

# UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA ESCUELA DE BIOLOGIA, ECOLOGIA Y GESTION

## EFECTO DE LAS DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA DE LUZ LED EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE AMARANTHUS CAUDATUS VARIEDAD "ALEGRÍA".

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

BIÓLOGA CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN

#### Autora:

Lourdes Viviana González Olivo

**Director:** 

Mgst. Pedro José Crespo Vintimilla

**CUENCA, ECUADOR** 

2019

#### **DEDICATORIA**

A mis padres Luis e Inés quienes estuvieron a mi lado apoyándome de manera incondicional todo este tiempo y me enseñaron que con perseverancia se consigue todo, a mi esposo y mi hijo que fueron parte importante y son los motores de mi vida para seguir adelante.

A mi hermano Jorge por ayudarme tanto y quererme que sin importar los miles de kilómetros que nos separan siempre has estado pendiente de mí y has sido un gran ejemplo en mi vida. A mi hermano menor Victor quien me hizo creer que los milagros existen. A mi prima Diana que me enseñó que no importa las dificultades cuando se quiere se puede.

A toda mi familia, mis abuelos, tios y primos que han estado en cada momento importante y especial de mi vida.

Finalmente a mis amigas Angie, Vero, Nube que han estado a mi lado dándome una palabra de aliento y ayudándome a seguir adelante, gracias por escucharme y aconsejarme en cada momento. "Los amigos multilican las alegrías y dividen las penas" (Anónimo).

#### **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer primero a Dios ya que fue a verdadera inspiración para seguir esta carrera, a mis profesores que no guiaron en todo momento y dispuestos a ayudarme cuando lo necesitaba en especial a Antonio Crespo que me ayudó a creer en mí cuando ni yo mismo lo hacía. A Pedro Crespo mi director, gracias infinitas por darme la oportunidad de encabezar este proyecto y tener fe en mí.

A todos los docentes que de alguna manera colaboraron con la construcción de este proyecto, al laboratorio de plantas nativas por la asesoría brindada.

#### INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	]
AGRADECIMIENTOS	II
INDICE DE CONTENIDOS	III
INDICE DE FIGURA Y TABLAS	IV
INDICE DE ANEXOS	V
RESUMEN	VJ
ABSTRACT	7
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO 1	6
METODOLOGIA	6
1.1 Descripción de la especie de estudio	6
1.2 Material biológico	7
1.3 Diseño experimental	7
1.4 Análisis estadístico	10
1.5 Condiciones ambientales	10
CAPITULO 2	13
RESULTADOS	13
CAPITULO 3	29
DISCUSION	29
CAPITULO 4	33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFIA:	35
ANEXOS	40

#### INDICE DE FIGURA Y TABLAS

Figura 1 Sistema de luz LED rojo	9
Figura 2 Sistema de luz LED verde	9
Figura 3 Sistema de luz LED azul	9
Figura 4 Toma de peso en fresco de las hojas	11
Figura 5 Prueba de Tukey	
Figura 6 Residuos para Promedio de Altura	15
Figura 7 Crecimiento de Amaranto bajo luz solar	
Tabla 1 Intensidad lumínica medida en PAR	8
Tabla 2 Medidas de crecimiento de los diferentes colores de luz LED	
Tabla 3 Altura de Plantas	
Tabla 4 Prueba Cp de Mallows	15
Tabla 5 Análisis de Varianza	
Tabla 6 Comportamiento de la varianza	
Tabla 7 Ecuaciones de regresión	
Tabla 8 Prueba ANOVA de los diámetros de tallo.	18
Tabla 9 Prueba de Tukey para Diámetro de tallo	
Tabla 10 Prueba ANOVA en distancia de internudos.	
Tabla 11 Prueba Tukey en la distancia de internudos.	21
<b>Tabla 12</b> Prueba ANOVA en N° de hojas	22
Tabla 13 Prueba de Tukey en el Número de hojas	
Tabla 14 Prueba ANOVA en el peso fresco de hojas	
Tabla 15 Prueba Tukey en peso fresco de hojas	
Tabla 16 Prueba Tukey en peso fresco de hojas	24
Tabla 17 Prueba de Tukey en Área Foliar	
Tabla 18 Prueba ANOVA de los pesos en estado fresco y seco.	
Tabla 19 Prueba de pares de los pesos en estado fresco.	
Tabla 20 Prueba de pares de los pesos en estado seco.	
Tabla 21 Absorbancia de clorofila	

#### INDICE DE ANEXOS

1 Fotografía de las plantas que crecen bajo la influencia de la luz LED rojo	40
2 Fotografía de las plantas que crecen bajo la influencia de la luz LED azul	40
3 Fotografía de las plantas que crecen bajo la luz LED verde	41
4 Fotografía de la raíz de la planta bajo la influencia de luz LED	41
5 Fotografía de la raíz de Amaranto bajo la influencia de luz natural	42
6 Tabla del área foliar	42
7 Tabla de distancia de internudos	43
8 Tabla de diámetros de los tallos	43
9 Tabla del peso fresco de las hojas	44
10 Tabla de los pesos de raíz y del tallo en estado fresco.	45
11 Tabla de los pesos de raíz y del tallo en estado fresco	46
12 Par medido sobre la planta de Amaranto	47
	2 Fotografía de las plantas que crecen bajo la influencia de la luz LED azul 3 Fotografía de las plantas que crecen bajo la luz LED verde

Efecto de las diferentes longitudes de onda de luz led en el crecimiento y desarrollo de Amaranthus caudatus variedad "Alegría".

#### Resumen

El presente estudio muestra la influencia de un sistema de luz LED en el desarrollo y crecimiento de *Amaranthus caudatus* variedad Alegría. La investigación se realizó a partir de semillas de Amaranto sembradas en macetas y colocadas dentro de cabinas con iluminación de luz LED con longitud de onda del color azul, verde, rojo; mientras que un grupo de plantas de Amaranto se colocaron bajo luz natural como elementos de control. Los resultados indicaron que bajo la influencia de luz LED azul las plantas tuvieron una mayor elongación, mientras que bajo la luz LED verde y rojo los resultados fueron opuestos. El crecimiento bajo la luz natural fue comparable con las plantas de tratamiento con luz LED azul. Se encontró diferencias significativas entre el peso seco de las plantas que estuvieron bajo la influencia de la luz LED y las plantas que crecieron bajo luz natural.

PALABRAS CLAVE: Amaranto, luz LED, pseudocereal, elongación.

Pedro José Crespo Vintimilla

Director del Trabajo de titulación

Antonio Manuel Crespo Ampudia

Coordinador de Escuela

Lourdes Viviana González Olivo

Autora

### Effect of the different wavelengths of led light on the growth and development of Amaranthus caudatus variety "Alegría"

#### Abstract

This study shows the influence of a LED light system on the development and growth of *Amaranthus caudatus* variety Alegría. The research was carried out from Amaranth seeds planted in pots and placed inside cabins with LED light illumination that used blue, green and red wavelengths. A group of Amaranth plants were placed under natural light as control elements. The results indicate that the plants have a greater elongation under the influence of blue LED light, whereas under the green and red LED lights the results were opposite. The growth under natural light was comparable with the treatment with blue LED light. Significant differences were found between the dry weight of the plants that were under the influence of the LED light and the plants that grew under natural light.

Keywords: Amaranth, LED light, pseudocereal, elongation.

Pedro José Crespo Vintimilla

**Thesis Director** 

Antonio Manuel Crespo Ampudia

**Faculty Coordinator** 

Lourdes Viviana González Olivo

Author

Doto, Idiomas

Translated by Ing. Paúl Arpi

González Olivo Lourdes Viviana

Trabajo de Titulación

Mgst, Crespo Vintimilla Pedro.

Junio, 2019

#### INTRODUCCION

La luz y su importante participación en el crecimiento de las plantas es algo muy complejo, debido a sus características. Hay ondas electromagnéticas que son perjudiciales, como los rayos cósmicos y gamma, lo cuales pueden lesionar a los organismos vivos, en general se conoce que la luz visible tiene la misma longitud de onda que la radiación fotosintética (Fakuda, 2013).

Hay dos funciones de la luz que son muy importantes en el mundo vegetal; primero es una fuente de energía para la fotosíntesis ya que sin esta las plantas no pueden crecer y segundo como un estímulo para regular el momento de la floración o morfogénesis (Casierra-Posada & Peña-Olmos, 2015).

Las hojas y tallos verdes son conocidos como órganos fotosintéticos, ya que estos pueden absorber los fotones en las franjas del color azul y del rojo que son parte de la radiación visible, mientras que la franja del verde e infrarroja es escasa y la mayoría de los fotones se refleja en la radiación difusa (Lazo & Ascencio, 2010). Las plantas poseen diferentes tipos de fotoreceptores que facilitan el control de todos los procesos involucrados en su desarrollo. Los fitocromos provocan respuestas fisiológicas como la expansión de la hoja, crecimiento del tallo, germinación de la semilla y la estimulación de la floración. Los criptocromos favorecen la morfología de la planta, la transición a la floración, ayuda al crecimiento de la hoja e inhiben fuertemente la elongación del tallo. Las fototropinas absorben la luz azul y regulan el contenido del pigmento y movimiento de los órganos fotosintéticos para la captura de la luz (Paniagua-Pardo et al, 2015).

El estudio de la influencia de la luz en algunos factores biológicos de las plantas se realiza en ambientes controlados y actualmente el sistema de luz LED por sus siglas en inglés (Light-emitting diode) se ha convertido en una opción para los cultivos de especies vegetativas, ya que es un sistema que posee grandes ventajas como el control de

la composición espectral, es un dispositivo de tamaño pequeño, produce altos niveles de luz, su índice de radiación calorífica es bajo y tiene una larga vida útil lo que permite su uso por varios años sin necesidad de ser reemplazado (Paniagua-Pardo et al, 2015).

La introducción de lámparas LED el campo de la agricultura es una tecnología reciente en ambientes que son controlados. Estudios recientes ha demostrado que el uso de LED de luz blanca es de mayor calidad y más eficientes que la luz incandescente. Su alto ahorro energético se puede traducir en ahorro económico y una solución para países que tiene problemas energéticos (Valentin, 2013). También estos dispositivos son monocromáticos, es decir, poseen una sola longitud de onda correspondiente a un color, lo que aumenta la eficiencia en la producción agrícola (Jao et al, 2005), como incrementar el rendimiento de la producción y el crecimiento de las especies vegetales también repeler los insectos en el caso de los diodos rojos de esta manera se disminuye el uso de agrotóxicos (Ortíz, 2017). Por su tamaño pequeño es más fácil diseñar un sistema lumínico aumentando la disponibilidad del espacio ya que con las luces incandescentes o fluorescentes no es posible. Desde el punto de vista ecológico los LED no poseen compuestos peligrosos que afecten a la salud y al ambiente por ser una tecnología nueva se están llevando varias investigaciones para aclarar sus uso, efectos y aplicaciones (Valentin, 2013).

Yori en 2001 explicó que la luz roja y azul son factores importantes para el crecimiento de las plantas, encontrando que los fitocromos son sensibles a esta luz en los 660 nm de la luz azul y 730 nm en la región roja. La luz roja estimula la elongación de internudos, incremento de biomasa seca, además de acelerar la velocidad de la germinación lo cual se comprobó en las plántulas de brócoli (Ortiz, 2017). En la última década se ha encontrado que la luz verde tiene la función de regular el crecimiento de la planta (Folta, 2004) ya que promueve el crecimiento de carotenos y metabolismo de carbohidratos (Ortiz, 2017).

Se han realizado varios estudios con la aplicación de luz tipo LED de diversas longitudes de onda. Shoji et al en 2010 reporta que en la luz LED color azul ayudó en el crecimiento de las plántulas de lechuga luego de ser trasplantadas, según Villar (2016) el color azul promueve la síntesis de clorofila, la apertura de estomas, el control de

fototropismo, la interacción con criptocromos y fototropinas, aumento de materia seca, también reporta un aumento en la proporción de germinación. Otros estudios como de Xioaying et al en 2012, exponen que la combinación de LED rojos-azules y rojos-azules-verdes demostraron ser benéficos en el crecimiento y fotosíntesis de plántulas de tomate cherry. Jao y Fang (2003) mencionan que se han realizado estudios de las luces LED para conocer su efecto sobre la fotosíntesis, la síntesis de clorofila y fotomorfogénesis. También reportan que estos estudios se han hecho sobre cultivos de lechuga, pimienta, espinaca, fresas y pepino reportando un buen crecimiento. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que no todas las especies vegetales reaccionan de la misma manera (Paniagua-Pardo et al, 2015).

La luz LED de color azul se inventó en 1994 y su intensidad lumínica ha ido mejorando con el tiempo. La intensidad lumínica de LED de color rojo aún es débil para la producción vegetal, sin embargo, se conoce que se los está utilizando para producción de plántulas in vitro (Paz, 2015).

Varios estudios se han realizado en la Universidad de Wisconsin, Universidad de Purdue e inclusive por el Centro Espacial Kennedy de la NASA, donde el propósito principal de estos estudios es analizar el sistema de luces LED como una fuente alternativa de luz para el crecimiento de plantas en el espacio como soporte de vida en posibles viajes a otros planetas (Massa et al, 2008).

El presente estudio se centra en el Amaranto que es un pseudocereal de la familia Amarantacea que posee más de 80 especies. Esta es una planta dicotiledónea no gramínea que produce semillas tipo granos, por esta razón se le conoce como un pseudocereal (Paucar-Mechano et al, 2017). Por el uso que tiene también se le clasifica como amaranto de grano y foliáceo, aunque también es usado como planta ornamental. Las primeras especies se las reconoce en América y son tres especies: *Amaranthus cruentus, Amaranthus hypochondriacus, Amaranthus caudatus,* mientras que en Asia y África se conoce como productores de hoja y se encuentran el *Amaranthus cruentus, Amaranthus dubis, Amaranthus hybridus y Amaranthus tricolor.* Las semillas del Amaranto contienen niveles elevados de proteínas y de aminoácidos como la lisina que por lo general no se encuentran en los cereales. La hoja del amaranto también contiene

altos niveles de proteínas, minerales como calcio, magnesio y fósforo, vitaminas y ácido ascórbico (Délano-Frier & Martínez-Gallardo, 2012).

El Amaranto es una planta C4, las plantas C4 llevan a cabo una modificación del proceso normal fotosintético es decir hace más eficiente el uso del CO2 disponible en el aire concentrándolo en los cloroplastos de células especializadas, haciendo que la tasa de fotorespiración sea prácticamente nula (Shuan et al, 1985), entonces hace que los carbonos de rápido crecimiento y tasa fotosintética sean eficientes, necesita menos humedad que las plantas C3, es muy resistente a la sequía resultando muy bueno para regiones que son escasas de agua (López, 2015). El género *Amaranthus* comprende hierbas anuales, hojas simples, alternas, enteras y largamente pecioladas. Estas plantas son generalmente matizadas por un pigmento rojo llamado amarantina. El *Amaranthus* posee flores unisexuales con densos racimos situados en las axilas de las hojas, tienden a ser muy pequeñas, pétalos y sépalos iguales y designados como tépalos, posee de tres a cinco estambres, ovario súpero unilocular que madura en un utrículo circunsesil con una sola semilla (Sánchez, 1980).

En los últimos años el interés por el Amaranto a nivel mundial ha crecido y esto se debe a su alto contenido nutricional, sus numerosas ventajas agronómicas que le hacen más deseable, también su alta tolerancia a suelos pobres y salinos, climas semiáridos y condiciones desfavorables del medio, además por su alta producción de biomasa, razón por la que se considera como una alternativa excelente para sitios con dificultad de siembra. Su capacidad de crecer en zonas en condiciones de sequías y su relación con la eficiencia del uso del agua, hace que su eficiencia sea superior al trigo, maíz, algodón y sorgo, también se le asocia a la tolerancia a los suelos salinos. Esta tolerancia a la sequía del Amaranto se debe a su fisiología como una planta C4; no tiene un hábito de floración, sus raíces principales son largas y sus raíces laterales se extienden en respuesta a la falta de agua. Las estrategias combinadas del sistemas proteínicas y genómicas se coordinan y forman solutos compatibles además de la expresión de genes diseñados para evitar el estrés oxidativo causado por la inevitable formación de especies reactivas de oxígeno durante condiciones de estrés y para dar estabilidad a las proteínas y regular el crecimiento (Délano et al. 2012).

Se tiene información sobre los efectos del sistema de luz LED en cereales como el maíz, fréjol e incluso algunas especies de Amaranto como *Amarnthus tricolor*, sin embargo para *Amaranthus caudathus* no se han encontrado estudios realizados y dada su importancia ya que tiene grandes cualidades alimenticias y llega a ser considerado como un candidato para alimentación espacial, por eso es necesario conocer cómo influye un sistema de luz LED de color azul, verde y rojo en el crecimiento y desarrollo del *Amaranthus caudatus* variedad Alegría.

#### **CAPÍTULO 1**

#### **METODOLOGIA**

1.1 Descripción de la especie de estudio.

El Amaranthus alcanza hasta dos metros de alto, generalmente posee un solo eje central con pocas ramificaciones laterales. La raíz es de forma pivotante y robusta. El tallo es estriado con aristas fuertes y hueco en el centro cuando alcanza su madurez. Sus hojas son largamente pecioladas, de forma romboide, lisas, de escasa pubescencia y nervadura central gruesa. La inflorescencia es una panícula compacta y de diversos colores desde amarillento hasta púrpura. El fruto es una sola semilla de 1 a 1.5 mm de diámetro y puede ser de color blanco, rosado, rojizo, amarillento y negro, dependiendo de la especie que sea de Amaranto (Sumar, 1983).

Amaranthus caudatus, se cultiva en la región andina como Bolivia, Perú y Ecuador, puede ser de grano blanco como el A. quitensis al cual se le conoce como ataco o sangorache en Ecuador, y el de grano negro A. creuntus y A. hypocondriacus que son cultivados en México y Centro América. El Amaranto fue domesticado hace más de 4000 años, comenzando su cultivo en México, luego fue llevada por los mayas hasta Guatemala y después cultivada por los Incas en América del Sur. Las hojas del Amaranto fueron usadas como vegetales para alimentarse (López et al, 2013). Las plantas del Amaranto son monoicas, sus flores son pequeñas, unisexuales, reunidas en glomérulos formando umbelas no verdaderas con tres a cinco brácteas externas cada una, se puede diferenciar entre flores masculinas y femeninas ya que las masculinas presentan de tres a cinco estambres y las femeninas un ovario superior en donde se forma una sola semilla (Nieto, 1989). El Amaranto en una de las pocas plantas no gramíneas que es considerada C4, lo que quiere decir que realiza una modificación del proceso fotosintético. Esta planta tiene una anatomía foliar especializada llamada anatomía de Krans, es decir, dispone de dos capas celulares que contienen la clorofila una se encuentra dentro del mesófilo y la otra se encuentra unida a los haces vasculares esto permite que su tasa fotosintética sea eficiente y las pérdidas de carbono atmosférico por la fotorespiración sean nulas. Esta adaptación fisiológica permite al Amaranto adaptarse a los ambientes desfavorables para otras plantas. Al tener facilidad para

realizar la fotosíntesis los estomas de la planta permanecen prácticamente cerrados lo que evita la pérdida de agua y en condiciones de escasez de agua no se llegan a secar (Nieto, 1989).

Se tiene conocimiento que *Amaranthus caudatus* tiene un aumento de la producción y biomasa del 100% al cultivar de 3000 a 600 msnm, lo que quiere decir que responde muy bien a zonas con mayor temperatura y luminosidad. En cuanto al fotoperiodo que es la influencia de la duración de la luz, varios autores han concluido que el Amaranto florecen y generan frutos en condiciones de días cortos y noches más largas (Nieto, 1989).

#### 1.2 Material biológico

Se utilizaron semillas de *Amaranthus caudatus* variedad Alegría que fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), las semillas fueron recolectadas de una misma parcela de la Hacienda San Carlos, Urcuquí provincia de Imbabura, fueron cosechadas en 2014 almacenadas en sacos de yute en un área fría y seca. Las semillas fueron sometidas a pruebas piloto de germinación, se plantaron 10 semillas por cada caja Petri en un total de cinco cajas, estas cajas se las ubicaron en las cabinas de los diferentes colores; se usó como sustrato papel filtro y 5ml de agua destilada durante tres semanas. Se pudo observar que la mayoría de ellos se germinaron de manera positiva, obteniendo una longitud de 5 cm medidos desde la punta de la raíz hasta las dos primeras hojas.

#### 1.3 Diseño experimental

Se diseñó una cabina totalmente aislada de la luz solar, con tres secciones, cada una de 0.6 m de ancho por 2 m de largo y 2,5 m de alto, donde se colocaron mesas para contener las macetas para la siembra de las semillas del Amaranto.

El sustrato utilizado para la siembra fue entregado por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. El sustrato fue recolectado en la provincia del Cañar, parroquia Jerusalén. El análisis le identifica a la textura del sustrato como Franca-Arena, no salino, presenta un pH 8, es decir, medianamente alcalino, posee un 21.3% de materia orgánica lo que significa que es alto. En cuanto a su composición química es alto en fósforo, potasio y calcio, medio en zinc, cobre, nitrógeno y magnesio; bajo en

manganeso y hierro. Este análisis se realizó en el laboratorio de manejo de suelos y aguas del INIAP.

En cada sección de la cabina se instaló un color de luz LED azul, verde, rojo en donde se colocaron 16 macetas por cada sección de la cabina. Cada cabina se aisló de manera que la otra no influya en el crecimiento (Fig1, 2, 3).

El sistema de luces LED de marca SNYKA-Samsung de 12V consistió 10 unidades LED cada uno. Las luces fueron colocadas a 14cm de las macetas para asegurar la mayor incidencia de luz en las semillas; la distancia entre cada blíster fue de 10 cm, asegurando la mayor intensidad de luz sobre cada maceta. El tiempo de exposición de luz por cada color (fotoperiodo) fue de 12/12, es decir 12 horas expuestas a la luz y 12 horas de no exposición a la luz. Este sistema consistió en una temporización programada con encendido 6:00 H y apagado 18:00 H.

La intensidad lumínica de cada color se midió con un instrumento digital....y estas fueron las medidas tomadas (Tabla 1).

**Tabla 1** Intensidad lumínica medida en PAR.

INTENSIDAD LUMINICA							
COLOR LUZ LED PAR							
COLOR LOZ LED	[µmol m-2 s-1]						
LUZ AZUL	120						
LUZ VERDE	70						
LUZ ROJA	80						

El riego fue realizado de manera manual se colocaba 500ml de agua por cada maceta, además se colocó un sistema de ventilación temporizado cada hora para asegurar una buena ventilación dentro de las cabinas.



Figura 1 Sistema de luz LED rojo



Figura 2 Sistema de luz LED verde



Figura 3 Sistema de luz LED azul

#### 1.4 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se tomó en cuenta los siguientes parámetros: 1) largo del tallo que se midió utilizando una cinta métrica, 2) el número de hojas por nudo, 3) ancho del tallo, 4) área foliar determinado por un software (ImageJ), 5) peso en fresco y el peso en seco mediante una balanza analítica. 6) Se recolectaron hojas en fresco para determinar la absorbancia de clorofila mediante el espectrofotómetro.

#### 1.5 Condiciones ambientales

Se tomaron en cuenta también parámetros como de temperatura (°C); esta se midió con un termómetro ambiental, el cual se midió con un termótro digital Proskit MT-132 y se obtuvo una temperatura que oscilaba entre 17 y 22 °C, la humedad relativa (%) fue medido de manera manual que su obtuvo una humedad relativa que iba desde 39% a 60%, además estos datos fueron captadas por un sistema Arduino que permitió almacenar esta información en una base de datos para posteriormente ser analizado. Finalmente se determinó la iluminación PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa mediante un instrumento de medida en unidades) Hydrofarm Quatum PAR metermicromol sensor.

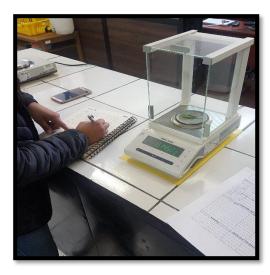
Peso en fresco: se tomó el peso en fresco de la raíz y del tallo por separado en una balanza analítica de marca Mettler Toledo, dando resultados expresados en gramos. Peso en seco: el secado de las plantas se realizó en un horno eléctrico de marca Fisher a una temperatura de 85°C por 48 horas, luego se tomó el peso en seco de la raíz y el tallo de las plantas por separado en la balanza analítica que dieron resultados expresados en gramos.

Extracción de clorofila: la espectrofotometría UV-VIS es un protocolo que facilita la identificación de las diversas sustancias mediante la absorbancia, para nuestro proyecto se utilizó esta técnica para determinar el nivel de absorbancia de clorofila en las hojas de amaranto bajo las diferentes longitudes de onda (Martín, J. & Castañeda, J. 2016). Los valores de absorbancia comprenden entre 0,5 y 1,5 unidades si sobrepasa estos valores significa que los pigmentos están demasiados concentrados y hay que diluirlos (Küpper, M; et al. 2000).

La extracción se realizó en los laboratorios de la Universidad del Azuay, junto a la Dr. Aida Cazar. Se trituraron las hojas frescas y se tomó 50 ml de la mezcla acetona-agua, luego la solución obtenida se filtró y se recogió en un matraz de 25 ml, la cual fue llevada a un espectrofotómetro para que se estabilice. Se tomó 2ml de acetona y se colocó en la cubeta de cuarzo, luego se procedió a leer la absorbancia. La lectura se hizo a 670 nm en donde se determinó la absorbancia por cada color.

Área foliar: es una variable definida como el área total de una cara del tejido fotosintético por unidad de terreno (Aguirre-Salado et al, 2011).

Para medir el área foliar se utilizó el programa Image J, para esto se escogió tres plantas por cada color de manera aleatoria, de estas plantas se escogieron tres hojas de diferentes tamaños, una grande, una mediana y una pequeña, se procedió a pegarle en una cartulina y escanear. La imagen se procesó mediante el software haciendo un contraste de sombras y dio los resultados del perímetro en cm y del área en cm<sup>2</sup>.



**Figura 4** Toma de peso en fresco de las hojas

#### 1.7 Sistema de lectura externa

Sistema Arduino: el Sistema Arduino es una plataforma de hardware libre creada en 2005, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinares para obtener datos como temperatura y humedad se necesitan sensores que puedan captar dicha información, para este proyecto se usó sensores de temperatura y humedad Dth, este sensor es capaz de representar digitalmente la humedad ambiental representando en % y la temperatura en °C, posee una gran precisión decimal y se lo puede colocar en el exterior (Lledó, 2012). Para este proyecto se utilizó para la captura de información de la temperatura y humedad relativa cada 15 minutos, posteriormente la información obtenida se guardó en una base de datos de Excel.

PAR: Es la Radiación Fotosintéticamente Activa. Existe una relación integral entre el número de moléculas foto químicamente modificadas y el número de fotones absorbidos dentro de una banda de onda particular de manera independiente de la energía del fotón (Rabinowitch, 1951) se registró la Radiación Fotosintéticamente Activa o PAR (Photosynthetically Active Radiation) sobre las hojas.

Con los datos de crecimiento, se realizó un análisis estadístico para correlacionar la información de crecimiento versus PAR.

#### **CAPITULO 2**

#### **RESULTADOS**

Los datos recolectados muestran que las plantas bajo la influencia del color azul su crecimiento es mayor, presentando una media de 14,1 cm (Tabla 2) sin embargo, muestran un comportamiento poco homogéneo. Se puede observar que las plantas bajo la influencia de la luz color rojo presentan una media de 3,6 cm (Tabla 2) mostrando que no influye mucho en el crecimiento de la planta. Los resultados también muestran que para plantas que se encuentran bajo la influencia del color verde poseen una media de 7,6 cm (Tabla 2) y crecen de manera homogénea.

Tabla 2 Medidas de crecimiento de los diferentes colores de luz LED

COLOR	MEDIDAS DE CRECIMIENTO (cm)
LUZ AZUL	14,1
LUZ VERDE	7,6
LUZ ROJA	3,6

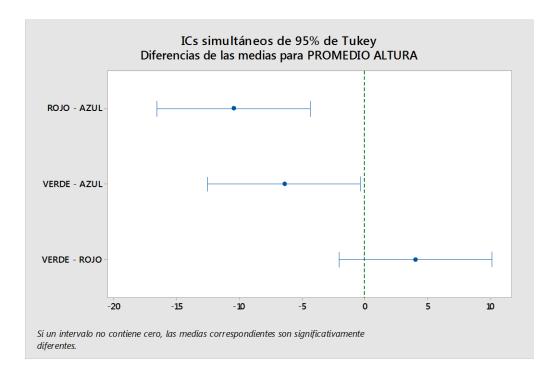
Se detecta que el color azul influye en el crecimiento de la planta, y existe evidencia estadística para corroborarlo a través de un estudio ANOVA donde con un p-valor menor a 0 (Tabla 3) se puede determinar que hay evidencia estadística suficiente para inferir que las medias de altura de crecimiento se encuentran influenciadas por el color azul.

**Tabla 3** Altura de Plantas

**ALTURA DE PLANTAS (CM) (N=9)** 

COLOR	Mín	Máx	Media	DE	CV	C.mensual	Mediana	Asimetría	Curtosis
AZUL	6,2	29,31	14,1	8,7	62,1	2,9	10,8	1,02	-0,43
ROJO	2,4	5,594	3,6	1,5	41,1	0,5	2,4	0,42	-2,18
VERDE	6,3	10,18	7,6	1,4	18,6	0,5	7,1	1,16	0,01

Se realizó un análisis de comparaciones de pares a través de la prueba de Tukey (Figura 5) y se detectó que las diferencias significativas entre colores fueron entre el azul y rojo y el verde y rojo.



**Figura 5** Prueba de Tukey

#### Regresión de subconjuntos en Altura Promedio

Se realizó un análisis de subconjuntos para validar diversos escenarios, los resultados se validarán en función del Cp de Mallows (Tabla 4), se puede observar que tiene mayor influencia el parámetro PAR sobre el crecimiento de la planta, Se puede suponer que el factor PAR es de alta relevancia para la modelación, para validar esta información se verificaron los siguientes supuestos estadísticos:

Tiempo (A), Humedad relativa (B), Temperatura en el centro de la cabina (C), Temperatura sobre la planta (D), PAR sobre la planta (E).

**Tabla 4** Prueba Cp de Mallows

VARS	R-CUAD.	R-CUAD.	<b>PRESS</b>	R-CUAD.	CP DE	$\mathbf{S}$	A	В	C	D	$\mathbf{E}$
		(AJUST)		(PRED.)	MALLOWS						
1	56,3	54,5	615,7	46,1	9,6	4,4710					X
2	66,0	63,2	506,2	55,7	4,4	4,0236	X				X
2	57,8	54,3	644,8	43,6	10,5	4,4831				X	X
3	68,3	64,2	605,2	47,1	4,7	3,9694	X	X			X
3	66,3	61,9	543,6	52,4	6,2	4,0924	X			X	X
4	70,9	65,7	631,7	44,7	4,7	3,8855	X	X		X	X
4	68,7	63,0	674,4	41,0	6,4	4,0354	X	X	X		X
5	71,9	65,2	655,3	42,7	6,0	3,9132	X	X	X	X	X

En la parte superior derecha de la Figura 6 de residuos para PROMEDIO ALTURA, se observan el comportamiento ortogonal de los datos, a pesar de que la aleatoriedad es notoria se observa que hay un punto que se encuentra sesgando el sistema. Al revisar el punto se verificó que pertenece al último punto de crecimiento de promedio ALTURA debido a la influencia del color azul.

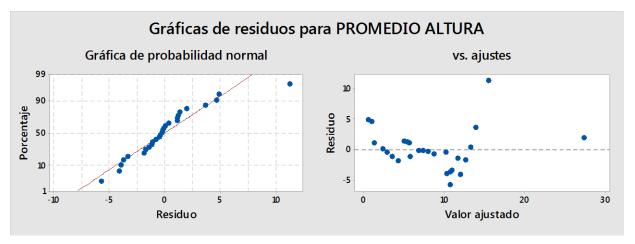


Figura 6 Residuos para Promedio de Altura

Se puede observar que la regresión del tiempo, PAR y color dan una contribución del crecimiento de un 73% aproximadamente, sin embargo, existe un error del 27 % que indica que existe una variable que no fue controlada (Tabla 5).

Tabla 5 Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	p
Regresión	4	842,93	73,74%	842,93	210,73	15,45	0,000
TIEMPO	1	260,10	22,75%	92,22	92,22	6,76	0,016
PAR	1	494,42	43,25%	81,82	81,82	6,00	0,023
COLOR	2	88,41	7,73%	88,41	44,20	3,24	0,058
Error	22	300,14	26,26%	300,14	13,64		0,000
Total	26	1143,07	100,00%				

A continuación, se muestran indicadores del comportamiento de la varianza, y validación del modelo, adicional se muestran los coeficientes de la ecuación de regresión con sus respectivos análisis, Los resultados explican que:

El valor de inflación de la varianza (FIV) al no tener valores similares cercanos al número de factores seleccionados indica que faltan variables de interés en el estudio que no fueron analizadas (Tabla 6).

**Tabla 6** Comportamiento de la varianza

Término	Coef	EE del coef.	IC de 95%	Valor T	Valor p	FIV
Constante	-3098	1178	(-5541; -655)	-2,63	0,015	
TIEMPO	0,0711	0,0274	(0,0144; 0,1278)	2,60	0,016	1,32
PAR	0,348	0,142	(0,053; 0,643)	2,45	0,023	5,94
Color						
ROJO	-2,72	3,61	(-10,20; 4,77)	-0,75	0,459	5,73
VERDE	1,69	3,75	(-6,08; 9,46)	0,45	0,657	6,18

Las ecuaciones (Tabla 7) muestran un valor intercepto alto y negativo lo que se podría interpretar como la necesidad de tener un punto base de control antes de iniciar el experimento, es decir que las plantas tengan una altura mínima antes de iniciar con el control.

Tabla 7 Ecuaciones de regresión

#### **COLOR**

AZUL	PROMEDIO ALTURA	=	-3098 + 0,0711 FECHA + 0,348 PAR SOBRE LA PLANTA
ROJO	PROMEDIO ALTURA	=	-3101 + 0,0711 FECHA
			+ 0,348 PAR SOBRE LA PLANTA
			,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
VERDE	PROMEDIO ALTURA	=	-3097 + 0,0711 FECHA
LINDL		_	,
			+ 0,348 PAR SOBRE LA PLANTA

Para el crecimiento comparado de las plantas bajo luz natural, se pudo comprobar que estas crecieron de manera homogénea (Figura 7) lo que no demuestra que bajo la influencia de luz natural crecen de la misma manera que bajo la influencia de la luz azul, no se realizaron pruebas comparativas ya que de este tratamiento solo se tenía una población de cinco plantas.

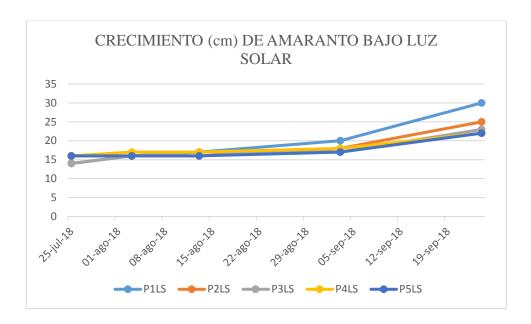


Figura 7 Crecimiento de Amaranto bajo luz solar.

Se recolectaron otros tipos de datos que ayudó a saber cómo se encuentra el desarrollo de la planta y se obtuvo los siguientes resultados, hay que destacar que a estos datos se les aplico una prueba ANOVA y una prueba de pares TUKEY y se reportó lo siguiente:

Para el diámetro de los tallos en la prueba ANOVA existe una diferencia significativa en el diámetro del tallo alto teniendo un valor P de 0,001 (Tabla 8).

**Tabla 8** Prueba ANOVA de los diámetros de tallo.

	Nat	ural		Azul		Verde		Rojo					
	Rango	M	DE	Rango	M	DE	Rango	M	DE	Rango	M	DE	Valor P
Diámetro	5,16-11,12	7,48	3,19	3,74-	4,	0,80	2,45-	3,	1,0	0,96-	1,7	1,0	0,054
tallo bajo				5,30	41		4,62	48	9	2,50	3	9	
Diámetro	3,85-14,00	7,34	5,77	3,96-	4,	0,34	3,19-	3,	1,1	1,80-	2,5	1,1	0,426
tallo				4,64	27		5,28	98	4	3,38	9	2	
medio													
Diámetro	3,26-3,70	3,48	0,22	2,93-	3,	0,33	2,14-	2,	0,2	1,54-	1,7	0,2	0,001
tallo alto				3,58	22		2,72	42	9	1,92	3	7	

Al realizar la prueba de pares (Tabla 9) la se encontró que la diferencia significativa se reporta bajo la luz rojo al comparar con la luz natural y luz azul, teniendo una diferencia significativa de p=0,001 en luz natural y p=0,003 en luz azul.

**Tabla 9** Prueba de Tukey para Diámetro de tallo

Va	riable dependiente		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	
		Azul	3,07667	1,54914	0,278	
D''	Natural —	Verde	4,00000	1,54914	0,130	
Diámetro de	_	Rojo	5,75333*	1,73199	0,049	
tallo parte _ baja	Azul	Verde	0,92333	1,54914	0,930	
vaja	Azui	Rojo	2,67667	1,73199	0,463	
_	Verde	Rojo	1,75333	1,73199	0,748	
		Azul	3,07667	2,59288	0,653	
Diámetro do	Natural	Verde	3,36667	2,59288	0,592	
Diámetro de		Rojo	4,75333	2,89893	0,417	
tallo parte _ media		Verde	0,29000	2,59288	0,999	
meuia	Azui	Rojo	1,67667	2,89893	0,935	
_	Verde	Rojo	1,38667	2,89893	0,962	
		Azul	0,26000	0,22987	0,684	
<i>Diá</i> metro de tallo parte _ alta	Natural —	Verde	1,06000*	0,22987	0,010	
	_	Rojo	1,75333*	0,25700	0,001	
		Verde	0,80000*	0,22987	0,040	
	Azul <u> </u>	Rojo	1,49333*	0,25700	0,003	
_	Verde	Rojo	0,69333	0,25700	0,111	

Se midió la distancia internudos (Tabla 10) se encontraron diferencias significativas en la distancia de internudos en la parte media donde se observa un valor p=0,01 y en la distancia internudos de la parte alta con p=0,01.

Tabla 10 Prueba ANOVA en distancia de internudos.

	N	Vatura	l		Azul		V	erde		R	<b>Cojo</b>		
	Ran g	M	DE	Rang	M	DE	Rango	M	DE	Rango	M	DE	Valor P
Internudos bajo	1,5- 5,00	2.8	1.8	4,50 - 8,50	6.5	2.0	1,5-4,0	2.5	1.3	2,00- 2,50	2.2	0.3	0.05
Internudos medio	2,00 - 3.00	2.3	0.5	6,50 - 12,0	8.5	3.0	2,00- 4,00	3.0	1.0	3.00	3.0	0.0	0.01
Internudos alto	1,00 - 2,50	1.6 7	0.7 6	4,00 - 5,50	4.5	0.8 7	2,00-2,5	2.1	0.2 9	2,00- 3,00	2.5	0.7	0.01

Al aplicar la prueba de pares de Tukey (Tabla 11), se encontraron diferencias significativas al comparar la distancia internudos en la parte media entre la luz natural y la luz azul presentando un p=0,01, entre la luz azul y luz verde con un valor p=0,02, luz azul y luz roja con un valor p=0,04 y en la distancia internudos parte alta al comparar entre luz natural y luz azul presentando un diferencia p=0,01, entre luz azul y verdes con una diferencia de p=0,02.

Tabla 11 Prueba Tukey en la distancia de internudos.

Vari	able dependi	ente	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
		Azul	-3,6667	1,34	0,11
Distancia	Natural	Verde	0,3333	1,34	0,99
internudos		Rojo	0,5833	1,50	0,98
parte baja	Azul	Verde	4,0000	1,34	0,08
	AZui	Rojo	4,2500	1,50	0,09
-	Verde	Rojo	0,2500	1,50	1,00
		Azul	-6,1667*	1,42	0,01
Distancia	Natural	Verde	-0,6667	1,42	0,96
Internudos		Rojo	-0,6667	1,59	0,97
parte	Azul	Verde	5,5000*	1,42	0,02
media	AZui	Rojo	5,5000*	1,59	0,04
-	Verde	Rojo	0,0000	1,59	1,00
		Azul	-2,8333*	0,56	0,01
Distancia	Natural	Verde	-0,5000	0,56	0,81
Distancia internudos —		Rojo	-0,8333	0,63	0,58
	Azul	Verde	2,3333*	0,56	0,02
parte alta	AZui	Rojo	2,0000	0,63	0,06
_	Verde	Rojo	-0,3333	0,63	0,95

En las pruebas realizadas al conteo de número de hojas de cada muestra de plantas no se encontraron diferencias significativas tanto en el ANOVA (Tabla 12) y en la prueba de pares Tukey (Tabla 13).

**Tabla 12** Prueba ANOVA en N° de hojas

	N	atural		Azul		Verde			Rojo				
Ној	Rango	M	DE	Rang	M	DE	Rango	M	DE	Rango	M	DE	Valor P
a	12-	19.0	11.2	8-	13.3	4.6	12,00-	14.3	2.5	7,00-	14.0	9.9	0.80
	32,00	0	7	16,00	3	2	17,00	3	2	21,00	0	0	0.00

Tabla 13 Prueba de Tukey en el Número de hojas.

Var	riable dependi	ente	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
		Azul	5.67	6.23	0.80
	Natural		4.67	6.23	0.87
Numero de		Rojo	5.00	6.96	0.89
hojas	Azul	Verde	-1.00	6.23	1.00
	Azui	Rojo	-0.67	6.96	1.00
	Verde	Rojo	0.33	6.96	1.00

Al realizar la prueba de ANOVA (Tabla 14) de los pesos de las hojas en fresco no se encontraron diferencias significativas entre estas, se reporta un valor mínimo de p=0,05 en el peso de las hojas más grandes.

Tabla 14 Prueba ANOVA en el peso fresco de hojas

	Na	tural		A	zul		V	erde		R	lojo		
	Rango	M	DE	Rango	M	DE	Rango	M	DE	Rango	M	DE	Valor
	Rango	IVI	DE	Rango	171	DL	Rango	171	DL	Rango	1/1	DL	P
peso hoja	0,01-	0,0	0.0	0,03-	0.0	0.0	0,02-	0.0	0.0	0,01-	0.0	0.0	0.86
pequeña	0,07	4	3	0,05	3	1	0,06	4	2	0,03	2	1	0.80
peso hoja	0,21-	0,4	0.4	0,18-	0.2	0.0	0.12	0.1	0.0	0.06	0.0	0.0	0.29
mediana	0,94	5	2	0,26	1	4	0.12	3	2	0.00	6	0	0.29
peso hoja	0,52-	0,7	0.4	0,37-	0.5	0.1	0,19-	0.2	0.0	0,08-	0.1	0.0	0.05
grande	1,26	8	1	0,61	1	3	0,23	1	2	0,15	1	5	0.03

En la prueba de pares Tukey (Tabla 15) no se reportan diferencias significativas lo que quiere decir de las hojas poseían en mismo peso en estado fresco, cabe recalcar que se pesó una hoja por cada muestra.

**Tabla 15** Prueba Tukey en peso fresco de hojas

Var	iable dependi	ente	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
		Azul	0,00	0,02	1,00
	Natural	Verde	0,00	0,02	1,00
Peso hoja		Rojo	0,02	0,02	0,87
pequeña	Azul	Verde	0,00	0,02	1,00
	AZui	Rojo	0,01	0,02	0,89
-	Verde	Rojo	0,02	0,02	0,87
		Azul	0,24	0,19	0,59
	Natural	Verde	0,32	0,19	0,38
Peso hoja		Rojo	0,39	0,21	0,32
mediana	Azul	Verde	0,08	0,19	0,97
	AZui	Rojo	0,15	0,21	0,89
-	Verde	Rojo	0,07	0,21	0,99
		Azul	0,27	0,19	0,52
	Natural	Verde	0,57	0,19	0,08
Peso hoja		Rojo	0,67	0,21	0,06
grande	Azul	Verde	0,29	0,19	0,46
	AZUI	Rojo	0,40	0,21	0,32
-	Verde	Rojo	0,10	0,21	0,96

La prueba ANOVA aplicada al área foliar (Tabla 16) muestran diferencias significativas en las tres variables con un valor p=0,00, es decir las hojas varían su tamaño de acuerdo al tratamiento de luz aplicada.

Tabla 16 Prueba Tukey en peso fresco de hojas

	N	atural			Azul			Verde			Rojo		
	Rango	M	DE	Rang	M	DE	Ran	M	DE	Rang	M	DE	Valor
				0			go			0			P
A.F hoja	5,3-	6,40	1,05	0-	0,10	0,00	0,1-	0.2	0.1	0-	0,05	0,07	0,0
pequeña	7,40			0,10			0,4	0	7	0,10			
A.F hoja	18,2-	19,37	1.02	0,4-	0,63	0,40	0,3-	0.4	0.1	0,10-	0,25	0,21	0,0
mediana	20,10			1,10			0,5	0	0	0,40			
A.F hoja	50,4-	54,90	6.86	1,30-	1,63	0,29	0,7-	0.8	0.2	0,10-	0,3	0,28	0,0
grande	62,80			1,80			1,2	7	9	0,50			

Al aplicar la prueba de pares Tukey (Tabla 17) se encontraron diferencias significativas en el área foliar de las hojas pequeñas entre las luz natural y luz azul son un p=0,00; entre las luz natural y luz verde una deferencia significativa de p=0,00 y entre luz natural y luz roja con un valor p=0,00; de igual manera se observa con área foliar de las hojas medianas al comparar la luz natural y los diferentes tratamientos de luz en todas dando un valor p=0,00; de igual manera el mismo valor p=0,00 para el área foliar de hoja grande entre la luz natural y los otros tratamientos de luz.

Tabla 17 Prueba de Tukey en Área Foliar.

Var	iable dependic	ente	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
		Azul	6,3000*	0,47	0,00
	Natural	Verde	6,2000*	0,47	0,00
A.F hoja		Rojo	6,3500*	0,52	0,00
pequeña	Azul	Verde	-0,1000	0,47	1,00
	AZui	Rojo	0,0500	0,52	1,00
	Verde	Rojo	0,1500	0,52	0,99
		Azul	18,7333*	0,49	0,00
	Natural	Verde	18,9667*	0,49	0,00
Á.F hoja		Rojo	19,1167*	0,54	0,00
mediana	Azul	Verde	0,2333	0,49	0,96
	AZui	Rojo	0,3833	0,54	0,89
	Verde	Rojo	0,1500	0,54	0,99
		Azul	53,2667*	3,00	0,00
	Natural	Verde	54,0333*	3,00	0,00
A.F hoja		Rojo	54,6000*	3,36	0,00
grande	Δ 7111	Verde	0,7667	3,00	0,99
	Azul	Rojo	1,3333	3,36	0,98
	Verde	Rojo	0,5667	3,36	1,00

Se realizó la prueba ANOVA (Tabla 18) para los pesos tomados en estado fresco y en estado seco de la biomasa aérea (tallo) y subterránea (raíz), se puede observar que los pesos en estado fresco de la raíz presenta una diferencia significativa de p=0,00; y los mismo presenta en el estado seco de la raíz con una diferencia significativa de p=0,00; mientras que para el peso en fresco y seco del tallo no existe diferencia significativa.

Tabla 18 Prueba ANOVA de los pesos en estado fresco y seco.

		PESC	OS DE BIO	OMASA EN E	STADO FRES	SCO Y SEC	0			
				Raíz		Tallo				
Estado		Natural	Azul	Verde	Rojo	Natural	Azul	Verde	Rojo	
	Danas	3,33-	0,00-	0.00.0.19	0.01.0.04	3,42-	0,17-	0,12-	0.67.2.79	
	Rango	13,29	0,47	0,00-0,18	0,01-0,04	4,41	14,24	4,14	0,67-2,78	
Fresco	Media	8,41	0,15	0,04	0,02	3,99	4,19	1,51	1,73	
	DE	4,98	0,18	0,07	0,02	0,51	4,66	1,72	1,49	
	Valor p			0,000		0,532				
	Rango	0,01-0,04	47,4-	32,42-50,22	51,13-65,57	3,55-	0,46-	3,99-	3,12-	
	Kango	0,01-0,04	70,08	32,42-30,22	31,13-03,37	9,44	16,48	4,03	15,22	
Seco	Media	0,02	55,67	44,63	58,35	7,2	6,39	6,24	9,17	
	DE	0,02	6,39	8,41	10,21	3,19	4,76	2,09	8,56	
	Valor p			0,000	•		0,8	7		

Aplicando la prueba de pares Tukey (Tabla 19) se encontró que en estado fresco existen diferencias significativas en el peso de la raíz entre la luz natural y los diferentes tipos de tratamientos dando un valor p=0,00, es decir, en estado natural la raíz pesaba más que bajo los diferentes tratamientos y no se observan diferencias significativas bajo los diferentes tratamientos.

Tabla 19 Prueba de pares de los pesos en estado fresco.

Va	ariable dependie	ente	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
		Azul	8,26779*	1,12	0,00
	Natural	Verde	8,37047*	1,25	0,00
Raíz		Rojo	8,39330*	1,57	0,00
Kaiz	Azul	Verde	0,103	0,93	1,00
	AZUI -	Rojo	0,126	1,32	1,00
	Verde	Rojo	0,023	1,44	1,00
	Natural	Azul	-0,204	2,41	1,00
		Verde	2,475	2,70	0,80
Tallo		Rojo	2,259	3,37	0,91
1 ano	Azul	Verde	2,679	1,99	0,55
		Rojo	2,463	2,84	0,82
	Verde	Rojo	-0,216	3,09	1,00

En la prueba de pares (Tabla 20) de peso en seco se muestran diferencias significativas entre el peso en seco de la raíz bajo el tratamiento de luz natural y los diferentes tratamientos de luz LED, mientras que entre los diferentes tratamientos no existen diferencias significativas.

Tabla 20 Prueba de pares de los pesos en estado seco.

Var	iables dependic	entes	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	
		Azul	-49,92913*	5,25314	0,000	
	Natural	Verde	-38,89023*	6,15985	0,000	
Raíz		Rojo	-52,61157*	7,36243	0,000	
TWIE	Azul	Verde	11,03890	4,70902	0,129	
	7 IZUI	Rojo	-2,68244	6,19972	0,972	
	Verde	Rojo	-13,72134	6,98461	0,242	
		Azul	0,80988	2,97195	0,993	
	Natural	Verde	0,95847	3,48492	0,992	
Tallo		Rojo	-1,96511	4,16528	0,964	
1 ano		Verde	0,14859	2,66412	1,000	
	Azul	Rojo	-2,77499	3,50748	0,857	
	Verde	Rojo	-2,92358	3,95153	0,880	

Clorofila: Como se puede observar en la tabla la luz color azul y rojo tienen una mayor absorbancia lo que nos indica que el pigmento verde se encuentra concentrado, mientras que el color verde y natural presentan una absorbancia menor lo que nos indica que el pigmento verde se encuentra no se encuentra tan concentrado lo que indica una buena absorbancia de luz (Tabla 21).

Tabla 21 Absorbancia de clorofila

CLOROFILA Absorbancia 670nm							
Rojo	0,13322						
Azul	0,13523						
Verde	0,08458						
Luz natural	0,06429						

## **CAPITULO 3**

## **DISCUSION**

El objetivo fue evaluar tres longitudes de onda que son azul, verde y rojo en el crecimiento del amaranto a un tiempo de exposición de 12 horas, para acelerar el proceso de germinación y crecimiento del cereal *Amaranthus caudatus* variedad Alegría.

Como se observa en los resultados el crecimiento de Amaranto es superior en plantas que están bajo la influencia de luz LED color azul, esto concuerda con otro estudio en donde explican que el color azul fue beneficioso para el crecimiento de tomate cherry (Casierra, F. & Peña, J. 2015). Matsuda, et al, (2008), encontraron que la luz azul se puede convertir en un estímulo que induce las respuestas de aclimatación de la plantas, encaminando la distribución de energía del fotosistema II y ayuda a la asimilación de CO2 en condiciones de alta radiación. Para los colores verde y rojo la germinación y el crecimiento fue poco, concordando con otra investigación realizada con *Zea mays* que es una planta C4 en donde se reporta que bajo la luz LED color rojo el crecimiento de la planta fue bajo en comparación con la luz azul y verde (López, 2017). A pesar de que las plantas de Amaranto crecieron dentro de su ciclo de 180 días (Peralta, 2012), no se logró obtener el grano para realizar pruebas de proteínas y aminoácidos.

Otra variable a considerar es el fotoperiodo, dentro de nuestra investigación fue de 12/12, sin embargo en investigaciones anteriores hablan de que el fotoperiodo ideal en condiciones controladas para *Amaranthus caudatus* es de una exposición de día corto y noche larga, el autor recomienda una exposición a la luz de 8 horas y 16 horas de no exposición a luz (Cabrera, 1986); Existen varios problemas que se pueden presentar por la exposición prolongada de luz como la caída de hojas, clorosis que es la falta de clorofila en las hojas ya que no tiene los nutrientes necesarios e incluso el crecimiento retardado de la raíz (Cabrera, 1986); durante el estudio se pudo evidenciar este tipo de problemas, las plantas bajo la luz azul a medida de que crecían se pudo evidenciar este tipo de problemas. Sus hojas estaban muy débiles, empezaron a tornarse amarillas y al momento de sacar las plantas su raíz era pequeña, de igual manera se observó con las plantas bajo la luz verde y roja. Luego de 6 meses se observó que las plantas no llegaron

a florecer y esto se puede explicar pues algunos autores afirman que *Amaranthus* caudatus después de 30 días a partir de la germinación, se puede inducir en 2 días a la formación del primordio floral en donde se forman las células que darán origen a los órganos reproductores de la planta, además reportan que esta especie puede florecer bajo un fotoperiodo de 18 horas de exposición a la luz ya que está en una edad de recepción sensible, pero se debe regular poco a poco con días cortos para que tengan un desarrollo floral normal (Zabka, 1961), otros autores concluyen que inducir un fotoperiodo de 8 horas, origina un incremento en las proteínas de hojas y tallos además acelera el inicio de la floración (Kohli, 1980).

En cuanto al diámetro del tallo, la distancia entre internudos, el peso fresco de la hojas, y área foliar de las plantas son parámetro que nos ayudan a saber cómo se encuentra el desarrollo de la planta y se pudo observar que existen diferencias significativas, es decir, bajo la luz natural la distancia de internudos es menor, pero bajo luz azul la distancia de internudos es mayor, en cuanto al peso en fresco de las hojas bajo la luz natural llegan a pesar hasta un gramo, mientras que bajo los diferente tipos de tratamientos de luz el peso de la hojas es menor a un gramo, el área foliar medido en cm<sup>2</sup> se observa que bajo luz natural las hojas tuvieron un área mayor a 50 cm<sup>2</sup>, mientras que bajo las diferentes luces el área es mayor a 1,8 cm<sup>2</sup>; en un estudio realizado afirman que cuando el crecimiento de la planta comienza a incrementar bajo determinado tratamiento de luz por lo general hay un aumento también de la producción y calidad del producto cultivado, ya que la calidad de la luz genera este efecto positivo en la planta cultivada de esta manera aumenta la eficiencia fotosintética bajo estas condiciones particulares, entonces el parámetro como el aumento del área foliar, es un comportamiento fisiológico de la planta para aumentar la superficie fotosintética y capturar de manera más eficaz la energía lumínica y el resultado será el engrosamiento del tallo, el aumento del peso de las hojas, lo que se explica cómo un aumento de producción y calidad del producto (Casierra-Posada, Peña-Olmos. 2015), bajo este argumento los parámetros medidos en las plantas de Amaranto bajo los diferentes tratamientos no presentaron una buena calidad de luz, ya que estos parámetros medidos fueron inferiores al comparar con la planta control que se encontraba bajo luz natural. La calidad de luz es un factor del cual depende mucho el desarrollo fisiológico de la planta como los parámetros ya comentados, en algunos

estudios el PAR medido es superior a 200 µmol m-1 s-1, mientras que en el proyecto el PAR medido fue superior a 100 µmol m-1 s-1, demostrando que la calidad de la luz influye en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Kendrick y Frankland (1969) quienes trabajaron con *Amaranthus caudatus*, informan que luego de aplicar un tratamiento con luz roja a un rango de 660 nm, los fitocromos comienzan a decrecer en la oscuridad y aunque se aplica luz roja de alta intensidad estos ya no absorberán y por lo tanto no se desarrollarán de manera normal, lo que explicaría la falta de crecimiento en las plantas bajo la influencia de la luz LED roja.

Al realizar las pruebas de absorbancia en el espectrofotómetro obtuvo que le menor absorbancia es bajo la luz LED de color verde, mientras que en las muestras de color azul y rojo se observó una absorbancia elevada. El contenido de clorofila ya que se correlaciona con la fotosíntesis, la reducción de la producción de clorofila se le atribuye como una respuesta al estrés que esté sometida la planta y esto es perjudicial para el proceso fotosintético ya que reduce la fijación de carbono, por esta razón es importante conocer el contenido de la clorofila en las plantas para entender cómo responde la planta ante el cambio de las condiciones ambientales (González, A. 2009). Aunque se conoce que el espectro de la luz de LED rojo está cerca de los 660 nm lo que se encuentra cerca de la absorbancia máxima de la clorofila y de los fitocromos, las plantas se han adaptado para utilizar espectros de luz más amplios y realizar la fotosíntesis. La luz LED verde se conoce que reducen la fotosíntesis ya que reduce la apertura de los estomas (Munner S, et al. 2014).

La luz influye de igual manera en el peso en seco de la planta. Las plantas de muchos cultivos y que son de interés agrícola muestran variaciones en la producción de biomasa cuando se ve afectada la calidad de la luz (Casierra & Posada, 2015). Una raíz vigorosa indica un desarrollo normal del crecimiento, indica que la planta está absorbiendo la cantidad de agua y minerales necesarios para su desarrollo, pero por el contrario un tallo que se alarga de manera rápida con baja irradiación se puede decir que no está absorbiendo la cantidad de agua o los minerales necesarios para su crecimiento. Las raíces pobres no pueden suministrar la cantidad de agua necesaria a los brotes entonces se habla de que la relación Tallo/Raíz no son la adecuadas para el crecimiento (Kuan-

Hung, et al. 2012). En el estudio se observó que bajo la influencia de luz LED de color azul, verde y roja esta relación de T/R se vio muy afectada, para los colores verde y roja se observó que el crecimiento fue limitado, mientras que para el color azul se pudo observar que existió una elongación rápida del tallo, sin embargo, al sacar las muestras para realizar el proceso de biomasa se observó que las raíces eran pequeñas y pesaban menos que el tallo, lo que nos indica que la raíz no estaba suministrando los nutrientes necesarios para la planta.

El uso de iluminación artificial con un sistema de luz LED es de mucho interés en el mercado actual de los cultivos, incluso la NASA se ha interesado en este tipo de producción. Al ser económicas, la reducción de consumo de energía y su larga vida útil los LED se convierte en una alternativa viable para la producción de cultivos. Sin embargo, en varios estudios realizados sobre Amaranto en específico *Amaranthus tricolor* influenciados por un sistema de luz LED, se logra obtener información sobre su crecimiento pero no se llega a conocer sobre la producción de semilla y su valor nutricional.

## **CAPITULO 4**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio tuvo como objetivo conocer como en este pseudocereal se veía afectado en su desarrollo y crecimiento bajo un sistema de luz LED (azul, verde y rojo). Los resultados mostraron que bajo la influencia de la luz azul la planta llego a crecer, sin embargo, su desarrollo no fue bueno ya que al compararlo con la planta control poseía menos peso en seco tanto en raíz como en el tallo, de igual manera se pudo observar bajo la influencia de la luz LED verde en donde la planta no creció como bajo el tratamiento de luz azul. Mientras que en el tratamiento de luz roja a pesar de que realizaron pruebas de germinación en cajas Petri que nos dieron resultados positivos, cuando se sembraron las semillas en la tierra estas geminaron muy pocas y llegaron a sobrevivir dos plantas de dos macetas diferentes, las otras plantas emergieron, pero al mes murieron. Como se explica la calidad de la luz y la intensidad es clave para que exista un buen desarrollo de las plantas sobre todo en cereales como el Amaranto, la falta de desarrollo de la planta se debe a que la calidad e intensidad de luz no fue la adecuada ya que se reportaron valores bajos de intensidad (PAR) el máximo fue de 120 PAR bajo luz azul, mientras que el mínimo fue de 70 PAR bajo la luz verde, otros estudios indican que el valor máximo debe ser de 200 PAR para que se dé un buen desarrollo de la planta. Es necesario seguir con más investigaciones sobre esta planta ya que es de interés nacional e internacional y estaciones científicas como la NASA están interesados en esta especie ya que posee altos valores nutricionales y puede ser utilizado para viajes espaciales. Se debe mejorar la calidad de la luz ya que bajo la luz azul que tuvo una intensidad de 190 PAR la planta llego a crecer de manera rápida llegando a tener su inflorescencia desarrollada pero no se produjo flores que dan origen a las semillas, sin embargo, su desarrollo como del tallo, las hojas y raíz se pudo observar que fueron bajos, en las plantas que estuvieron bajo la influencia de luz verde no crecieron de manera acelerada, tampoco se observó el desarrollo de la inflorescencia y la absorbancia de clorofila es baja, mientras que para la luz LED rojo hubo pocas plantas que germinaron pero no se desarrollaron. Los estudios que se realizan es utilizando Amaranthus tricolor del cal no llega a determinar la producción de semilla, lo fundamental de estos estudios es la mezcla de colores ya que

se demostró que combinando los colores azul y rojo y colocando las luces de manera vertical y en la parte superior de las plantas y recomendaron que este sería el mejor tratamiento para la aumentar la productividad del Amaranto. Se recomienda realizar combinaciones de colores con luz LED ya que en varios estudios afirman que mejora el crecimiento y desarrollo de la planta, dando bueno resultado, también se recomienda trasplantar las plantas de un tamaño adecuado para que pueden desarrollarse de mejor manera, también se debería ampliar el tiempo para una nueva investigación ya que dentro de los 180 días no se pudo determinar si existe o no producción de semilla. El proyecto puede generar datos muy interesantes sobre el valor nutricional del grano y sobre su producción.

### **BIBLIOGRAFIA:**

- Aguirre-Salado, C. A., Valdez-Lazalde, José R., Santos-Posadas, H. M. de los, Ángeles-Pérez, G., & Aguirre-Salado, A. I. (2011). Mapping Leaf Area Index and Canopy Cover Using Hemispherical. *Agrociencia*, 45, 105–119.
- Astolfi, S., Marianello, C., Grego, S., & Bellarosa, R. (2012). Preliminary investigation of LED lighting as growth light for seedlings from different tree species in growth chambers. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(2), 31–38.
- AULA. (1993). *Geografia e Historia del Ecuador* (2da ed.; S.A. de ediciones Cultura, ed.). Madrid. España.
- 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(0), 84. <a href="https://doi.org/10.18257/raccefyn.276">https://doi.org/10.18257/raccefyn.276</a>.
- Emilio, L. S. (2012). Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino (Universidad de Valencia). Retrieved from httpeie.ucr.ac.cr
- Fakuda N. (2013). Advanced light control technologies in protected horticulture: A review of morphological and physiological responses in plants to light quality and its application. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture*, 8, 32–40.
- Folta, K.M. 2004. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition. Plant Physiol. 135: 1407-1416.
- González, Á. (2009). En Programas De Mejora De Trigo Y Cebada. 111–116.
- H. Küpper, M. Spiller, and F. C. K. (2000). Anal Biochem. In *Photometric method for* the quantification of chlorophylls and their derivatives in complex mixtures: fitting with Gauss-peak spectra. (Vol. 286).

- Jao, R. C.; Fang, W. (2003) An adjustable light source for photo phyto related research and young plant production, American Society of Agricultural Engineers, 16 (5): 601-608.
- Jao, R. C.; Lai, C. C.; Fang, W.; Chang, S. F. (2005) Effects of Red light on the Growth of Zantedeschia plantlets in vitro and Tuber Formation Using Light- emitting Diodes, HortScience, 40 (2): 436-438.
- John P. Délano-Frier y Norma A. Martínez-Gallardo. (2012). El transcriptoma de Amaranthus hypochondriacus L.: una poderosa herramienta para profundizar en su conocimiento y aprovechamiento. In *Amaranto: ciencia y tecnología* (pp. 31–48).
- Kendrick, Richard E. y Franklan, B. (1969). The in vino properties of Amarathus phytocromo. *Plant Journal*, *86*, 21–32.
- Kohli, R.K, Sawhney, N. y Sawhney, S. (1980). Photoinduced changes in proteins associated with flora induction in *Amaranthus caudatus*. *Plant and Cell Physiology*, 21, 1483–1498.
- Lazo, V., & Ascencio, J. (2010). CRECIMIENTO DE Cyperus rotundus. 22(2), 153–158.
- Lin, K. H., Huang, M. Y., Huang, W. D., Hsu, M. H., Yang, Z. W., & Yang, C. M. (2012). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (Lactuca sativa L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, *150*, 86–91. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002
- López, E. J. O. (2017). Efecto de la irradiación LED con diferentes longitudes de onda sobre la germinación de semillas de maíz (Zea Mays). Retrieved from http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42606/ERICK JONATHAN ORTIZ LÓPEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- López, J. C. (2015). EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN AMARANTO (Amaranthus caudatus); GUAZACAPÁN, SANTA ROSA. UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS.
- Lopez-Mejia, O. A., Lopez-Malo, A., & Palou, E. (2013). Antioxidant capacity of byproducts from amaranth (Amaranthus hypochondriacus) seeds. *Archivos Latinoamericanos De Nutricion*, 64(1), 9.
- Martin Calvo, J. F., & Castañeda Gómez, J. A. (2017). Análisis de la clorofila de spinacia oleracea y cuantificación de albumina de espagueti utilizando espectrofotometría. *UGCiencia*, 22(1), 99. https://doi.org/10.18634/ugcj.22v.1i.597
- Massa, G. D.; Kim, H.; Wheeler, R. M.; Mitchell, C. A. (2008) Plant Productivity in Response to LED Lightening, HortScience, 43 (7): 1951-1956.
- Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., Kurata, K. (2008). Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO2 Assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant and Cell Physiology*, 49, 664–670.
- Munner S, Kim EJ, Parks JS, L. J. (2014). Influence of green, red and blue light-emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa L.*). *International Journal of Molecular Sciences*, 15(4657), 70.
- Nieto Cabrera, C. (1989). Publicación Miscelánea No.52 Estación Experimental " Santa Catalina " Septiembre, 1989. (52), 25. Retrieved from http://190.12.16.188/bitstream/41000/2688/1/iniapscpm52.pdf
- Paniagua-Pardo, G., Hernández-Aguilar, C., Rico-Martínez, F., Domínguez-Pacheco, F. A., Martínez-Ortiz, E. J., & Martínez-González, C. L. (2015). Efecto de la luz LED de alta densidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli. *Polibotánica*, (40), 199–212. https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13.

- Paucar-Menacho, L. M., Peñas, E., Dueñas, M., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2017). Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (Amaranthus caudatus) using response surface methodology. LWT Food Science and Technology, 76, 245–252. <a href="https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.038">https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.038</a>
- Rabinowitch, E. . (1951). Photosyn- thesis and related processes. In *Inter.sciencie*. New York.
- Sanchéz, A. (1980). Potencialidad agroindustria del Amaranto. In *Centro de Estudios* económicos y sociales del tercer mundo. Mexico.
- Shoji, K.; M. Johkan, F. Goto, S. Hashida, y T. Yoshihara, 2010. "Blue Light emitting Diode Light Irradiation of Seed- lings Improves Seedling Quality and Growth after Transplanting in Red Leaf Lettuce". Hortscience, 45(12): 1809-1814.
- Shuan, L.; Joshi, R. (1985). Amaranth. Modern Prospects for an Ancient Crop. Rodale Press. E.U.A.
- Sumar, L. 1993. La Kiwicha y su cultivo. Centro de Estudios Regionales Andinos "Bartolomé de Las Casas "– Cusco. 79 p.
- Valentin, N. P. (2013). Análisis de la utilización de luz emitida por lámparas de diodo.
- Xiaoying, L.; G. Shirong, C. Taotao, X. Zhi- gang, y T. Tezuka, 2012. "Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED)". African Journal of Biotechnology, 11: 6169-6177.
- Yorio Neil C., Gregory D. Goins, and Hollie R. Kagie. 2001. Improving Spinach, Radish, and Lettuce Growth under Red Lightemitting Diodes (LEDs) with Blue Light Supplementation. Hortscience. 36(2):380–383.

Zabka, G. (1961). Photoperiodism in *Amaranthus caudatus*. I. A re-examination of the photoperiodic response. *Journal of Botany*, 48, 21–28.

# **ANEXOS**

Anexo 1 Fotografía de las plantas que crecen bajo la influencia de la luz LED rojo



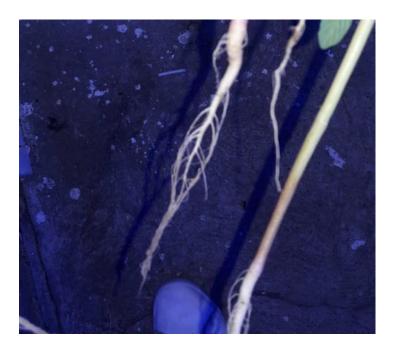
Anexo 2 Fotografía de las plantas que crecen bajo la influencia de la luz LED azul



Anexo 3 Fotografía de las plantas que crecen bajo la luz LED verde



Anexo 4 Fotografía de la raíz de la planta bajo la influencia de luz LED



**Anexo 5** Fotografía de la raíz de Amaranto bajo la influencia de luz natural



Anexo 6 Tabla del área foliar

AREA FOLIAR (cm2)				
CODIGO	Hoja Grande	Hoja Mediana	Hoja Pequeña	
HVM2	0,7	0,3	0,4	
HVM5	1,2	0,5	0,1	
HVM12	0,7	0,4	0,1	
HAM6	1,8	1,1	0,1	
HAM1	1,3	0,4	0,1	
HAM5	1,8	0,4	0,1	
HLM1	51,5	20,1	5,3	
HLM2	62,8	19,8	7,4	
HRM1	0,5	0,4	0,1	
HRM8	0,1	0,1	0	

Anexo 7 Tabla de distancia de internudos

COLOR	DISTANCIA INTERNUDOS			
COLOR	Baja	Media	Alta	
Azul	6,5	6,5	5,5	
Azul	8,5	4	7	
Azul	12	8	4	
Azul	7	6	7	
Verde	4	4	2	
Verde	2	2	2,5	
Verde	1,5	3	2	
Rojo	2,5	3	3	
Rojo	2	3	2	
Natural	2	2	1	
Natural	5	3	2,5	
Natural	1,5	2	1,5	

Anexo 8 Tabla de diámetros de los tallos

COLOR	Diametro del tallo (mm)			
COLOR	Bajo	Medio	Alto	
Azul	5,3	3,96	3,16	
Azul	3,74	4,2	2,93	
Azul	4,18	4,64	3,58	
Azul	4,05	4,05	2,4	
Verde	2,45	3,46	2,41	
Verde	4,62	5,28	2,72	
Verde	3,38	3,19	2,14	
Rojo	2,5	3,38	1,92	
Rojo	0,96	1,8	1,54	
Natural	5,16	3,85	3,7	
Natural	11,12	14	3,49	
Natural	6,17	4,18	3,26	

Anexo 9 Tabla del peso fresco de las hojas

r				
COLOR	Peso fresco de las hojas			
COLOR	Pequeña	Mediana	Grande	
Azul	0,0467	0,1854	0,5476	
Azul	0,0286	0,1779	0,3659	
Azul	0,0287	0,2558	0,6083	
Azul	0,0342	0,0966	0,4113	
Verde	0,0569	0,1174	0,1918	
Verde	0,0294	0,1495	0,2308	
Verde	0,0208	0,1175	0,2219	
Rojo	0,0135	0,0589	0,1451	
Rojo	0,0275	0,0605	0,078	
Natural	0,0376	0,2074	0,516	
Natural	0,0701	0,9362	1,2575	
Natural	0,0003	0,2009	0,5681	

 $\bf Anexo \ 10 \ Tabla \ de los pesos de raíz y del tallo en estado fresco.$ 

Peso en fresco de Amaranthus caudatus				
Luz	Código	Estado	Raíz	Tallo
Natural	M1N	Fresco	8,6186	3,4196
Natural	M2N	Fresco	3,3323	4,1275
Natural	M3N	Fresco	13,2932	4,4097
Azul	M4A	Fresco	0,0356	1,5206
Azul	M1A	Fresco	0,0433	2,9835
Azul	M5A	Fresco	0,4705	8,8497
Azul	M2A	Fresco	0,3127	7,8037
Azul	M14A	Fresco	0,0097	0,3042
Azul	M16A	Fresco	0,2244	7,192
Azul	M15A	Fresco	0,0039	0,1948
Azul	M6A	Fresco	0,4198	14,2392
Azul	M8A	Fresco	0,025	0,5845
Azul	M7A	Fresco	0,0667	2,2448
Azul	M5A	Fresco	0,0044	0,1664
Verde	M6V	Fresco	0,00015	0,2218
Verde	M5V	Fresco	0,0136	0,735
Verde	M10V	Fresco	0,0288	2,3302
Verde	M1V	Fresco	0,1766	4,143
Verde	M16V	Fresco	0,002	0,1218
Rojo	M12R	Fresco	0,0378	2,7799
Rojo	M1R	Fresco	0,005	0,6731

Anexo 11 Tabla de los pesos de raíz y del tallo en estado fresco.

Peso en seco de Amaranthus caudatus				
Luz	Código	Estado	Raíz	Tallo
Natural	M1N	Seco	1,3787	8,61932
Natural	M2N	Seco	2,9551	9,4376
Natural	M3N	Seco	12,8806	3,5465
Azul	M4A	Seco	53,1682	3,9254
Azul	M8A	Seco	59,738	1,5669
Azul	M14A	Seco	52,2053	5,6585
Azul	M5A	Seco	70,0841	8,8694
Azul	M16A	Seco	47,418	6,1336
Azul	M7A	Seco	69,6337	0,9111
Azul	M21A	Seco	59,1615	7,1035
Azul	M15A	Seco	50,8089	10,6404
Azul	M9A	Seco	48,81	8,553
Azul	M6A	Seco	52,6325	16,4828
Azul	M1A	Seco	48,6797	0,4593
Verde	M1V	Seco	45,7135	6,2678
Verde	M6V	Seco	50,16185	3,9854
Verde	M5V	Seco	50,2201	5,6923
Verde	M10V	Seco	32,418	9,0252
Rojo	M1R	Seco	65,5674	3,1162
Rojo	M12R	Seco	51,132	15,2163

Anexo 12 Par medido sobre la planta de Amaranto

PAR MEDIDO SOBRE LA PLANTA [µmol m-2 s-1]		
AZUL	120	
VERDE	70	
ROJO	80	