de germinados de alfalfa (Medicago sativa).....	85

## Resumen

Esta investigación se enfocó en evaluar el cultivo de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*) bajo la influencia de tres diferente luces LED de alta intensidad (roja, azul y rojo+azul) y un control con luz natural, en tres tiempos (24 h, 48 h y 72 h), ya que su producción suele ser en las ciudades o invernaderos y la luz es un factor esencial que determina la calidad del producto final. Además, su consumo tiene numerosos beneficios para la salud, tienen una fuerte demanda en la alta cocina y las personas vegetarianas o veganas. Se evaluaron cuatro variables, las cuales fueron, altura, área foliar, peso seco y la cuantificación de la clorofila total. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. En el caso de la variable altura se tomaron 30 individuos por cada uno de los 10 tratamiento utilizando una regla milimétrica, para la variable área foliar se separaron los cotiledones de 30 individuos por tres repeticiones utilizando la aplicación Easy Leaf Area<sup>®</sup> para hacer la medición. Luego para la variable peso seco se realizó el sacado a 65°C por 72 h de tres repeticiones de 100 gr por tratamiento y finalmente la variable de cuantificación de clorofila se realizó mediante la medición de la absorbancia por espectrometría. La mayor altura y área foliar se obtuvieron bajo la exposición a la luz roja, mientras que la menor altura y área foliar se obtuvo la de azul. En relación al peso seco no hubo ninguna variación significativa, sin embargo, el mayor peso fue el de la luz natural o solar. Finalmente, el mayor contenido de clorofilas fue obtenido a mayor tiempo de exposición a la luz debida a la fotosíntesis dada a la influencia de las luces.

### **Abstract**

This research focused on evaluating the cultivation of alfalfa sprouts (*Medicago sativa*) under the influence of three different high intensity LED lights (red, blue and red + blue) and a control with natural light, in three times (24 hours, 48 hours and 72 hours), since its production is usually in cities or greenhouses and light is an essential factor that determines the quality of the final product. In addition, its consumption has numerous health benefits, have a strong demand in haute cuisine and vegetarian or vegan. Four variables were evaluated, which were height, leaf area, dry weight and the quantification of total chlorophyll. A completely randomized experimental design was used. In the case of the height variable, 30 individuals were taken for each of the 10 treatments using a millimeter rule, for the leaf area variable the cotyledons of 30 individuals were separated by three repetitions using the Easy Leaf Area<sup>®</sup> application to make the measurement. Then, for the variable dry weight, the extraction was carried out at 65 ° C for 72 hours of three repetitions of 100 grams per treatment and finally the chlorophyll quantification variable was carried out by measuring the absorbance by spectrometry. The highest height and leaf area were obtained under exposure to red light, while the lowest height and leaf area was obtained in blue. In relation to the dry weight there was no significant variation, however, the greatest weight was that of natural or solar light. Finally, the highest chlorophyll content was obtained at a longer time of exposure to light due to photosynthesis due to the influence of the lights.

## I. INTRODUCCIÓN

El consumo de germinados se inició en el medio oriente hace miles de años por la civilización China. Ellos fueron pioneros en aprovechar sus beneficios y sus propiedades. Así mismo, en el continente de América, específicamente en el territorio andino desde tiempos ancestrales e incaicos, los germinados de maíz que se usaron para la elaboración de la chicha de jora, bebida fermentada típica de zonas andinas con altos valores nutricionales. En otros lugares como Europa, el consumo de los germinados se remonta a la obtención de cerveza proveniente de la cebada germinada de la cual se obtiene la malta, materia prima para su elaboración (Botero, 2011).

A partir de 1980, el consumo de germinados a nivel mundial aumentó (Lorenz & D'Appolonia, 1980; Price 1988). Actualmente, según lo publicado por Mercola, (2015) en la revista Artículos Mercola es un producto con alta demanda a nivel mundial gracias a sus propiedades nutricionales y terapéuticas. Así mismo, el uso de luces para mejorar parámetros fotosintéticos de la fisiología vegetal y obtener productos vegetales de alta calidad, en ambientes controlados inició en la década de 1980. Actualmente, las ventajas de las luces LED (Light Emitting Diode) han revolucionado los cultivos de interior (espacio cerrado donde se pueden cultivar diversas especies vegetales que están sujetas a diversos factores ambientales como humedad relativa, temperatura, luminosidad, entre otros) haciendo más eficaz su uso gracias a propiedades específicas como el no irradiar calor y emitir ondas de luz específicas.

Esta investigación busca mejorar la producción de germinados de alfalfa, dando mejor calidad beneficiosa para el consumo humano, según lo publicado por Braunstein (2012), en el libro "*Germinados*".

Según el Ministerio de Agricultura de España, se cuenta con solo siete productores de germinados incluidos en el Registro de Operadores Productores de Brotes de acuerdo con el R.D. 379/2014 por el que se regulan las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria en materia de autorización de establecimientos, higiene y trazabilidad, en el sector de los brotes y de las semillas destinadas a la producción de los mismos (Ministerio de agricultura y medio ambiente de España - MAGRAMA, 2014).

A través de una investigación del mercado peruano, se han encontrado cuatro productores de germinados (Germinando Vida, Línea Verde, Sprouts y Oro Verde). No se han encontrado datos de producción a nivel nacional, ni a nivel mundial.

En este contexto, la investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de tratamientos de ondas de luz LED en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*) en condiciones controladas.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La globalización, el crecimiento poblacional y la explotación irracional de los recursos naturales, han provocado un desequilibrio ecológico, económico y social, generando una distribución desigual de la riqueza e inequidad social. En consecuencia, no todos los individuos tienen acceso a alimentos de calidad (Eli, 2011)

Actualmente, algunos de los principales problemas a nivel mundial son el hambre y la desnutrición que sufren algunas regiones del planeta, además de la demanda de energía (Pinho et al., 2012). Debemos enfocarnos en solucionar estos problemas, ya que para el 2050 se proyecta que la población mundial aumentará provocando una demanda tanto alimenticia, (estimando que será superior al 50 % a la actual), como energética (Murchie et al., 2009).

También, a nivel mundial, las ciudades y capitales están creciendo y seguirán creciendo. En el año 2000, alrededor de dos millones de personas habitaban en las ciudades; en el 2005, más de la mitad de poblacional global vivía en las ciudades y para el año 2030 se estima que esta cifra se duplicará (Hernández, 2006). Por lo tanto, la tendencia actual de las ciudades es aumentar su sostenibilidad y su producción, fomentando aplicaciones de agricultura urbana para conseguir satisfacer las necesidades de los propios ciudadanos.

Así mismo, la degradación ambiental de los suelos causada por el cambio climático o la contaminación del ambiente, son ejes fundamentales de reflexión para plantear nuevos desarrollos tecnológicos sostenibles. Una alternativa innovadora que proporciona muchos beneficios frente a los cultivos tradicionales, en campos agrícolas, los cuales se están reduciendo y a su vez dependen de los cambios climáticos, es la hidroponía. Una

de las ramas de la hidroponía es el forraje verde hidropónico (FVH), en este sistema de producción se aprovechan los espacios verticales.

Sumado a esto, los efectos de las sequías prolongadas, inundaciones, tormentas, plagas y enfermedades, son amenazas cada vez más graves para la agricultura que tienen como consecuencia la escasez de suministro de alimentos. Por ello, es necesario buscar otras alternativas como el cultivo en interior, pudiendo además aplicarlo al ámbito urbano, en busca de satisfacer las necesidades de las personas. En los cultivos de interior, una iluminación artificial adecuada permite una producción estable todo el año y contribuye como suministro de alimentos en ciudades, áreas de condiciones ambientales severas o zonas rurales. Las lámparas incandescentes y fluorescentes son las más utilizadas hasta el momento, pero consumen gran cantidad de energía eléctrica, además de que generan calor, que debe ser disipado de ambientes cerrados donde se practiquen técnicas agrícolas.

El uso de luz artificial con lámparas incandescentes, fluorescentes, lámparas de halogenuros y de alta presión de sodio para el desarrollo de especies vegetales se ha utilizado desde la década de los 80s para evaluar el crecimiento de especies vegetales. Entre éstas, las lámparas fluorescentes han sido las más populares (Economou & Read 1987). Estos focos de luz son de baja calidad para la estimulación del crecimiento de las plantas. Así mismo consumen mucha energía eléctrica y emiten calor, por ello no pueden ser colocados cerca de las plantas, ya que dañan las células vegetales y sufren deshidratación. Por lo tanto, existe la necesidad de encontrar una fuente de luz que mejore la eficiencia de la producción, reduzca los costes y mejore la calidad del desarrollo de las plantas (Bula et al. 1991; Yeh & Chung 2009; Nhut & Nam 2010).

Una alternativa sostenible para combatir estos problemas y a la vez aprovechar los espacios urbanos para generar alimentos de alta calidad y alto valor nutricional en espacios reducidos es la producción hidropónica vertical de germinados.

Los germinados son considerados como súper alimentos como lo determinan diversos profesionales nutricionistas y médicos debido a su alto valor nutricional y características terapéuticas, y son de los pocos alimentos que se consumen en etapa de desarrollo (Randhir et al., 2004). Estos presentan características similares a las de una hortaliza, pero su producción varía entre tres a diez días según la especie vegetal. También contienen clorofila, vitaminas, minerales, oligoelementos, enzimas, aminoácido y proteínas (Nestlé, 1997; Kirilin et al., 1999). En la etapa de germinación, las semillas de leguminosas y cereales aumentan su valor nutricional en cuanto a las cantidades de proteínas, macronutrientes, peso y volumen de 3 hasta 12 veces a sus valores iniciales (Domínguez de Diez, 1983; Cupillard, 2011; Braunstein, 2012, Fiutak et al., 2019).

Sin embargo, como afirma Eli (2011), se ha demostrado que se puede mejorar la producción de germinados en ambientes semi-controlado, a gran escala, mediante herramientas como sensores de luz y humedad que permiten medir sistemáticamente las variables como la intensidad de luz y humedad. Las cuales se aplican utilizando nuevas tecnologías para desarrollar cámaras de crecimiento que controlan la calidad y producción (Ellis et al., 1985).

Por ello, un correcto control de las variables de producción supondría un mejoramiento de la eficiencia de todo el proceso y con ello un aumento de la calidad del producto final. En el desarrollo de esta investigación la variable estudiada será la luz, observando el



efecto de las distintas longitudes de onda sobre el crecimiento, desarrollo de las semillas de alfalfa y cuantificación de clorofila sintetizada.

En el caso de la producción de germinados de alfalfa es necesario exponerlos a la luz solar, para que logren alcanzar su característica comercial, las cuales son que los cotiledones tengan una pigmentación de color verde gracias a la clorofila y a un tamaño de 4cm a 8cm. El problema se enfoca en que la exposición e intensidad a luz natural es por tiempo limitado alrededor de 12 h y se ve influenciada por las condiciones climáticas del día. La utilización de luz artificial beneficiaría la producción de germinados y se optimiza al independizarse de la luz natural.

En este sentido las luces LED están revolucionando el uso de luz artificial en cultivos de interior, gracias a que estos se pueden controlar de manera eficiente para el estímulo y desarrollo de especies vegetales (Yeh & Chung 2009). Además, desde el 2008 los precios de las lámparas LED se han reducido hasta un 85 % y esta tendencia seguirá a lo largo de esta década (Fernández, 2015).

### III. JUSTIFICACIÓN

La siguiente investigación se justifica en la necesidad de saber cuál es la onda de luz con focos LED más favorable para la producción de germinados de alfalfa y como resultado de este proceso generar alta producción y calidad teniendo en cuenta la innovación tecnológica del estudio.

La justificación práctica y teórica es proporcionar conocimiento al agricultor de alternativas tecnológicas e innovadoras, para la producción de especies vegetales en ambientes controlados, bajo los estímulos de luces con diferentes ondas (colores) y de evaluar ciertos parámetros de biomasa que están relacionados específicamente a la fotosíntesis. (OIDA, 2002).

Los focos LED actualmente se han convertido una de las mejores alternativas como fuente de iluminación, en la producción de cultivos en ambientes cerrados y controlados (OIDA, 2002).

Hoy en día, los sistemas de iluminación LED tienen varias ventajas únicas sobre los sistemas existentes. En comparación con los sistemas convencionales, los LED tienen longitudes de ondas específicas que se pueden controlar en función a la composición espectral, la durabilidad, además, la vida operativa es mayor, es de menor tamaño, la superficie del emisor es relativamente fría y también tienen una salida de fotones que es lineal con la fuente de energía eléctrica (Hoenecke et al., 1992; Brown et al., 1995; Yeh & Chung 2009). Debido a sus propiedades las luces LED se pueden colocar muy cerca de los cultivos sin el riesgo de sufrir un estrés hídrico o deshidratación.

Además, son de dos a tres veces más ahorradores que las lámparas fluorescentes o HID y 50 veces más que las lámparas incandescentes (US Department of Energy, 2008; Fernández, 2015).

Estas propiedades permiten la instalación de focos LED con rangos espectrales específicos que están implicadas en respuestas de las plantas, y también se asegura el control independiente de cada rango espectral y la manipulación precisa de espectral la calidad y la intensidad de la luz (Folta et al., 2005; Casierra & Peña, 2015).

Por otro lado, el FVH es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional, a partir de semillas de alfalfa, cereales (trigo, cebada, avena, etc.), gramíneas, entre otros. Su producción se da entre 4 a 15 días en cualquier época del año y en cualquier lugar, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello (Cupillard, 2011; Braunstein, 2012; Fiutak et al., 2019).

En la parte social esta investigación es importante ya que la producción de germinados en un sistema FVH puede utilizar espacios urbanos los cuales se podrían aprovechar de manera eficiente y convertirlos en espacios productivos. También se podría implementar en zonas rurales donde los ingresos económicos dependen de una economía a largo plazo como son los casos de una plantación forestal, de producción maderable o un sistema agroforestal.

Según Oh & Rajashekar (2009), los germinados o brotes de alfalfa son consumidos en fresco debido a que aportan grandes cantidades de compuestos fenólicos, lo cuales son responsables de la actividad antioxidante.

Así mismo, también contribuyen a otros beneficios como la reducción de colesterol. Además, los brotes u hojas de alfalfa se utilizan en la medicina tradicional para tratamiento de la artritis, problemas renales y forúnculos (Hong, et al., 2009).

Por otro lado, también se ha demostrado que la radiación de luz mejora el contenido de betacaroteno y clorofila en las hojas y tallos en germinados de frijol chino en comparación con tratamiento únicamente en ambientes oscuros (Wu et al., 2007).

Económicamente, esta investigación se justifica ya que el precio promedio por kg de germinados de alfalfa en el mercado local de Lima, Perú oscila entre 55 soles y 60 soles. Mientras que en los súper mercados el precio por kilo es de 100 soles. Si se llega a minimizar el tiempo de producción, uniformizar y estandarizar el producto, limitado por la intensidad de la luz solar y las condiciones meteorológicas desfavorables en épocas de invierno y otoño en el departamento de Lima. El estudio busca mejorar la calidad y en general la producción y rendimiento de los germinados.

## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Antecedentes

A lo largo de esta investigación se ha observado que el espectro visible, luz visible o espectro electromagnético, el cual el ojo humano puede percibir con los siete colores de arco iris fue denominado por Isaac Newton. Este cumple un papel principal a lo largo del ciclo biológico de las plantas y los germinados.

El desarrollo de raíces, tallos, hojas y flores se da gracias al proceso de fotosíntesis, el cual utiliza la luz solar como energía. Las especies del reino plantae puede percibir segmentos variados en su espectro de radiación, tales como la periodicidad, duración, intensidad y dirección, en el transcurso del tiempo, así como mediante su desarrollo fisiológico (Rey, 2015).

La interrogante es como las plantas perciben o captan las diversas particularidades de la luz natural. La respuesta está dada en la radiación solar que posee diversos colores en relación con la distancia de las ondas que transmite el espectro. Las clorofilas y carotenoides son biocompuestos sintetizados gracias a que las plantas cuentan con fotorreceptores específicos, los cuales están relacionados con la fotosíntesis que permiten controlar la fotomórfogenesis. Estos son estimulados en ciertas longitudes de ondas de luz, por ejemplo, los criptocromos en la luz ultravioleta y azul, mientras que los fitocromos en la luz roja y roja lejana.

Según Casierra-Posada (2015) las longitudes de onda entre 300 y 900 nm son las que afectan al crecimiento y desarrollo de los vegetales. Sin embargo, la calidad de la luz puede influir en el proceso.

Las combinaciones de distintas longitudes de onda de LEDs en los fotorreceptores de las plantas pueden proporcionar una producción óptima, influyendo en la morfología de la planta y el metabolismo (Kim et al. 2004).

Muchos investigadores han señalado que, diferentes calidades de luz tienen un profundo efecto sobre el crecimiento de las plantas (Mingyan & Yuanzhi, 2006; Pu et al., 2005; Du et al., 2005), la tasa de fotosíntesis (Xu et al., 2005), la calidad del fruto (Pu et al., 2005; Qi et al., 2007) y también puede disminuir insectos y hongos enfermedades (Costa et al., 2002). La luz roja promueve el contenido de clorofila b y el crecimiento de brotes laterales, y la luz azul promueve el contenido de clorofila a e inhibe el crecimiento de los brotes laterales (Mingyan & Yuanzhi, 2006).

Por otro lado, las longitudes de ondas de luz visibles afectan de distinta manera a cada especie vegetal (Avercheva et al., 2009). Según (Zhang & Folta, 2012), las plantas pueden reaccionar a los distintos colores de luz e intensidad, originándose mediante la estimulación de los fotorreceptores bajo colores o longitudes de ondas específicas (Liu, 2012). Tanto los criptocromos que se estimulan entre los rangos de luz UV-A (320-390 nm) y azul (400-500 nm), y los fitocromos que absorben luz roja y roja lejana (700-800 nm). Dando como resultado el crecimiento y desarrollo de tejidos vegetales respecto a las diferentes condiciones ambientales de su entorno (Chen et al., 2004).

Debido a lo mencionado anteriormente, los sistemas de iluminación son esenciales para el óptimo desarrollo de las plantas, como la actualización de mejoras tecnológicas que surjan en el ámbito. (Kozai, 2007; Bourget, 2008).

En cuanto al crecimiento vegetativo, Yorio et al 2001, afirman que los espectros azul y rojo son vitales.

En la región roja (660 nm) e infrarroja (730nm), los fitocromos llegan a su máxima sensibilidad. Estos están relacionados con reacciones fisiológicas de las plantas como el crecimiento de las hojas, elongación del tallo, inducción floral, germinación, evasión de sombra, percepción de vecino (Pinho et al., 2012; Saebo et al., 1995).

Los criptocromos estimulados por la luz azul están relacionados con el desarrollo del área foliar y de tejido vegetal, así mismo incentivo del inicio de la etapa de floración. Sin embargo, está reprime el desarrollo del tallo. El contenido de pigmentos fotosintéticos y el movimiento de sus órganos es promovida por la luz azul la cual es absorbida por las fototropinas. En años recientes se viene estudiando la influencia de la luz verde y se ha demostrado que tiene una relación regulando el desarrollo de las plantas. (Folta & Childers, 2008; Spalding & Folta, 2005).

También en la última década se ha tenido evidencia del rol que la luz verde tiene como regulador del crecimiento (Folta, 2004; Kim et al., 2004). Así mismo según, Xiaoying et al. (2012), la combinación de las luces LED azul-rojo-verde y azul-rojo demostraron ser influyentes y beneficiosas para el desarrollo y fotosíntesis de las plántulas de tomates cherry (*Solanum esculentum var. cerasiforme*).

Algunos cultivos y flores se han cultivado bajo el efecto de luces LED tales como la lechuga (Hoenecke et al., 1992; Okamoto et al., 1996), pimiento (Brown et al., 1995), trigo (Goins, et al., 1997; Tripathy & Brown, 1995), espinaca (Yanagi et al., 1996; Yanagi & Okamoto, 1997), y plátano (Duong et al., 2000).

Kim et al., (2004) obtuvieron el mayor alargamiento del tallo de la plántula crisantemo bajo LED rojo lejano, en comparación que la luz fluorescente, azul. Miyashita, et al., (1997) revelaron que la luz roja estimula el alargamiento del tallo en plántulas de *pelargonium* de manera significativa. Por otro lado, el color azul inhibió el alargamiento del tallo.

Por otro lado, el color azul inhibió el alargamiento del tallo. El efecto de la luz roja tuvo el mismo efecto de alargamiento del tallo en plantas de *Rehmannia glutinosa* (Tennessee et al., 1994), pero inhibió la elongación de los brotes de caléndula y salvia (Heo et al., 2002). Además, se puede evidenciar por Shoji et al. (2010) que la aplicación de los LEDs azules promovió el crecimiento de plántulas de lechuga después de ser trasplantadas.

Wu (2007) investigó la influencia de las luces LED sobre la actividad antioxidante de germinados de guisante o arveja. Se realizaron tratamientos usando ondas de luz rojo (625-630 nm) y azul (465-470 nm), para determinar y comparar los cambios en la clorofila y b-caroteno contenidos y equivalentes Trolox capacidad antioxidante. Después de exponer los germinados a la radiación durante 96 h, en comparación con grupo de la luz blanca, luz roja aumentó la longitud del tallo y el área foliar de los brotes, mientras que la radiación de la luz azul afectó de manera significativa el aumento de la longitud del tallo y el peso de las plántulas. Sin embargo, la clorofila en las hojas aumentó significativamente rápidamente por la luz azul. En conclusión, la contribución de la luz roja mejoró la cantidad de betacaroteno y la actividad antioxidante significativa para



beneficios para la salud y la luz azul aumentó el peso y clorofila de las plántulas de plántulas de guisante.

Paniagua et al. (2015) investigaron el efecto de la luz LED de alta intensidad en la germinación y desarrollo de las plántulas de brócoli con tres diferentes longitudes de onda de luz, las cuales fueron roja, azul y verde. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, peso seco, peso fresco, velocidad de germinación y longitud media del hipocótilo. La luz roja con 12h de exposición tuvo un incremento de 25% en la velocidad de germinación, así presentó un incremento de 6% con la variable peso seco en comparación al tratamiento control. Sin embargo, que la variable de la longitud media del hipocótilo tuvo un incremento de 39% y la variable peso fresco un 16 % bajo 12h de exposición a la luz verde en comparación al control. Se demostró que la calidad fisiológica del germinado de brócoli tuvo una influencia bajo tratamiento de iluminación.

## **4.2. Generalidades**

### **4.2.1. Germinados**

Los germinados son alimentos que se consume en estado de desarrollo. Estos son semillas en su primera etapa de crecimiento, en las cuales se activan los embriones y dan comienzo a un proceso bioquímico donde las enzimas y otros biocompuestos beneficiosos para la salud empiezan a producirse (Cupillard, 2011; Braunstein, 2012; Fiutak et al., 2019).

Los germinados aumentan potencialmente su riqueza nutricional conforme se desarrollan hasta alcanzar un nivel óptimo. Durante este proceso germinativo se pueden encontrar nutrimentos que las semillas por sí solas no tienen, en especial, vitaminas A, B, C, E y K. Todos los germinados son nutritivos, debido a que contienen calcio, hierro,

magnesio, potasio y fósforo, además de un alto contenido de fibra y carecen de colesterol (Cupillard, 2011; Braunstein, 2012).

Gracias a todo lo mencionado anteriormente, su constitución química forma elementos nutricionalmente valiosos y sensorialmente agradables para una alimentación saludable. A nivel mundial se ofrecen más de 20 diferentes especies de semillas germinadas, siendo las más populares las de alfalfa, rabanito y frijol mung (Weiss & Hammes, 2005; Cupillard, 2011; Braunstein, 2012; Fiutak et al., 2019).

Se pueden producir o cultivar desde un nivel agroindustrial en bandejas, tambores giratorios, cámaras de oscuridad y luminosidad o incluso desde un nivel casero en recipientes o kits de germinados. En algunos casos la producción de germinados puede realizarse bajo la exposición o sin exposición de luz. El frejol mung o frejolito chino se cultivan sin exposición a flujos luminosos. Sin embargo, en algunos germinados y brotes se aplican dos etapas, en la cual la primera es en oscuridad para aumentar el tamaño y peso más rápida y posteriormente la exposición a luz para obtener la pigmentación verdosa gracias a la fotosíntesis.

La calidad y características de este producto en su primera etapa de crecimiento va a estar influenciada en el método de cultivo, la exposición, disponibilidad y tipo de luz. Así mismo el tiempo de remojo de las semillas y riego en las cuales son sometidas. (Kim et al., 2006; Martínez-Villaluenga et al., 2010; Wu et al., 2012; Swieca et al., 2013, Urbano et al., 2014; Yang et al., 2019). Así mismo, como frecuentemente estos cultivos se producen en ambientes cerrados como invernaderos o edificios la luz es un factor muy importante para su calidad y desarrollo.

#### **4.2.2. Germinados de Alfalfa (*Medicago sativa*)**

Los germinados de alfalfa son semillas en su primera etapa de desarrollo, proveniente de la familia de las leguminosas. Su consumo aporta un beneficio para la salud, ya que estos aportan una buena fuente de bioactivos, además de tener una capacidad antioxidante (Cupillard, 2011; Braunstein, 2012; Fiutak et al., 2019). Los principales compuestos antioxidantes son taninos, flavonoides y fenoles. Así mismo posee fitoestrógenos que ayudan a regular el sistema endocrino (Cortés-Sánchez et al., 2016). Es por ello es por lo que son considerados un alimento multifuncional o super alimento, ya que, a la vez de nutrir con un alto valor nutricional, también sirve para prevenir o tratar enfermedades. Así mismo, posee calcio, el cual sirve para prevenir artritis u osteoporosis (Hong, et al., 2009).

#### **4.2.3. Agricultura urbana**

Según la FAO (1999) se define como agricultura urbana a la utilización de pequeñas superficies (terrazas, huertos, recipientes o márgenes) situadas dentro de una ciudad para la producción de cultivos o crianza de animales menores, para comercializar o consumir los productos producidos

##### **4.2.3.1. Sistema hidropónico de forraje verde hidropónico**

El FVH es un sistema para la producción de biomasa vegetal, con alta sanidad y calidad nutricional. En cualquier estación o lugar, a duración del desarrollo vegetativo es menor a 15 días, controlando las condiciones para su correcto crecimiento. El sistema FVH no compite con el sistema convencional de forraje, siempre y cuando sean semillas aptas para este sistema en específico, así como la alfalfa, cebolla, brócoli, gramíneas,

leguminosas, mezclas de trébol, avena, etc. (Domínguez de Diez, 1983; Cupillard, 2011; Braunstein, 2012; Fiutak et al., 2019).

#### **4.2.4. Luces LED**

Los focos LED se inventaron en el 1920, una versión práctica de luz visible (rojo) no se desarrolló hasta la década de 1960 (Zheludev, 2007). Estos dispositivos tempranos eran de muy baja potencia y eran utilizables sólo como las luces indicadoras. A través de las décadas de 1970, la evolución continua, y las longitudes de onda más cortas (naranja, amarillo y verde) llegaron al mercado. El primer LED azul era práctico desarrollado en 1993 (Nakamura et al., 1996), y en 1996, se aplicó una capa de fósforo a un LED azul para crear el primer blanco del mundo LED. El gran avance más reciente en LED tecnología fue el desarrollo de la alta potencia (1 W o más) en 1999. Este dispositivo ha dado lugar a una revolución a través de la iluminación campo, con una iluminación agrícola no siendo la excepción.

#### **4.2.5. Clorofila**

Pierre Joseph Pelletier y Joseph Beinaime Caventou fueron los químicos franceses que descubrieron la clorofila. Este es un pigmento verde presente en todas las especies vegetales y es esencial para la vida en la Tierra porque absorbe los fotones de luz, los cuales son fundamentales para la fotosíntesis y desarrollo de las plantas.

Es un pigmento de naturaleza lipídica de color verde que se halla en las plantas, en la mayoría de las algas y en numerosas bacterias.

Existen tres tipos de clorofilas y revisten la mayor relevancia dado que se utilizan para la síntesis de glucosa a partir de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , con liberación de  $\text{O}_2$  y en etapa de plántula

es fundamental dada la alta demanda de carbohidratos para el crecimiento y desarrollo de la planta completa (Streit, et al., 2005).

#### **4.2.5.1. Métodos de medir clorofila**

Se utilizaron 100 mg de peso exacto de cotiledones de los germinados por tres repeticiones para uno de los 10 tratamientos.

La extracción de los pigmentos fotosintéticos se obtuvo gracias a la acetona al 80%. Se agregó el peso de los 100 mg de tejido vegetal y se agregó 3-5 mL de acetona 80% al mortero para triturar y homogenizar la mezcla. Se filtró la homogénea a un matraz aforado de 10 mL en baño de hielo y se agitó hasta obtener una solución uniforme. Finalmente, se centrifugó por cinco min a temperatura ambiente a 3000 rpm para eliminar la turbidez antes de determinar el contenido de pigmentos.

La cuantificación de los pigmentos se determinó con la medición de las absorbancias a 750 nm, 663 nm, 647 nm y 470 nm y la formula aplicada.

## V. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### 5.1. Objetivos

#### 5.1.1. Objetivo General

- Determinar el efecto de los tratamientos de ondas de luz LED en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)”

#### 5.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del color de luces LED en el desarrollo de los germinados.
- Determinar la influencia del tiempo en el desarrollo de los germinados.
- Determinar el costo/beneficio en la producción de germinados de alfalfa en ambientes semi-controlados urbanos.

### 5.2. Hipótesis

#### 5.2.1. Hipótesis generales

H0: La producción de germinados de alfalfa no se verá influenciada por las ondas de luces LED.

Ha: La producción de germinados de alfalfa se verá influenciada por las ondas de luces LED.

#### 5.2.2. Hipótesis específicas

H0: Los colores de luces LED no influyeron en el desarrollo de los germinados.

H0: El tiempo no influyó en el desarrollo de los germinados.

H0: El menor costo de producción fue con luz natural.

## VI. METODOLOGÍA

### 6.1. Ubicación del estudio

Esta investigación se realizó en el centro de investigación y desarrollo de la ONG Energías Limpias (ENERLIM), situado en el departamento de Lima, provincia de Lima, distrito de Santiago de Surco. Este cuenta con un invernadero con ambientes semi-controlados. Así mismo, se contó con el apoyo del Universidad Científica del Sur, para analizar los datos obtenidos en el laboratorio de la facultad de Ing. Agroforestal.

### 6.2. Materiales

- |   |                        |
|---|------------------------|
| – Balanza digital de precisión                      | – Agua potable         |
| – Sistema FVH                                       | – Bandejas de plástico |
| – Estufa de aire forzado                            | – Regla métrica        |
| – Semillas de Alfalfa<br>( <i>Medicago sativa</i> ) | – Placas Petri         |
| – Luces en tiras modelo 5050-<br>60 LED modelo IP67 | – Centrifuga clínica   |
| – Recipientes de vidrio                             | – Espectrofotómetro    |
| – Dióxido de cloro                                  | – Mortero y pilón      |
|   | – Acetona 80%          |

### 6.3. Métodos

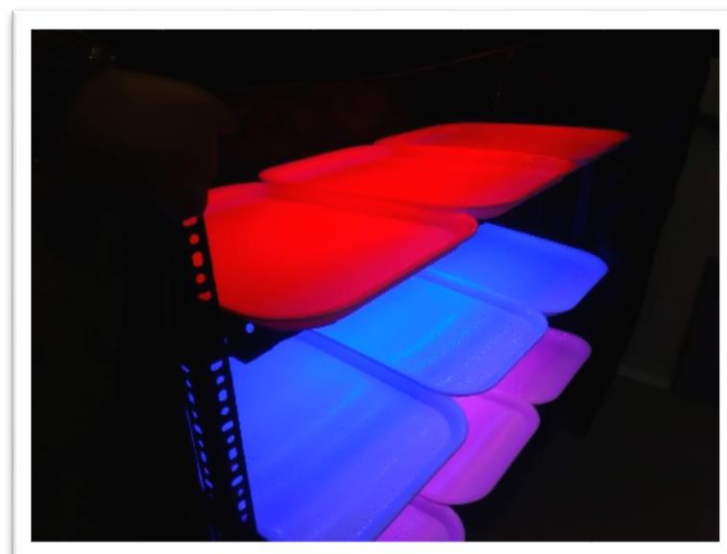
#### 6.3.1. Unidad experimental

Para el desarrollo de esta investigación se fabricó un sistema FVH recubierto con pintura epóxica, con el fin de tener los mejores estándares de calidad y sanidad en

la producción de germinados de alfalfa. Este fue de 1.10m de alto con un largo de 1.20m y un ancho de 0.30m. Las bandejas donde se produjeron fueron de 50cm x 37cm y contó con 3 niveles, con una separación de 38 cm, en los cuales se realizó cada tratamiento con un tipo de onda de luz específica. Cada tratamiento estuvo aislado con plástico negro con el fin de evitar el contacto de luz solar en cada tratamiento. Este contó con 4 líneas de luces LED resistentes al contacto con el agua, recubiertas con un plástico transparente.



**Figura 1.** Unidad experimental



**Figura 2.** Unidad experimental con bandejas



### **6.3.2. Metodología de trabajo**

#### **6.3.2.1. Pruebas de germinación de los materiales utilizados**

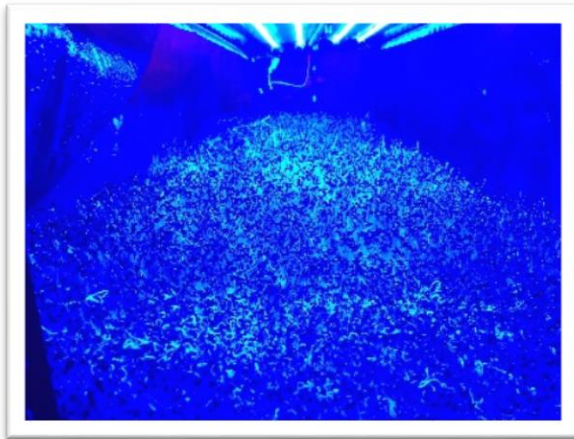
La siembra de las semillas se llevó a cabo conforme a las recomendaciones de ISTA (2010). Cien semillas fueron colocadas en placas Petri esterilizadas de 5.5cm de diámetro, usando como sustrato una capa de papel filtro humedecido con 3 mL de agua purificada. La germinación dentro del contenedor se realizó con ciclos alternados de luz (12 h) y oscuridad (12 h), con una temperatura entre 18 °C y 31 °C y una humedad relativa de 60 a 98 %. Se realizó el conteo de las semillas germinadas cada 24 h hasta el décimo día. Se agregó 2 mL de agua diariamente a la placa Petri.

#### **6.3.2.2. Densidad de Siembra y tratamientos**

Una vez realizada la prueba de germinación, se tomó 50 gr de semilla por cada tratamiento, un total de 500 gr de semillas por las 10 bandejas dentro de la investigación. Estas se pregerminaron, se incubaron cuatro, cinco o seis días en la oscuridad y luego se transfirieron a los tres tratamientos con diferentes luces LED de color rojo, azul y rojo+azul. Los tratamientos estuvieron expuestas a las luces LED durante 24 h, 48 h y 72 h a la unidad experimental (Wu, 2007; Paniagua et al., 2015).



**Figura 3.** Germinado bajo la influencia de LEDS rojos



**Figura 4.** Germinado bajo la influencia de LEDS azules



**Figura 5.** Germinado bajo la influencia de LEDS rojos+azules

### 6.3.3. Indicadores de respuesta

#### Altura de plántulas (cm)

La longitud de las plántulas (endospermo) a la parte superior de la hoja se midió mediante una regla milimétrica (Figura 6).

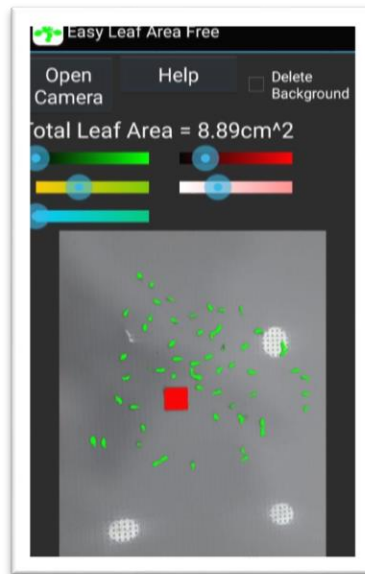
Para esta respuesta se tomó una muestra aleatoria de 30 unidades de germinados de alfalfa por cada una de los 10 tratamiento. Un total de 300 individuos.



**Figura 6.** Medición de germinado de alfalfa (*Medicago sativa*)

#### El área foliar (longitud \* ancho, cm<sup>2</sup>)

Se colocaron los dos cotiledones de 30 individuos por cada muestra de germinados de los 10 tratamientos en placas Petri por tres repeticiones, para obtener finalmente el área en cm<sup>2</sup>, utilizando la aplicación Easy Leaf Area<sup>®</sup> (Figura 7).



**Figura 7.** Medición de área foliar

### **Peso seco (g)**

Para la medición de esta variable se tomaron 3 muestra de 100 gr de forma aleatoria para cada tratamiento. Para establecer el porcentaje de humedad, se tomó las muestras frescas de 100 gr y se colocaron en la estufa a 65 °C por 72 h. Posteriormente, se pesaron las muestras.

### **Clorofila (mg/L)**

La cuantificación de clorofila se realizó mediante espectrometría.

- Se pesaron 3 muestras de 100 mg de los cotiledones de los germinados por cada tratamiento. Un total de 30 muestras analizadas.
- Extracción de la clorofila mediante acetona al 80 %. Se añadió 5 mL de acetona a la muestra de 100 mg a un mortero y se trituró hasta homogenizar la solución. Luego se lavó todo el mortero con acetona, se transfirió a un matraz aforado de

10 mL frío y finalmente se traspasó a un tubo de centrifuga para ser centrifugado a 3,000 rpm por 5 min a temperatura ambiente.

- La cuantificación se logró mediante la espectrometría de los pigmentos fotosintéticos. Cuyos datos se cuantificaron aplicando las fórmulas siguientes. De acuerdo Lichtenthaler (1987) las contracciones de clorofilas y carotenoides en mg/L se obtienen realizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila } a = (12.25 \times A_{663nm}) - (2.79 \times A_{647nm})$$

$$\text{Clorofila } b = (21.5 \times A_{647nm}) - (5.1 \times A_{663nm})$$

$$\text{Clorofila total} = (7.15 \times A_{663nm}) - (18.7 \times A_{647nm})$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{(1000 \times A_{470nm}) - (1.82 \times \text{Clorofila } a) - (85.02 \times \text{Clorofila } b)}{198}$$

Se evaluaron los días de crecimiento de cada tratamiento de acuerdo con estándares comerciales propuesto por diversos autores (Domínguez de Diez, 1983; Cupillard, 2011; Braunstein, 2012, Fiutak et al., 2019) hasta su cosecha.



**Figura 8.** Muestras de extracciones pigmentos fotosintéticos

**Costo /Beneficio (soles)**

El cálculo del costo beneficio se realizó costeando todos los materiales e insumo para la producción comercial de los germinados. Se realizó la sumatoria de todos los costos de producción por tratamiento y luego se costó el precio unitario del producto para así obtener el costo beneficio a través de la división del precio de venta de 5 soles por 100 gr a entre el costo unitario de envase de cada tratamiento. Estos costos consistieron en gasto energético, agua, semillas, desinfectante, mano de obra, costo de envase y etiquetas.

### 6.3.4. Esquema experimental

#### 6.3.4.1. Descripción de factores y tratamientos

Factor tipo de Luz	: L	Factor tiempo	: T
Luz Rojo	: L1	24 h	: T1
Luz Azul	: L2	48 h	: T2
Luz Azul + Rojo	: L3	72 h	: T3
Luz Natural	: L4	36h	: T4

**Tabla 1.** Tratamientos de investigación de producción de germinados de alfalfa

Tratamiento	Código	Color de Luz	Tiempo (h)
T0	L4T4	Natural	36
T1	L1T1	Rojo	24
T2	L2T1	Azul	24
T3	L3T1	Azul + Rojo	24
T4	L1T2	Rojo	48
T5	L2T2	Azul	48
T6	L3T2	Azul + Rojo	48
T7	L1T3	Rojo	72
T8	L2T3	Azul	72
T9	L3T3	Azul + Rojo	72

#### 6.3.5. Diseño estadístico

Los resultados fueron analizados a través del modelo ANOVA de doble factor debido a los tiempos y los efectos inducidos por las luces.

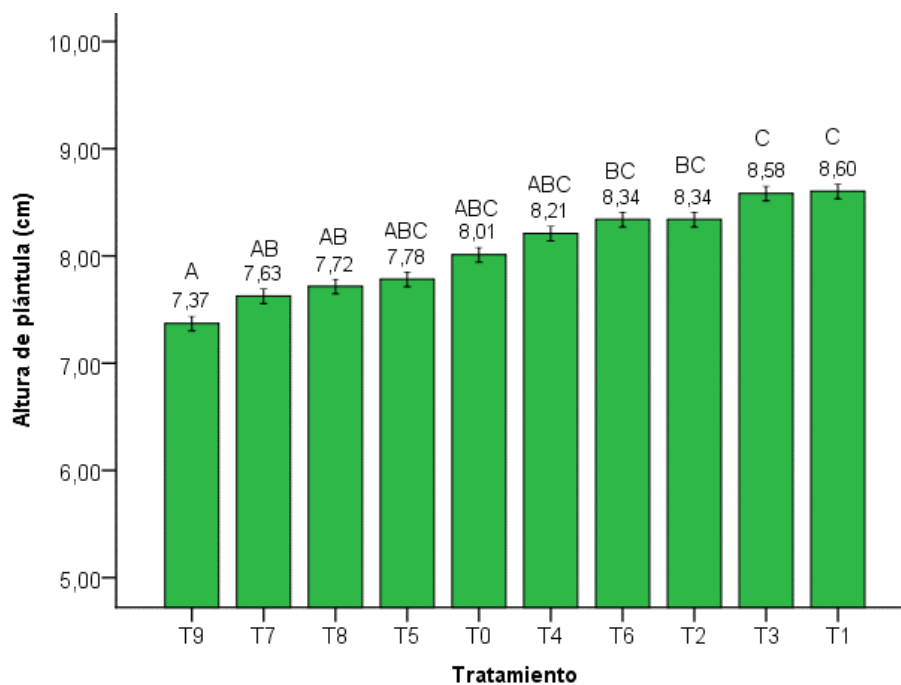
Se tomó una muestra de 100 gr y 30 unidades de germinados de las 3 repeticiones por cada tratamiento utilizando para ello un nivel de significancia ( $\alpha \leq 0.05$ ). En el caso de que sea significativa la diferencia entre los efectos de los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey. Los datos fueron almacenados en un libro de Microsoft Excel (2016) y se analizaron en el software SPSS (Versión 22).

**VII. RESULTADOS**

Los resultados obtenidos en la producción de germinados de alfalfa se han analizado y organizado de acuerdo con los objetivos planteados en la investigación, que se describen a continuación.

**7.1. Efecto de los tratamientos**

**Tallo altura (cm)**



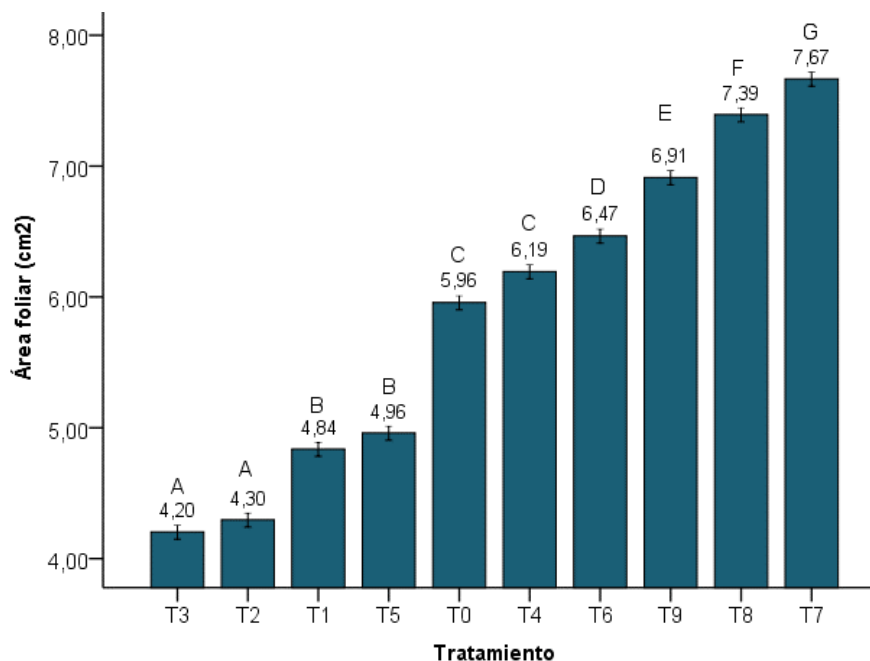
**Figura 8.** Altura de plántulas de alfalfa (cm) germinadas por tratamiento

La altura promedio de las plántulas germinadas de alfalfa se presentan en la Figura 9, en donde el T1 y T3 logran el mayor tamaño con 8.60 y 8.58cm respectivamente, estos tratamientos estuvieron expuesto a 24 h de luz LED de color roja y en el T3 también con luz de color azul. Mientras que el T9 fue el que menor respondió con tan solo 7.37cm y estuvo expuesto por mayor tiempo (72 h).



Los resultados del análisis de varianza se muestran en la Tabla 3 del Anexo, en donde se presenta que los tratamientos aplicados influyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) en el tamaño de las plántulas de alfalfa y según la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) se registró diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el T1 y T3 los más destacados, pero que no se diferenciaron entre ellos (Figura 9 y Tabla 4 del Anexo).

**Área foliar**

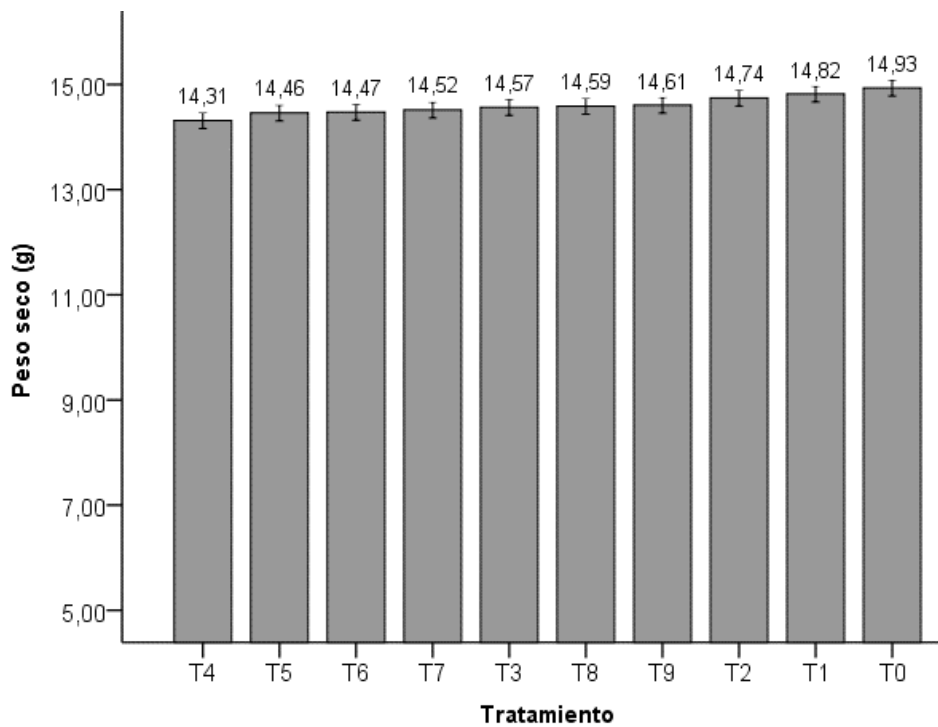


**Figura 9.** Área foliar (cm<sup>2</sup>) de germinados de alfalfa por tratamiento

El área foliar en las plántulas de alfalfa se ha considerado un indicador de mejor robusticidad y calidad del germinado. En la Figura 10, se grafican los resultados promedios del área foliar por tratamiento; en el cual el T7 destaca con 7.67 cm<sup>2</sup>, seguido por T8 con 7.39 cm<sup>2</sup>, estos tratamientos estuvieron expuestos don por 72 h en diferentes tipos de Luz LED (Tabla 1). Sin embargo, el T3 y T2 fueron los menos favorecidos con 4.20 y 4.30 cm<sup>2</sup> respectivamente a los que fueron metidos solo 24 h (Figura 10).

De acuerdo en con el análisis de varianza (Tabla 3 del Anexo), mostró que los tratamientos generaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la producción de germinados, es decir, la combinación del factor tiempo y tipo de luz han generaron que el área foliar varíe en entre ellos y según la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ), el T7 (72h luz roja) fue el mejor y el T3 (24h luz roja) fue el peor luego de culminar la investigación (Tabla 4 del Anexo y Figura 10).

**Peso seco**

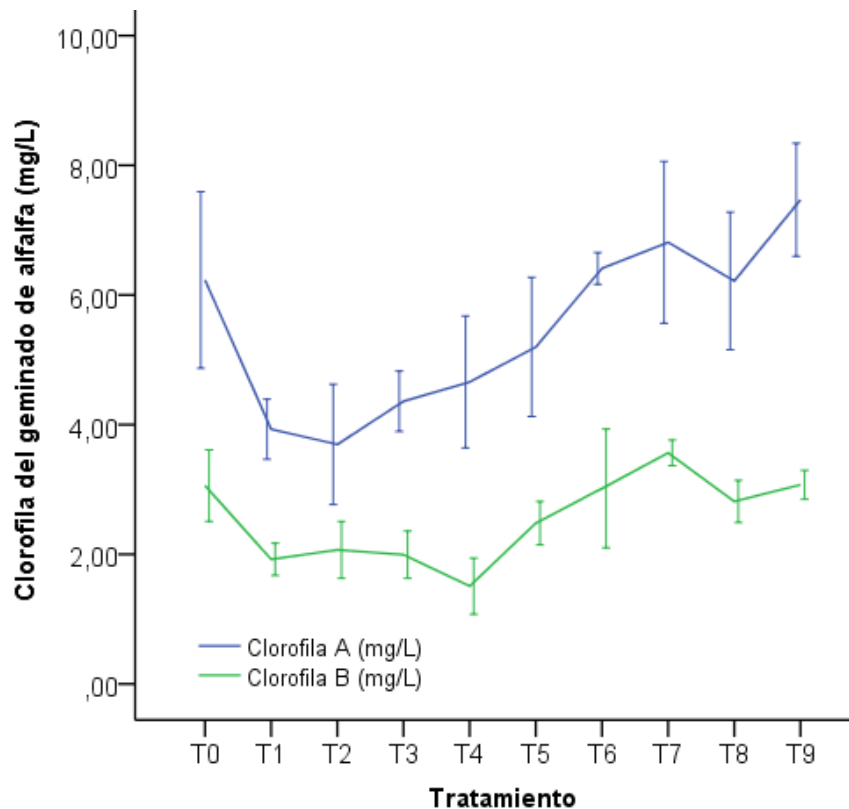


**Figura 10.** Peso seco (g) de los germinados de alfalfa por tratamiento

Con respecto al peso seco de las plántulas de alfalfa, que se muestran en la Figura 11, los promedios fueron similares para todos los tratamientos, aunque el tratamiento testigo fue más elevado que el T4, pero el rango promedio entre todos fue de 14.31 a 14.43 g de 100 g de plántulas germinadas frescas de alfalfa. En la Tabla 3 del Anexo se presentan los resultados del análisis y la Tabla 4 del Anexo de la prueba de comparación

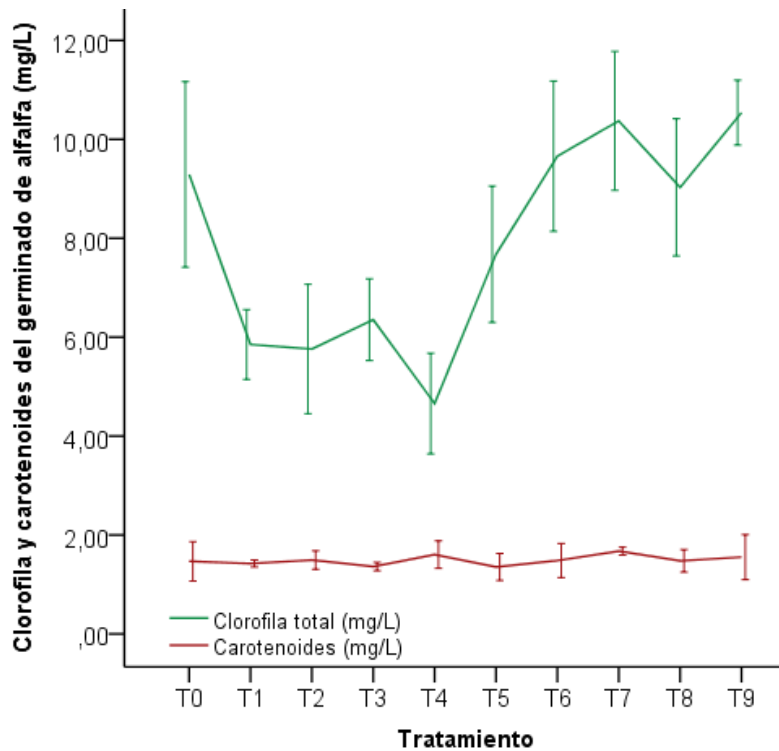
de medias de Tukey, en donde se confirma que los tratamientos aplicados no generaron efecto ni se diferenciaron, es decir, que los factores aplicados no aumentaron ni disminuyeron el contenido de materia seca de las plántulas.

**Clorofila y carotenoides**



**Figura 11.** Clorofila A y B (mg/L) en los germinados de alfalfa por tratamiento

La clorofila A y B se presentan en la Figura 12, donde se muestra que existe una tendencia del aumento de los dos tipos de clorofila, pero la de tipo A fue mayor en todos los tratamientos a comparación de las de tipo B. El T9, T8 y T7 fueron los que tuvieron mayor clorofila de los dos tipos, estos tratamientos estuvieron expuestos por mayor tiempo, lo que es evidente la mayor formación de clorofila e igual a las que estuvieron expuestas a la luz natural.



**Figura 12.** Clorofila total y carotenoides (mg/L) en germinados de alfalfa por tratamiento

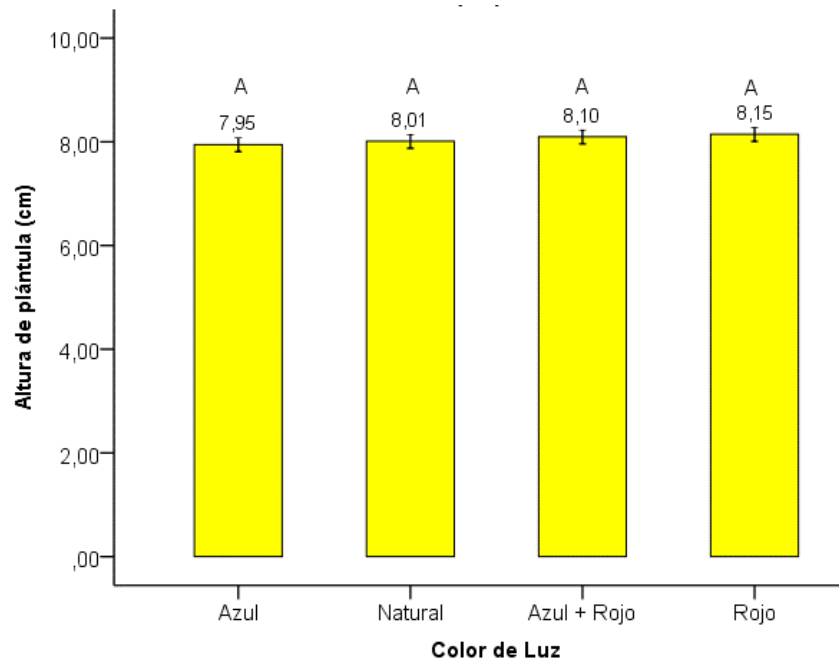
El contenido de clorofila y carotenoides en los germinados de alfalfa se presentan en la Figura 13, en el que destaca el T9 y T7 para los dos indicadores, que estuvieron expuestos por 72 h y con luces LED rojo y para el primero también con luces de color azul. Sin embargo, el T4 fue el que logró formar menor contenido de clorofila (4.66 mg/L) y este estuvo expuesto por 48 h en luces LED rojo.

En la Tabla 3 del Anexo se presenta los resultados del análisis de varianza del contenido de clorofila y carotenoides, en donde se confirma que los tratamientos aplicados en la producción de germinados de alfalfa influyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) y según la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) se ratifica que los resultados obtenidos se diferenciaron y que los mejores fueron el T 9 y T7 para clorofila y para carotenoides fue el T7.

**7.2. Efecto del tipo de color de luz**

A continuación, se presentan los resultados del efecto del color de la luz en la producción de germinados de alfalfa.

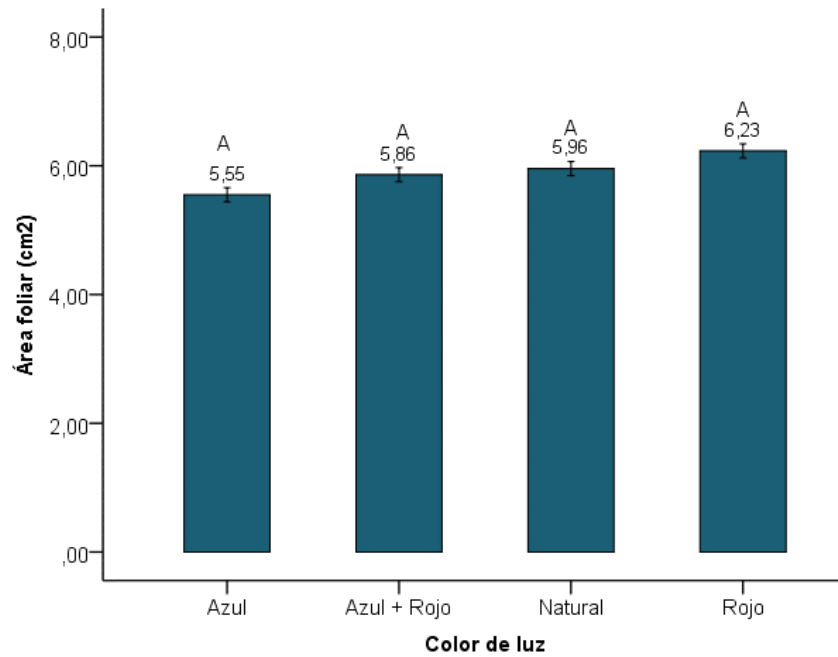
**Altura de plántula (cm)**



**Figura 13.** Altura (cm) de germinados de alfalfa tipo de color de luz

El efecto del color de la luz en la longitud (cm) de las plántulas se observa en la Figura 14, donde no existe diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los cuatro tratamientos, lográndose 8.15cm para las expuestas al color rojo y 7.95cm para el azul. (Tabla 5 y 6 del Anexo).

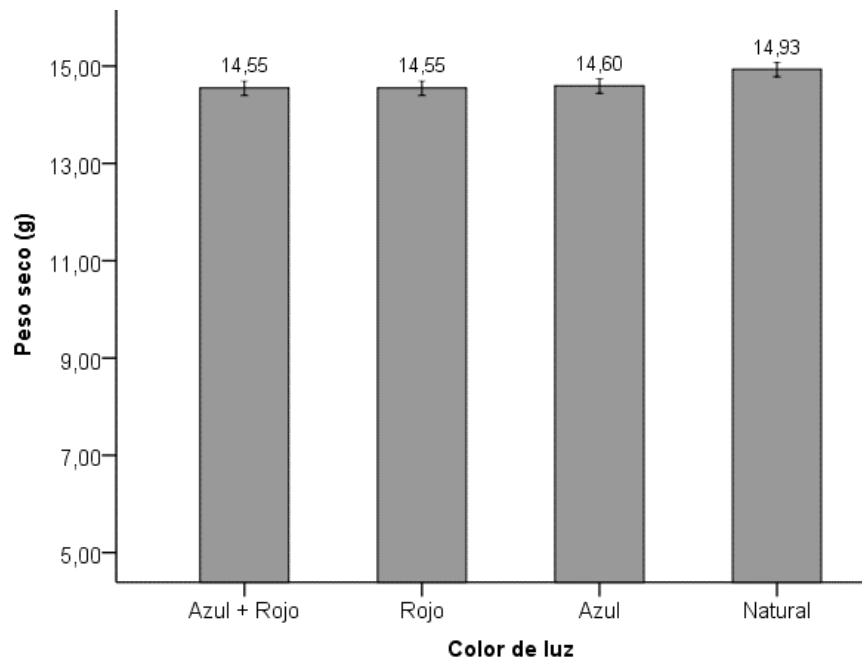
Área foliar



**Figura 14.** Área foliar (cm<sup>2</sup>) de los germinados de alfalfa por tipo de color de luz

El área foliar que llegaron a formar los germinados de alfalfa se presenta en la Figura 15, en donde el color rojo llegó a 6.23 cm<sup>2</sup> y seguido por la luz natural con 5.96 cm<sup>2</sup>, mientras que el LED azul presentó la menor área foliar. Pero según el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ), las luces usadas no generaron efecto significativo en el área foliar de los germinados de alfalfa; a pesar de que el color rojo fue superior a las demás, estadísticamente fueron iguales (Tabla 5 y 6 del Anexo).

**Peso seco**

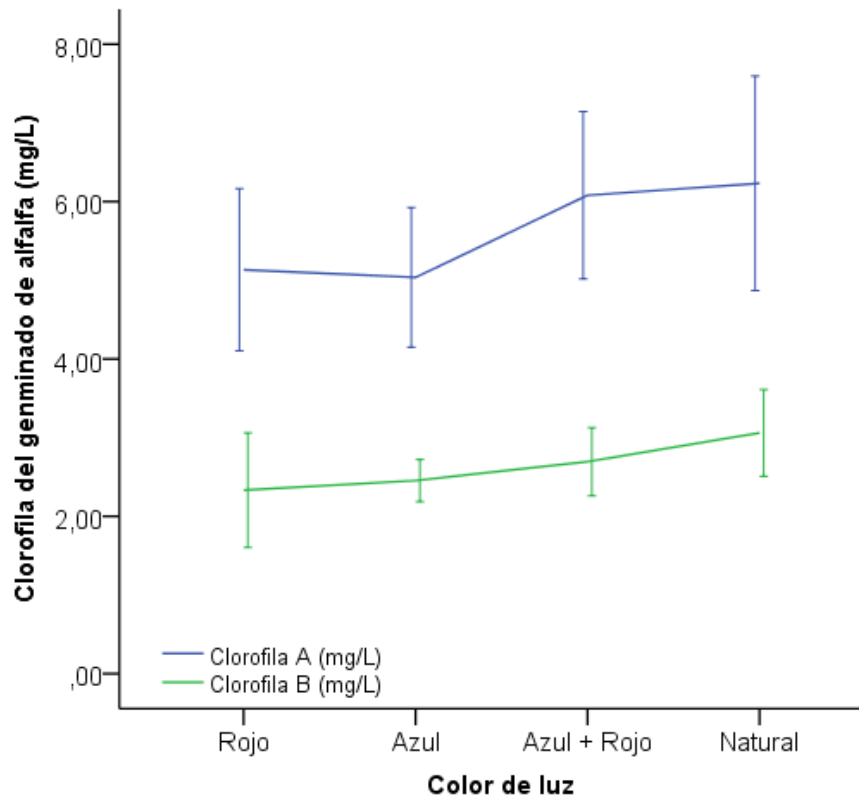


**Figura 15.** Peso seco (g) de los germinados de alfalfa por tipo de color de luz

El peso seco de los germinados sometidos a diferentes colores de luz se muestran en la Figura 16, en donde la luz natural fue la mayor y esto se debe posiblemente a que esta luz por ser completa ha generado más tejido duro o lignificado. Mientras que los germinados expuesto al color Azul + Rojo y el que estuvo con tan solo el LED de color rojo obtuvieron el 14.55 g de peso seco de los 100 g de peso fresco de germinados de alfalfa.

En la Tabla 5 y 6 del Anexo se resume el análisis de varianza y prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) para este indicador, el cual muestra que no existe diferencia significativa entre los colores de luz utilizados en la producción del germinado, es decir, el peso seco de los germinados fue iguales en los diferentes colores de luz LED aplicados en el desarrollo de los germinados en ambientes controlados.

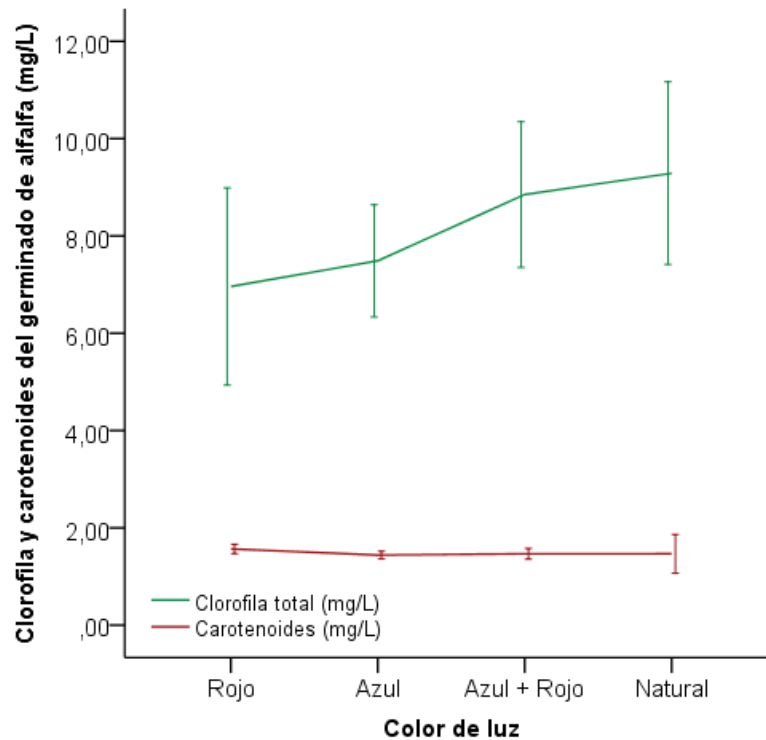
Clorofila y carotenoides



**Figura 16.** Clorofila A y B (mg/L) en los germinados de alfalfa por tipo de color de luz

En la Figura 17, se presentan los resultados promedios del contenido de clorofila y como se esperaba, la luz natural por ser más completa logró el mayor contenido de clorofila para los dos tipos y seguido por la combinación del color LED azul y rojo, mientras que el rojo fue el menos favorecido. Además, la clorofila A nuevamente se visualiza que fue superior a la B en los diferentes tipos de color de luz y que a medida que la luz es más completa se aumenta la producción de clorofila en las plántulas germinadas de alfalfa.



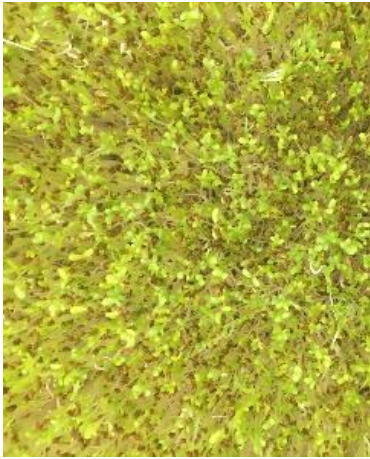


**Figura 17.** Clorofila total y carotenoides (mg/L) en germinados de alfalfa por tipo de color de luz.

Como se describió anteriormente, la clorofila total en los germinados de alfalfa fue mayor en la luz natural y que el color rojo produjo la menor cantidad (Figura 18). Mientras que, el contenido de carotenoides fue similar entre los diferentes tipos de color de luz como se puede visualizar en la Figura 18.

Además, en la Tabla 5 y 6 del Anexo se presenta el análisis de varianza y la prueba de comparación de Tukey ( $p < 0.05$ ), el cual muestra que a pesar de que los resultados de la luz natural fueron mayores, no logró diferenciarse con los demás colores LED. Los carotenoides, igual no se diferenciaron estadísticamente o la producción de geminados inducidos por diferentes tipos de luces no mostraron resultados diferenciados.

En las siguientes figuras se observan las diferentes tonalidades de los pigmentos fotosintéticos los cuales están definidos por la clorofila.



Germinados bajo la influencia de luz roja por 24 h de exposición



Germinados bajo la influencia de luz roja por 48 h de exposición



Germinados bajo la influencia de luz roja por 72 h de exposición



Germinados bajo la influencia de luz azul por 48 h de exposición



Germinados bajo la influencia de luz azul por 48 h de exposición



Germinados bajo la influencia de luz azul por 72 h de exposición



Germinados bajo la influencia de luz roja+azul por 24 h de exposición



Germinados bajo la influencia de luz roja+azul por 48 h de exposición.



Germinados bajo la influencia de luz roja+azul por 72 h de exposición.



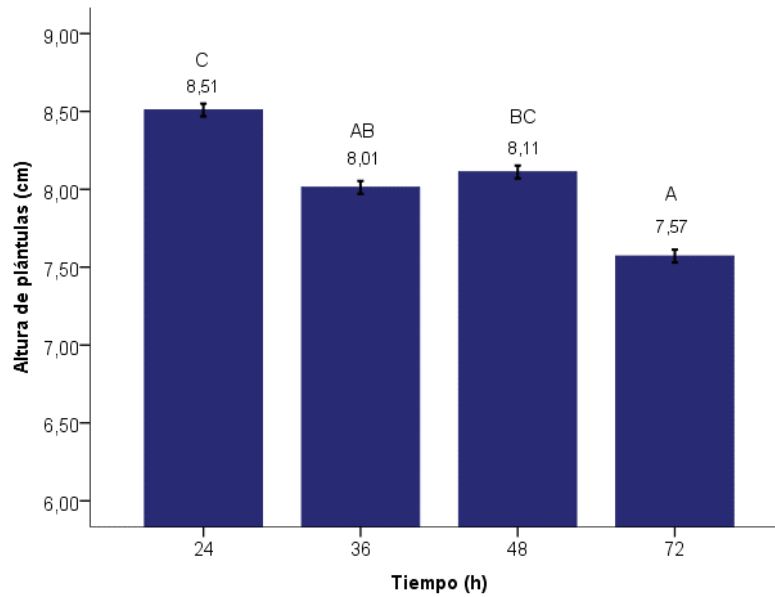
Germinados bajo la influencia de luz solar por 36 h de exposición

**Figura 18.** Germinados de alfalfa bajo la influencia de diferentes tipos de luz y tiempo de exposición en ambientes semi-controlados

### 7.3. Influencia del tiempo

Para responder el segundo objetivo específico de la investigación, se presentan los resultados del efecto del tiempo en la producción de germinado de alfalfa.

**Altura de plántulas (cm)**

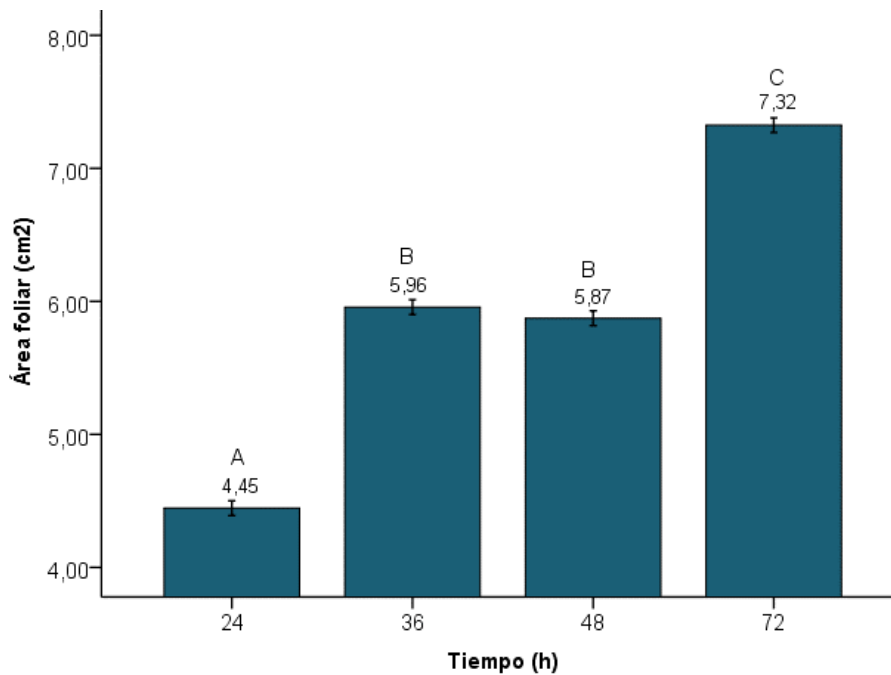


**Figura 19.** Altura (cm) de germinados de alfalfa por el tiempo (h)

El tiempo en que han sido expuesto los germinados de alfalfa se ilustran en la Figura 20, en el cual destaca el mayor tamaño de las plántulas expuestas por 24 h con 8.51 cm, seguido por 48 h y la menor longitud se presentó a 72 h, es decir, a medida que se aumenta las horas expuestas, los germinados disminuyen su tamaño.

Con respecto al análisis de varianza (Tabla 7 del Anexo) para el tamaño de plántulas se indica que las horas a las fueron expuestas generaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) y de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ), los tiempos presentaron diferencia significativa y la mayor longitud de los germinados se hizo presente a 24 h (Tabla 8 del Anexo y Figura 20).

Área foliar

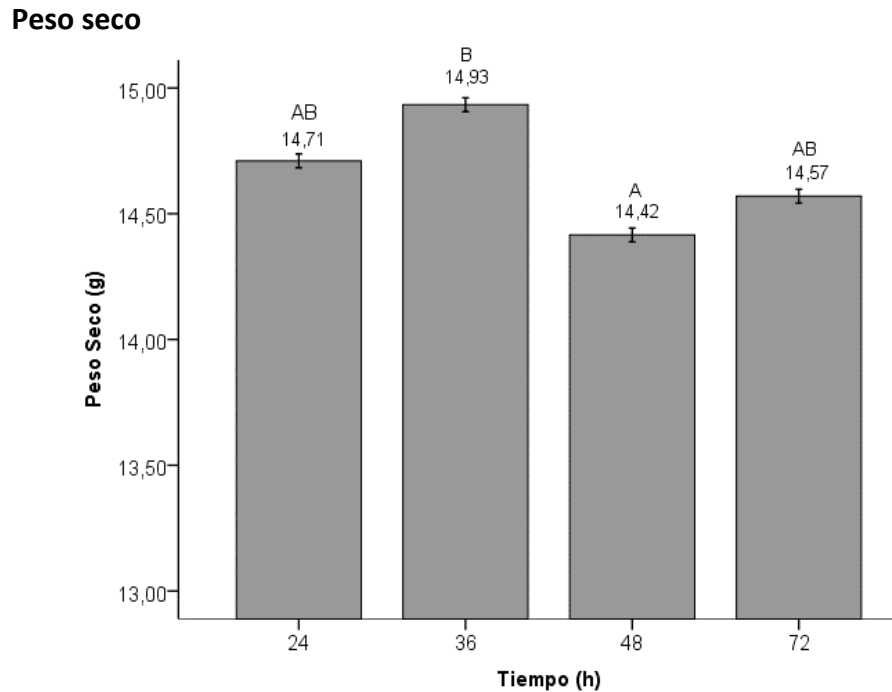


**Figura 20.** Área foliar (cm<sup>2</sup>) de los germinados de alfalfa por el tiempo (h)

El resultado del área foliar de las plántulas germinadas de alfalfa se presenta en la Figura 21, donde se visualiza que a mayor tiempo que los germinados son expuestos a las luces LED aumentan el tamaño de sus hojas, por lo que destacan los resultados de las 72 h. Por otra parte, si comparamos entre la Figura 20 con la 21, se observa claramente que existe una relación inversamente proporcional entre el tamaño de las plantas y el área foliar; en donde a menor tiempo que son expuestos los germinados aumentan su longitud, pero su área foliar se mantiene pequeños, al contrario, con lo que ocurre en las 72 h de luz.

Además, en la Tabla 7 del Anexo se presenta el análisis de varianza, que también muestra que el tiempo influyó o generó efecto estadístico ( $p < 0.05$ ) en la producción de germinados y según la prueba de Tukey, se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

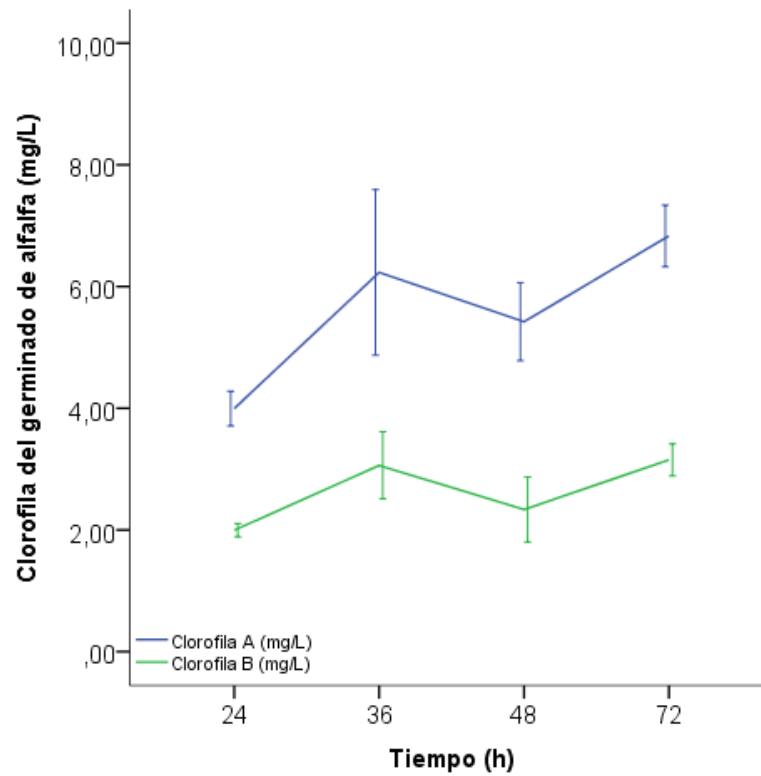
entre las diferentes horas, y así mismo se confirma que las 72 h permitieron el mayor crecimiento del área foliar.



**Figura 21.** Peso seco (g) de los germinados de alfalfa por el tiempo (h)

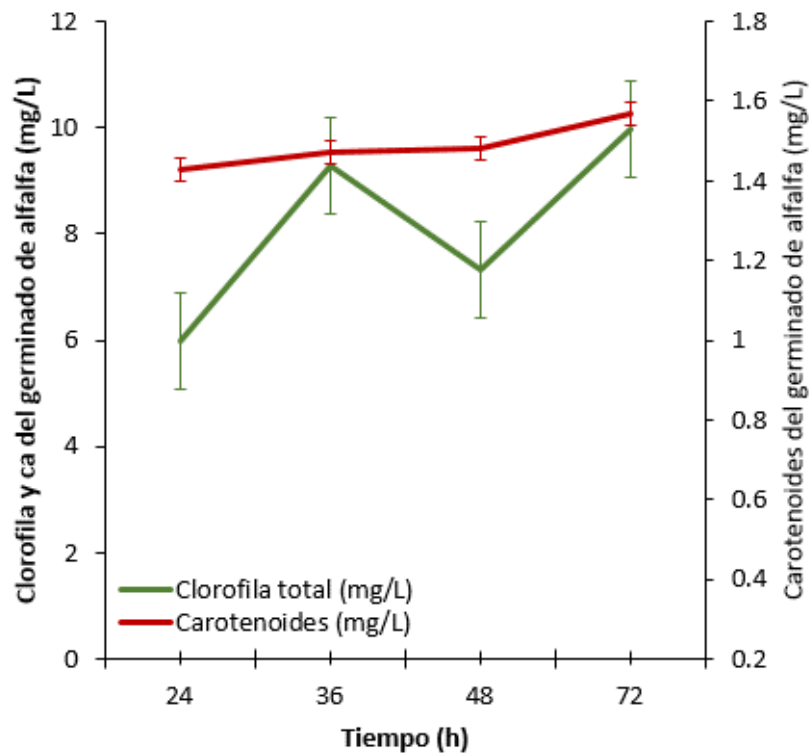
Al finalizar el experimento se secaron y pesaron los germinados de alfalfa y en la Figura 22 se ilustran los resultados, pero si observamos en las diferentes horas a las que fueron expuestos, se visualiza que los resultados fueron similares; así mismo, el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) encontraron efecto diferencia significativa mínima en el peso seco de las plántulas (Tabla 7 y 8 del Anexo). El rango de peso seco de los germinados fue de 14.42 a 14.93 g de 100 g de peso fresco.

Clorofila y carotenoides



**Figura 22.** Clorofila A y B (mg/L) en los germinados de alfalfa por tiempo (h)

El contenido de los dos tipos de clorofilas por el tiempo en que se han expuesto los germinados se presentan en la Figura 23. Dando a conocer que a las 72 h se llegó a presentar el mayor contenido de clorofila y nuevamente se ratifica que la clorofila A fue superior a la de tipo B en los germinados de alfalfa.



**Figura 23.** Clorofila total y carotenoides (mg/L) en germinados de alfalfa por tiempo (h)

El contenido de clorofila aumenta en los germinados a medida que son más expuesto en tiempo y a las diferentes luces (Figura 24) y que el mayor contenido total de clorofila se obtuvo a 72 h (9.98 mg /L), de igual forma para los carotenoides a la misma hora con 1.57 mg/L. En la Tabla 7 del Anexo se presentan el análisis de varianza, en donde se confirma que el tiempo influyó de manera significativa ( $p < 0.05$ ) en la producción de clorofila y carotenoides. Además, con la prueba de comparación de Tukey ( $P < 0.05$ ) se encontró diferencia significativa entre las diferentes horas y que a las 72 h permitió la mayor formación de clorofila y carotenoides (Tabla 7 y 8 del Anexo).

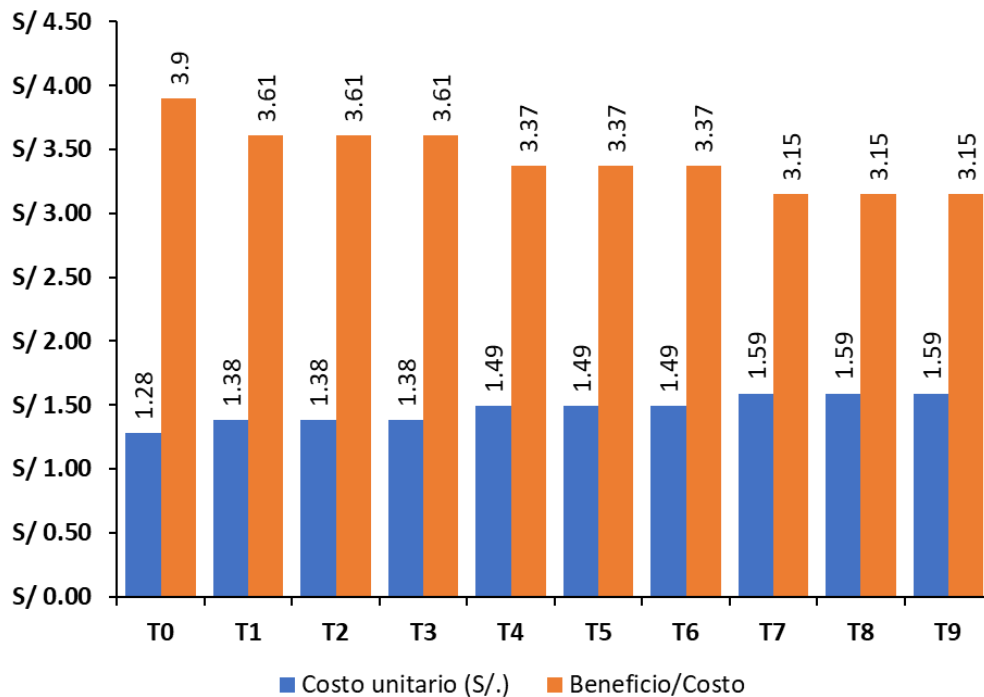
#### 7.4. Análisis de costo y beneficio de germinados de alfalfa por tratamiento

Para determinar el costo de producción de los germinados se tuvieron en cuenta los costos de la energía usada por la luz, agua, semillas de alfalfa, desinfectante, mano de



obra y el precio del táper por tratamiento. Se presentan en la Tabla 2 (estuvo conformado por 5 tápers), además también se presenta el costo unitario por táper. La presentación del táper fue de 100 g. El menor costo se presentó en el T0 (S/. 6.41), seguido por el T1, T2 y T3 con S/. 6.92; mientras que, el mayor se hizo presente en el T7, T8 y T9 con S/. 7.93.

El precio de venta por mayor de los germinados de alfalfa es de S/. 5.00 soles en presentaciones de 100 g y el costo unitario de su producción por tratamiento se presenta en la Tabla 2 y Figura 25. Además, en la misma tabla, se presenta en análisis de costo-beneficio; del cual, muestra que la relación B/C fueron superiores a 1. En la Tabla 2 y Figura 25, se muestra que es rentable la producción de los germinados y que la mayor relación de B/C se hizo presente en el T0 con S/. 3.90, seguido por el T1, T2 y T3 con S/. 3.61 soles. Con estos resultados, se puede indicar que por cada S/. 1.00 invertido en la producción de germinados se puede lograr ingresos hasta de S/. 3.90 soles.



**Figura 24.** Costo unitario (S/.) y análisis de Beneficio/Costo en la producción de germinados de alfalfa por tratamiento

**Tabla 2.** Análisis de costo de producción, beneficio/costo en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*) por tratamientos

COSTOS (S/.)	Tratamientos									
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Energía	0.00	0.51	0.51	0.51	1.01	1.01	1.01	1.52	1.52	1.52
Agua	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Semilla	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
Desinfectante	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Mano de obra	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Costo de táper (5 Uds)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Etiquetas (5 Uds)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
<b>Costo por tratamiento</b>	<b>6.41</b>	<b>6.92</b>	<b>6.92</b>	<b>6.92</b>	<b>7.43</b>	<b>7.43</b>	<b>7.43</b>	<b>7.93</b>	<b>7.93</b>	<b>7.93</b>
<b>Costo por táper (100 g)</b>	<b>1.28</b>	<b>1.38</b>	<b>1.38</b>	<b>1.38</b>	<b>1.49</b>	<b>1.49</b>	<b>1.49</b>	<b>1.59</b>	<b>1.59</b>	<b>1.59</b>
<b>Beneficio / Costo</b>	<b>3.90</b>	<b>3.61</b>	<b>3.61</b>	<b>3.61</b>	<b>3.37</b>	<b>3.37</b>	<b>3.37</b>	<b>3.15</b>	<b>3.15</b>	<b>3.15</b>

## VIII. DISCUSIÓN

### 8.1. Efecto de los tratamientos

#### Altura

El tamaño de las plántulas germinadas de alfalfa producidas en ambientes controlados tuvo valores de 8.58cm y 8.60cm para los tratamientos T3 y T1 respectivamente, siendo las de mayor valor entre todos los tratamientos. Esto representó incrementos de 7.12 % y 7.37 % para los T3 (luz azul+roja 24h) y T1 (luz roja 24h), con respecto al control, T0 (luz natural 36 h). Paniagua-Pardo et al. (2015) evaluaron el efecto de la luz LED de alta intensidad sobre la germinación y crecimiento de las plántulas de brócoli, llegando a un incremento de altura del 21.70% durante 12 h de exposición de luz roja. Sin embargo, reportaron disminuciones del 7.02% y 2.13% para tiempos de exposición de 6 h y 3 h respectivamente. En esta investigación se evaluó el crecimiento de las plántulas de alfalfa donde fue claro observar que los tratamientos con luz roja (24 h, 48 h y 72 h) lograron los mayores incrementos con respecto al control. En general las semillas germinadas en ambientes controlados con una relación alta de luz roja/ rojo lejano, llegan a tener tasas de germinación elevadas (Deschaine et al., 2009).

#### Área foliar

Respecto al área foliar de los cotiledóneos, el T7 (luz roja) y T8 (luz azul) superaron los 7cm<sup>2</sup>, siendo los colores rojo y azul respectivamente para los tiempo de 72 h. Demostrando que los tratamientos aplicados permitieron el aumento de área foliar con un incremento de 28.70% y 24% con relación al tiempo de exposición de 72h. Wu (2007) estudió la capacidad antioxidante de los germinados de guisantes utilizando luces LED;

obteniendo para el rojo un área foliar de  $1.48 \text{ cm}^2$ , valor muy por debajo al promedio obtenido en nuestro experimento. Además, Wu (2007), obtuvo un porcentaje en aumento con respecto al control con luz blanca empleando luz RGB de 33.33% y con respecto a la luz azul una disminución de 18.02%. Según Casierra-Posada (2015), el área foliar podría estar relacionada a la opacidad de los filtros de luz.

### **Peso seco**

Los resultados del peso seco de los brotes de alfalfa no tuvieron una diferencia significativa, teniendo un intervalo de variación entre 14.31 y 14.93g, pero el T0 fue el que obtuvo el mayor peso de materia seca. Los siguientes resultados fueron el T1 (luz roja 24 h) y T2 (luz azul 24 h), teniendo una disminución de 0.67% y 1.26 % respectivamente al tratamiento control. Sin embargo, fueron superiores a los que logró Fiutak et al. (2019) en germinados de alfalfa. Fiutak et al. (2019) tampoco difirieron sus resultados, lo que confirma que los brotes de alfalfa tienen un contenido bajo de materia seca y dando a conocer un bajo valor calórico.

### **Clorofilas y carotenoides**

Los mejores tratamientos fueron T9 (azul+rojo), T8 (azul) y T7 (rojo) que estuvieron expuestos por mayor tiempo (72h), lo que es evidente la mayor formación de clorofila e igual a las que estuvieron expuestas a la luz natural. Por ello, se pude elegir el mejor tratamiento el T7, ya que logró producir el mayor contenido de clorofila total y carotenoides con 10.37 y 1.67 mg/L respectivamente. Es decir que tuvo 11.66% y 13.60% más contenido de los biocompuestos con respecto al T0. Seguidamente, el T9 fue el

tratamiento con mayor contenido de clorofilas con 13.46% y 5.44% de carotenoides con respecto a la luz solar. El contenido de clorofila presente en los brotes de alfalfa en los diferentes tratamientos muestra que la clorofila A fue mayor a la de tipo B, similar a lo que describe Fiutak et al. (2019). Sin embargo, la luz RGB (azul, rojo y verde) obtuvo valores superiores de 14.64 % con respecto a la luz solar. Posiblemente, bajo el efecto al LED rojo y el mayor tiempo al que estuvo expuesto y al espectro visible más variado, permitiendo la mayor síntesis de clorofila de las plántulas, además que este dato está relacionado con el área foliar de los cotiledones.

### **Costo/Beneficio**

Se eligió el tratamiento (T7) por la relación beneficio/costo para ambientes urbanos cerrados, pero también se puede elegir el T0 porque no genera dependencia de energía para ambientes abiertos y que disponen de luz solar todo el año. Causando un incremento en los costos del 23.71% por el consumo energético, con respecto al T0. Así mismo, los tratamientos más costosos fueron los de 72h y tuvieron una disminución en el costo beneficio de 19.23%. Sin embargo, en condiciones desfavorables este gasto puede ser utilizado para obtener una producción de mejor calidad en tiempo de otoño o invierno donde la radiación solar no es muy favorable para fotosíntesis.

### **8.2. Efecto del tipo de luz**

En los diferentes indicadores evaluados como respuesta de las longitudes de luces aplicadas a los germinados, no lograron diferenciarse. A pesar de ello, la iluminación LED roja permitió el mayor desarrollo de las plántulas y el área foliar. Obtuvo un incremento

en 2.51% y 12.25% respectivamente, en comparación a la luz azul, tratamiento el cual obtuvo los menores resultados de todas las luces. Posiblemente a que los fitocromos estimulados por la luz roja permiten la elongación de los tallos, expansión de los cotiledones y elongación de la raíz (Costigan et al., 2011) y la tolerancia a los factores de estrés bióticos y abióticos (Ballare et al., 2012). Este resultado también se hizo presente en plántulas de crisantemo expuestas a luz LED rojo (Kim et al., 2004), *Pisum sativum* (Wu et al., 2007); además esta permite aumentar la acumulación de almidón en varias especies de plantas mediante la inhibición de la translocación de la fotosíntesis fuera de las hojas (Saebo et al., 1995).

Sin embargo, el LED azul inhibió el alargamiento de los tallos, el área foliar y el contenido de carotenoides, esto se debe a que la luz captada por los criptocromos, lo regula y reduce la elongación del tallo (Folta & Childers, 2008). El mismo efecto se hizo presente en *Pisum sativum* (Wu et al., 2007), Sin embargo, Fiutak et al. (2019) probó con la combinación de LED RGB (Rojo-Verde-Azul) y encontró que esta composición permitió el desarrollo de los cotiledones y llevó a una mayor cantidad de componentes bioactivos en toda la planta, ya que la mayoría de estos componentes se encuentran solo en los cotiledones. Diversos autores han demostrado a través de sus investigaciones la misma relación con las variantes de tiempo y color de luz bajo exposición de los cultivos.

La luz es no solo una fuente de energía esencial para la planta, también es una señal importante que influye en la planta etioladas. En el cual, las plantas se alargan en búsqueda de luz y por ende la biosíntesis de componentes de las células (Clouse, 2001; Erdei et al., 2005). Muchos investigadores han señalado que, diferentes longitudes de luz tienen un profundo efecto sobre el crecimiento de las plantas (Mingyan & Yuanzhi,

2006; Pu et al., 2005; Du et al., 2005), la tasa de fotosíntesis (Xu et al., 2005), la calidad del fruto (Pu et al., 2005; Qi et al., 2007) y según Casierra-Posada (2015) las longitudes de onda entre 300 y 900 nm son las que afectan al crecimiento y desarrollo de los vegetales.

Los resultados obtenidos muestran que la luz solar permitió la mayor formación de clorofila A y B, seguido por la combinación de LED rojo y azul. Además, el mayor contenido de clorofila se hizo notar en la de tipo A, igual a lo encontrado por Fiutak et al. (2019). Sin embargo, Jiang y Pan (2006) y Bantis et al. (2018) indican que la luz roja promueve el contenido de clorofila B y el crecimiento de brotes laterales, y la luz azul promueve el contenido de clorofila A e inhibe el crecimiento de los brotes laterales.

El uso de iluminaciones LED en la producción de germinados de alfalfa se podrían decir que es caracterizado como más amigable con el medio ambiente y económicamente favorable, que la iluminación convencional, al menos para instalaciones urbanas en ambientes cerrados (Schultz et al., 2008; Duong & Nguyen, 2010; Shimada & Taniguchi, 2011; Bantis et al., 2018).

### **8.3. Efecto del tiempo**

Los resultados mostraron que las respuestas fisiológicas producidas por la exposición a distintas longitudes de onda de luz LED en germinados de alfalfa variaron de acuerdo con el tiempo de exposición. En donde, los brotes cuando fueron expuestos a menor tiempo (24h) desarrollaron más el tallo, pero los cotiledones se vieron reducidos. Mientras que a mayor tiempo ocurrió lo contrario, destacando los germinados que fueron expuesto por 72 h con la mayor área foliar, contenido de clorofila y carotenoides.

Obteniendo resultados con un incremento de 12.42% en altura, 64.50% en el área foliar, 66.61% de clorofila y 9.80% de carotenoides. Este mismo efecto se vio reflejado en plántulas de brócoli (*Brassica oleracea*), que permitió mejorar la calidad fisiológica de estos brotes (Paniagua et al., 2015). Además, según Centeno (2017) se observa un aumento gradual en la longitud del hipocótilo directamente proporcional al tiempo de germinación para los germinado de quinua (*Chenopodium quinoa*). Así mismo, reportan Buenrostro et al. (2016), en chíá (*Salvia hispánica*) producidas en condiciones de oscuridad continua y a 25 °C. Además, en diversas variedades de alforfón (*Fagopyrum esculentum* y *Fagopyrum tataricum*) se ha demostrado que a mayor tiempo que estén expuesto a diferentes longitudes de onda de luz LED, mejoran las características fisiológicas, nutricionales y compuestos fenólicos (Wu et al., 2007; Lee et al., 2014).



## IX. CONCLUSIONES

- Los tratamientos aplicados influyeron significativamente en la producción de germinados en ambientes semi-controlados.
- Se concluye que la mejor producción de germinados de alfalfa en ambientes semi-controlados se obtuvo en el T7, resultado que es generado a partir de la interacción de las plántulas que fueron expuestos a luz LED roja por 72 h.
- Las diferentes longitudes de LED no influyeron significativamente en la producción de germinados, pero de acuerdo con todos los indicadores evaluados, la luz LED roja fue la mejor.
- El tiempo al que fueron expuestos los germinados generaron efecto significativo en la altura, área foliar y clorofilas totales.
- Las 72 h facilitaron la mejor producción de germinados de alfalfa en ambientes semi-controlados.
- Al menor tiempo que son expuestos los germinados permite la mayor elongación de los brotes, pero se reduce el área de los cotiledones.
- El contenido de clorofila A fue mayor a la de tipo B en todos los tratamientos en los germinados de alfalfa.
- En relación beneficio/costo para ambientes urbanos cerrados, el T7 fue el mejor, pero también se puede elegir el T0 porque no genera dependencia de energía para ambientes abiertos y que disponen de luz solar todo el año.

X. RECOMENDACIONES.

- Conducir estudios para evaluar compuestos bioactivos y capacidad antioxidante (DPPH, FRAP y TBARS) en el germinado de alfalfa.
- Aplicar métodos de post-cosecha en los germinados de alfalfa empleando tratamientos de desinfección (ozono, hipoclorito de sodio, dióxido de cloro, peróxido de hidrogeno, ácido acético).
- Evaluar biodisponibilidad y bioaccesibilidad del germinando *in vitro* y en modelos animales.
- Realizar estudios de calidad de germinados con semilla procedentes de costa y sierra.
- Realizar ensayos con longitud de onda de LED verde en germinados de alfalfa.
- Realizar estudios de las propiedades organolépticas y sensoriales por cada tratamiento de los germinados de alfalfa.

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avercheva, O. V., Berkovich, Y. A., Erokhin, A. N., Zhigalova, T. V., Pogosyan, S. I., & Smolyanina, S. O. (2009). Growth and photosynthesis of Chinese cabbage plants grown under light-emitting diode-based light source. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56(1), 14-21.

Ballare, C.L., Mazza, C.A., Austin, A.T., Pierik, R., 2012. Canopy light and plant health. *Plant Physiol.* 160, 145–155. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.112.200733>.

Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., & Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia horticulturae*, 235, 437-451.

Bian, ZH, Yang, QC y Liu, WK (2015). Efectos de la calidad de la luz sobre la acumulación de fitoquímicos en vegetales producidos en ambientes controlados: una revisión. *Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura*, 95 (5), 869-877.

Braunstein, M. M. (2012). *Germinados*. Ediciones del Serbal, SA.

Brown, C. S., Schuerger, A. C., & Sager, J. C. (1995). Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(5), 808-813.

Botero. (25 de Julio de 2011). En Historia de los germinados. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://germinados-medicina.blogspot.pe/2011/07/historia-de-los-germinados.html>

- Buenrostro, R., Jiménez, V., y Martínez, E. (2016). Efecto de la germinación 95 de semillas de chía (*Salvia hispánica* L.) sobre su calidad nutrimental. Disponible desde: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/2.pdf> Acceso 11 de mayo 2019.
- Bula, R. J., Morrow, R. C., Tibbitts, T. W., Barta, D. J., Ignatius, R. W., & Martin, T. S. (1991). Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience*, 26(2), 203-205.
- Bourget, C. M. (2008). An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*, 43(7), 1944-1946.
- Casierra-Posada, F., & Peña-Olmos, J. E. (2015). Modificaciones fotomorfogénicas inducidas por la calidad de la luz en plantas cultivadas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39, 84-92.
- Centeno Casaverde, D. S. (2017). Tratamientos de iluminación, tiempo de germinación y temperatura de conservación en germinados de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa*). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho.
- Chen, L. H., Wells, C. E., & Fordham, J. R. (1975). Germinated seeds for human consumption. *Journal of food science*, 40(6), 1290-1294.
- Chen, M., Chory, J., & Fankhauser, C. (2004). Light signal transduction in higher plants. *Annu. Rev. Genet.*, 38, 87-117.
- Clouse, S. D. (2001). Integration of light and brassinosteroid signals in etiolated seedling growth. *Trends in plant science*, 6(10), 443-445.

- Costa, H. S., Robb, K. L., & Wilen, C. A. (2002). Field trials measuring the effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on insect populations. *Journal of Economic Entomology*, 95(1), 113-120.
- Costigan, S. E., Warnasooriya, S. N., Humphries, B. A., & Montgomery, B. L. (2011). Root-localized phytochrome chromophore synthesis is required for photoregulation of root elongation and impacts root sensitivity to jasmonic acid in Arabidopsis. *Plant physiology*, 157(3), 1138-1150.
- Cortés, A., León, J., Jiménez, F., Díaz, M., Villanueva, A., & Guzmán, C. (2016). Alimentos funcionales, alfalfa y fitoestrógenos. *Revista Mutis*, 6(1), 28-40.
- Cupillard, V. (2011). *Semillas germinadas y brotes tiernos*. Editorial HISPANO EUROPEA.
- DoE (2008) US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Solid State Lighting website <http://www.netl.doe.gov/ssl/> Last visited 4th January 2008.
- Dechaine, J. M., Gardner, G., & Weinig, C. (2009). Phytochromes differentially regulate seed germination responses to light quality and temperature cues during seed maturation. *Plant, cell & environment*, 32(10), 1297-1309.
- Domínguez de Diez Gutiérrez, B. (1983). *Germinados: el alimento más perfecto y completo* (No. 581.333 D6).
- Economou, A. S., & Read, P. E. (1987). Light treatments to improve efficiency of in vitro propagation systems. *HortScience (USA)*.

- Eli, F. (2011, 19, 20 y 21 de octubre). Germinador Rural Con Tecnología Apropriada. Conferencia presentada en el Congreso Latino-Iberoamericano de gestión tecnológica. Recuperado el 05 de abril, 2016, de <http://www.altecdl.org/index.php/altec/article/view/2267/2267>
- Ellis, R. H., Hong, T. D., & Roberts, E. H. (1985). Handbook of seed technology for genebanks. Volume II. Compendium of specific germination information and test recommendations. *Handbook of seed technology for genebanks. Volume II. Compendium of specific germination information and test recommendations.*, xvii.
- Erdei, N., Barta, C., Hideg, É., & Böddi, B. (2005). Light-induced wilting and its molecular mechanism in epicotyls of dark-germinated pea (*Pisum sativum* L.) seedlings. *Plant and cell physiology*, 46(1), 185-191.
- FAO. Comité de Agricultura, 15° Período de Sesiones, Tema 9, “La Agricultura Urbana y Periurbana”, 1999.
- Fernández Salmón, C. (2015). Estudio de la eficiencia energética en instalaciones de iluminación: un caso práctico.
- Fiutak, G., Michalczyk, M., Filipczak-Fiutak, M., Fiedor, L., & Surówka, K. (2019). The impact of LED lighting on the yield, morphological structure and some bioactive components in alfalfa (*Medicago sativa* L.) sprouts. *Food chemistry*, 285, 53-58
- Folta, K. M. (2004). Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition. *Plant Physiology*, 135(3), 1407-1416.

- Folta, K. M., Koss, L. L., McMorrow, R., Kim, H. H., Kenitz, J. D., Wheeler, R., & Sager, J. C. (2005). Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research. *BMC plant biology*, 5(1), 1.
- Folta, K. M., & Childers, K. S. (2008). Light as a growth regulator: Controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *HortScience*, 43(7), 1957-1964.
- Gaobin, P., Shiqi, L., Lei, L., & Lihua, R. (2005). Effects of different light qualities on growth and physiological characteristics of tomato seedlings. *Acta Horticulturae Sinica*, 32(3), 420.
- Goins, G. D., Yorio, N. C., Sanwo, M. M., & Brown, C. S. (1997). Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (LEDs) with and without supplemental blue lighting. *Journal of experimental botany*, 48(7), 1407-1413.
- Hamilton, M. J., & Vanderstoep, J. (1979). Germination and nutrient composition of alfalfa seeds. *Journal of Food Science*, 44(2), 443-445.
- Heo, J., Lee, C., Chakrabarty, D., & Paek, K. (2002). Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light-emitting diode (LED). *Plant Growth Regulation*, 38(3), 225-230.
- Hernández, L. (2006). La agricultura urbana y caracterización de sus sistemas productivos y sociales, como vía para la seguridad alimentaria en nuestras ciudades. *Cultivos Tropicales*, 27(2), 13-26.

- Hoenecke, M. E., Bula, R. J., & Tibbitts, T. W. (1992). Importance of Blue Photon Levels for Lettuce Seedlings Grown under Red-light-emitting Diodes. *HortScience*, 27(5), 427-430.
- Hong, Y. H., Chao, W. W., Chen, M. L., & Lin, B. F. (2009). Ethyl acetate extracts of alfalfa (*Medicago sativa* L.) sprouts inhibit lipopolysaccharide-induced inflammation in vitro and in vivo. *Journal of Biomedical Science*, 16(1), 1.
- Kim, H. H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39(7), 1617-1622.
- Kim, EH, Kim, SH, Chung, JI, Chi, HY, Kim, JA, y Chung, IM (2006). Análisis de compuestos fenólicos e isoflavonas en semillas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) y brotes cultivados en diferentes condiciones. *Investigación y Tecnología de Alimentos Europeos*, 222 (1-2), 201.
- Kirlin, W. G., Cai, J., DeLong, M. J., Patten, E. J., & Jones, D. P. (1999). Dietary compounds that induce cancer preventive phase 2 enzymes activate apoptosis at comparable doses in HT29 colon carcinoma cells. *The Journal of nutrition*, 129(10), 1827-1835.
- Kozai, T. (2007). Propagation, grafting and transplant production in closed systems with artificial lighting for commercialization in Japan. *Prop. Ornament. Plants*, 7, 145-149.
- Lee, SW, Seo, JM, Lee, MK, Chun, JH, Antonisamy, P., Arasu, MV, ... y Kim, SJ (2014). Influencia de diferentes lámparas LED en la producción de compuestos



fenólicos en brotes de alforfón común y tartaria. *Cultivos y productos industriales*, 54, 320-326.

Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.

Lorenz, K., & D'Appolonia, B. (1980). Cereal sprouts: composition, nutritive value, food applications. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 13(4), 353-385.

Martinez-Villaluenga, C., Peñas, E., Ciska, E., Piskula, M. K., Kozłowska, H., Vidal-Valverde, C., & Frias, J. (2010). Time dependence of bioactive compounds and antioxidant capacity during germination of different cultivars of broccoli and radish seeds. *Food Chemistry*, 120(3), 710-716.

Mercola. (09 de febrero de 2015). En grandes razones para comer más germinados [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://articulos.mercola.com/sitios/articulos/archivo/2015/02/09/nutricion-con-germinados.aspx>

Ministerio de agricultura y medio ambiente de España, 2014 [http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/sanidadvegetal/higiene\\_y\\_trazabilidad/brotes-vegetales-semillas-germinadas/](http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/sanidadvegetal/higiene_y_trazabilidad/brotes-vegetales-semillas-germinadas/)

Mingyan, J., & Yuanzhi, P. (2006). Effects of light quality on the photosynthetic characteristics and growth of Poinsettia. *Acta Horticulturae Sinica*, 33(2), 338.

- Miyashita, Y., Kimura, T., Kitaya, Y., Kubota, C., & Kozai, T. (1997). Effect of red light on the growth and morphology of potato plantlets in vitro: using light emitting diodes (LEDs) as a light source for micropropagation. *Acta Horticulturae*, 418, 169–173.
- Murchie, E. H., Pinto, M., & Horton, P. (2009). Agriculture and the new challenges for photosynthesis research. *New Phytologist*, 181(3), 532-552.
- Nakamura, S., Mukai, T., & Iwasa, N. (1996). *U.S. Patent No. 5,578,839*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Nestle, M. (1997). Broccoli sprouts as inducers of carcinogen-detoxifying enzyme systems: clinical, dietary, and policy implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(21), 11149-11151.
- Nhut, DT, Hong, LTA, Watanabe, H., Goi, M., y Tanaka, M. (2000, noviembre). Crecimiento de plántulas de banano cultivadas in vitro bajo una fuente de irradiación con diodo emisor de luz (LED) roja y azul. En *el Simposio Internacional sobre Frutas Tropicales y Subtropicales 575* (pp. 117-124).
- Nhut, D. T., & Nam, N. B. (2010). Light-emitting diodes (LEDs): an artificial lighting source for biological studies. In *The Third International Conference on the Development of Biomedical Engineering in Vietnam* (pp. 134-139). Springer Berlin Heidelberg.
- Oh, M. M., & Rajashekar, C. B. (2009). Antioxidant content of edible sprouts: effects of environmental shocks. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(13), 2221-2227.

- OIDA (Optoelectronics Industry Development Association), 2002. Light emitting diodes (LEDs) for general illumination: an OIDA technology roadmap. In: An OIDA Technology Roadmap Update 2001. OIDA, Washington, DC.
- Okamoto, K., Yanagi, T., & Kondo, S. (1996, May). Growth and morphogenesis of lettuce seedlings raised under different combinations of red and blue light. In *Workshop on Environmental Regulation of Plant Morphogenesis 435* (pp. 149-158).
- Paniagua-Pardo, G., Hernández-Aguilar, C., Rico-Martínez, F., Domínguez-Pacheco, F. A., Martínez-Ortiz, E., & Martínez-González, C. L. (2015). Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica*, (40), 199-212.
- Patwardhan, V. N. (1962). Pulses and beans in human nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 11, 12-30.
- Pinho, P., Jokinen, K., & Halonen, L. (2012). Horticultural lighting—present and future challenges. *Lighting Research and Technology*, 44(4), 427-437.
- Price, T. V. (1988). Seed sprout production for human consumption—a review. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 21(1), 57-65.
- Liandong, Q., Shiqi, L., Li, X., Wenyan, Y., Qingling, L., & Shuqin, H. (2007). Effects of light qualities on accumulation of oxalate, tannin and nitrate in Spinach. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007(4).
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C., & Job, D. (2012). Seed germination and vigor. *Annual review of plant biology*, 63, 507-533.

- Randhir, R., Lin, Y. T., & Shetty, K. (2004). Stimulation of phenolics, antioxidant and antimicrobial activities in dark germinated mung bean sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Process Biochemistry*, 39(5), 637-646.
- Rey. (25 de febrero de 2016). En *El espectro de las diferentes ondas de Luz o espectro de la fotosíntesis* [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://geoic.blogspot.pe/2015/02/espectro-visible-en-las-plantas.html>
- Rutkowska, U., Kunachowicz, H., Iwanow, K., Nadolna, I., Karlowski, K., Gajda, J., & Marzec, Z. (1993). Skielkowane nasiona. *Przemysł Spożywczy*, 47(06), 150-152.
- Sæbø, A., Krekling, T., & Appelgren, M. (1995). Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 41(2), 177-185.
- Schuerger, A. C., Brown, C. S., & Stryjewski, E. C. (1997). Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany*, 79(3), 273-282.
- Schultz, C., Platonova, I., Doluweera, G., & Irvine-Halliday, D. (2008, September). Why the developing world is the perfect market place for solid state lighting. In *Eighth International Conference on Solid State Lighting* (Vol. 7058, p. 705802). International Society for Optics and Photonics. <http://dx.doi.org/10.1117/12.800718>.
- Shimada, A., & Taniguchi, Y. (2011). Red and blue pulse timing control for pulse width modulation light dimming of light emitting diodes for plant cultivation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104(3), 399-404.

- Streit, N. M., Pedrolo Canterle, L., Weber do Canto, M., & Hychek Hecktheuer, L. H. (2005). As clorofilas. *Ciencia Rural*, 35(3).
- Świeca, M., Baraniak, B., y Gawlik-Dziki, U. (2013). La digestibilidad in vitro y el contenido de almidón, el índice glucémico predicho y el posible efecto antidiabético in vitro de los brotes de lentejas obtenidos por diferentes técnicas de germinación. *Química de los alimentos*, 138 (2-3), 1414-1420.
- Tennessee, D. J., Singsaas, E. L., & Sharkey, T. D. (1994). Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynthesis Research*, 39, 85–92.
- Tripathy, B. C., & Brown, C. S. (1995). Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light. *Plant Physiology*, 107(2), 407-411.
- Urbano, L., Ruth, L., & Rosas Molina, M. L. (2014). Efecto del tiempo de germinación y tiempo de cocción, e influencia de la temperatura de secado en la actividad hemaglutinante de las lectinas en el tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet).
- Weiss, A., y Hammes, WP (2005). Eficacia del tratamiento térmico en la reducción de las salmonelas y *Escherichia coli* O157: H – en alfalfa, frijol mungo y semillas de rábano utilizadas para la producción de brotes. *European Food Research and Technology*, 221 (1-2), 187-191.
- Wenke, L. (2012). Light environmental management for artificial protected horticulture. *Agrotechnology*, 1, 101.
- Wu, M. C., Hou, C. Y., Jiang, C. M., Wang, Y. T., Wang, C. Y., Chen, H. H., & Chang, H. M. (2007). A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*, 101(4), 1753-1758.

- Wu, Z., Song, L., Feng, S., Liu, Y., He, G., Yioe, Y., ... y Huang, D. (2012). La germinación aumenta dramáticamente el contenido de isoflavonoides y la diversidad en las semillas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Diario de química agrícola y de alimentos*, 60 (35), 8606-8615.
- Xiaoying, L., Shirong, G., Taotao, C., Zhigang, X., & Tezuka, T. (2012). Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradianations of light emitting diodes (LED). *African Journal of Biotechnology*, 11(22), 6169-6177.
- Xu, K., Guo, Y., & Zhang, S. (2005). Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves. *Zhongguo nongye kexue*, 38(2), 369-375.
- Yang, R., Jiang, Y., Xiu, L., y Huang, J. (2019). Efecto del empapado previo de quitosán en el crecimiento y la calidad de los brotes de soja amarilla. *Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura* , 99 (4), 1596-1603.
- Yeh, N., & Chung, J. P. (2009). High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2175-2180.
- Yorio, N. C., Goins, G. D., Kagie, H. R., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 36(2), 380-383.
- Zhang, T., & Folta, K. M. (2012). Green light signaling and adaptive response. *Plant signaling & behavior*, 7(1), 75-78.

Zheludev, N. (2007). The life and times of the LED—a 100-year history. *Nature Photonics*, 1(4), 189.

## **XII. ABREVIATURAS**

LED: Light Emitting Diode

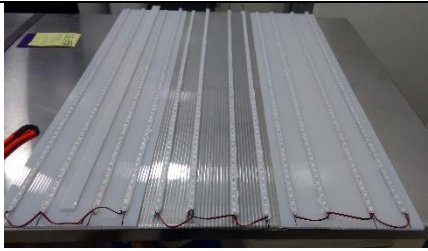


### XIII. ANEXOS



#### Anexos 1. Matriz de consistencia

PREGUNTA GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	OBEJETIVO GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	Indicador
¿Habrà efecto en el desarrollo de germinados de alfalfa por la influencia de tratamientos de ondas de luces LED?	La producción de germinados de alfalfa se verá influenciada por tratamientos de ondas con luces LED.	Determinar los efectos de tratamientos de ondas de luces LED en la producción de germinados de <i>Medicago sativa</i>	<b>VARIABLES Independiente</b>  Tratamientos de onda de luz	Color de onda de Luz  Tiempo de exposición.	Altura  Área foliar.  Peso seco  (Clorofila y Carotenoides)
PREGUNTAS ESPECIFICAS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	OBEJETIVO ESPECIFICOS	VARIABLES		
¿Habrà efecto en la producción de germinados de alfalfa por la influencia de luces LED azul?	La producción de germinados de alfalfa se verá influenciada por el efecto de ondas de luces LED azul	Determinar los efectos con luces LED azules en la producción de germinados de alfalfa	<b>VARIABLES Dependientes.</b> Producción de germinados de alfalfa		Altura  Área foliar.  Peso seco  (Clorofila y Carotenoides)
¿Habrà efecto en la producción de germinados de alfalfa por la influencia de luces LED rojas?	La producción de germinados de alfalfa se verá influenciada por el efecto de ondas de luces LED rojas.	Determinar los efectos con luces LED rojas en la producción de germinados de alfalfa	<b>VARIABLES Dependientes.</b> Producción de germinados de alfalfa		Altura  Área foliar.  Peso seco  (Clorofila y Carotenoides)
¿Habrà efecto en la producción de germinados de alfalfa por la influencia de luces LED azul + roja?	La producción de germinados de alfalfa se verá influenciada por el efecto de ondas de luces LED azul + roja.	Determinar los efectos con luces LED azul + roja en la producción de germinados de alfalfa	<b>VARIABLES Dependientes.</b> Producción de germinados de alfalfa		Altura  Área foliar.  Peso seco  (Clorofila y Carotenoides)

**Anexos 2.** Diseño de luces LEDS en ambientes semi-controlados

	<p>Cada nivel en el cual estuvieron sometidos los tratamientos tuvieron 4 tiras de un metro de largo con una separacion entre tira de 5cm entre las tiras de los extremos y 7cm en el las del medio. Cada metro de tira LED tuvo un consumo de 14.4 watts.</p>
---	--

**Anexos 3.** Extracción de pigmentos fotosintéticos

<p><b>Peso 100 mg de cotiledones</b></p>	<p><b>Acetona 80% con cotiledones triturados</b></p>
	

<p><b>Centrifugado 5 min a 3000 rpm</b></p>	<p><b>Medición de la absorbancia</b></p>
	

**Anexos 4. Fotos de muestras de germinados pesadas**

<b>Peso fresco germinados 100 gr.</b>	<b>Peso cotiledones 100 mg.</b>
	

**Anexos 5.** Análisis estadístico para los tratamientos de ondas de luz LED en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

**Tabla 3.** Análisis de varianza para los tratamientos de ondas de luz LED en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

F.V.	GL	F	P-VALOR
Altura	9	4.9	0.000*
Área foliar	9	679.57	0.000*
Peso seco	9	1.19	3.50
Clorofila	9	52.86	.0.000*
Carotenoides	9	2.53	0.040*

\*Presentan diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

**Tabla 4.** Prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) para los tratamientos de ondas de luz LED en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

Tratamiento	Tallo altura (cm)	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	Peso seco (g)	Clorofila (mg/L)	Carotenoides (mg/L)
T0	8.01 <sup>abc</sup>	5.96 <sup>c</sup>	14.93 <sup>a</sup>	9.29 <sup>ef</sup>	1.47 <sup>ab</sup>
T1	8.60 <sup>c</sup>	4.84 <sup>b</sup>	14.82 <sup>a</sup>	5.85 <sup>ab</sup>	1.42 <sup>ab</sup>
T2	8.34 <sup>bc</sup>	4.30 <sup>a</sup>	14.74 <sup>a</sup>	5.76 <sup>ab</sup>	1.49 <sup>ab</sup>
T3	8.58 <sup>c</sup>	4.20 <sup>a</sup>	14.56 <sup>a</sup>	6.35 <sup>bc</sup>	1.36 <sup>ab</sup>
T4	8.21 <sup>abc</sup>	6.19 <sup>c</sup>	14.31 <sup>a</sup>	4.66 <sup>a</sup>	1.60 <sup>ab</sup>
T5	7.78 <sup>abc</sup>	4.96 <sup>b</sup>	14.46 <sup>a</sup>	7.68 <sup>cd</sup>	1.35 <sup>a</sup>
T6	8.34 <sup>bc</sup>	6.47 <sup>d</sup>	14.47 <sup>a</sup>	9.66 <sup>ef</sup>	1.58 <sup>ab</sup>
T7	7.63 <sup>ab</sup>	7.67 <sup>g</sup>	14.51 <sup>a</sup>	10.37 <sup>ef</sup>	1.67 <sup>b</sup>
T8	7.72 <sup>ab</sup>	7.40 <sup>f</sup>	14.58 <sup>a</sup>	9.03 <sup>de</sup>	1.48 <sup>ab</sup>
T9	7.37 <sup>a</sup>	6.91 <sup>e</sup>	14.61 <sup>a</sup>	10.54 <sup>f</sup>	1.55 <sup>ab</sup>

Letras diferentes en la columna representan diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

**Anexos 6.** Análisis estadístico para los colores de luz en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

**Tabla 5.** Análisis de varianza para los colores de luz en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

F.V.	GL	F	P-VALOR
Altura	3	0.55	0.648
Área foliar	3	0.45	0.720
Peso seco	3	1.46	0.247
Clorofila	3	1.93	0.15
Carotenoides	3	1.64	0.205

\*Presentan diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

**Tabla 6.** Prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) para los colores de luz en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

Color de luz	Tallo altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Peso seco (g)	Clorofila (mg/L)	Carotenoides (mg/L)
Rojo	8.15 <sup>a</sup>	6.23 <sup>a</sup>	14.55 <sup>a</sup>	6.96 <sup>a</sup>	1.57 <sup>a</sup>
Azul	7.95 <sup>a</sup>	5.55 <sup>a</sup>	14.60 <sup>a</sup>	7.49 <sup>a</sup>	1.44 <sup>a</sup>
Azul + rojo	8.10 <sup>a</sup>	5.86 <sup>a</sup>	14.55 <sup>a</sup>	8.85 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>
Natural	8.01 <sup>a</sup>	5.96 <sup>a</sup>	14.93 <sup>a</sup>	9.29 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la columna representan diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

**Anexos 7.** Análisis estadístico para el tiempo (h) en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

**Tabla 7.** Análisis de varianza para el tiempo (h) en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

F.V.	GL	F	P-VALOR
Altura	3	12.11	0.000*
Área foliar	3	57.96	0.000*
Peso seco	3	3.51	0.029*
Clorofila	3	14.55	0.000*
Carotenoides	3	1.95	0.147

\*Presentan diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

**Tabla 8.** Prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ) para los colores de luz en la producción de germinados de alfalfa (*Medicago sativa*)

Tiempo (h)	Tallo altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Peso seco (g)	Clorofila (mg/L)	Carotenoides (mg/L)
24	8.51 <sup>c</sup>	4.46 <sup>a</sup>	14.71 <sup>ab</sup>	5.99 <sup>a</sup>	1.43 <sup>a</sup>
36	8.01 <sup>ab</sup>	5.97 <sup>b</sup>	14.93 <sup>b</sup>	9.29 <sup>bc</sup>	1.47 <sup>a</sup>
48	8.11 <sup>bc</sup>	5.87 <sup>b</sup>	14.42 <sup>a</sup>	7.33 <sup>ab</sup>	1.48 <sup>a</sup>
72	7.57 <sup>a</sup>	7.32 <sup>c</sup>	14.57 <sup>ab</sup>	9.98 <sup>c</sup>	1.57 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la columna representan diferencia significativa ( $p < 0.05$ )