

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**EFFECTO DE LA IRRADIACIÓN LED CON DIFERENTES LONGITUDES DE  
ONDA SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays*)**

**POR:  
ERICK JONATHAN ORTIZ LÓPEZ**

**TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TORREÓN, COAHUILA**

**DICIEMBRE DE 2017**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EFFECTO DE LA IRRADIACIÓN LED CON DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays*)

POR:  
ERICK JONATHAN ORTIZ LÓPEZ

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

  
Ph. D. PEDRO CANO RIOS

VOCAL:

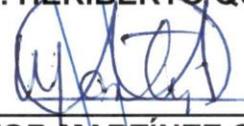
  
DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL:

  
DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL SUPLENTE:

  
ING. HERIBERTO QUIRARTE RAMÍREZ

  
M.E. VICTOR MARTÍNEZ CUETO  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**EFFECTO DE LA IRRADIACIÓN LED CON DIFERENTES LONGITUDES DE  
ONDA SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays*)**

**POR:  
ERICK JONATHAN ORTIZ LÓPEZ**

**TESIS**

**QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**APROBADA POR:**

**ASESOR PRINCIPAL:**

  
\_\_\_\_\_  
**Ph. D. PEDRO CANO RIOS**

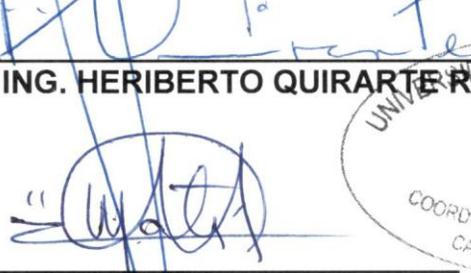
**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**ING. HERIBERTO QUIRARTE RAMIREZ**

  
\_\_\_\_\_  
**M.E. VICTOR MARTÍNEZ CUETO  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**TORREÓN, COAHUILA**

**DICIEMBRE DE 2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradezco a Dios, pues fue quien me orientó y me ha sustentado para poder culminar mis estudios de licenciatura. A lo largo de todos mis estudios, son muchas las personas que me han ayudado a salir adelante, que me han apoyado, sin embargo el mayor apoyo que he tenido es el de mi Padre Celestial. A Él le debo todo lo de mi vida, gracias a Él estoy estudiando, porque Él me suplió todo. Aunque parecía que no tenía económicamente hablando para la escuela y para la universidad, Dios fue quien me ha suplido en todo, y solo le tengo que dar gracias por ello.

Muchas gracias Padre por traerme a este lugar, por permitirme conocer nuevas personas, amigos, una nueva familia. Aquí en Torreón comprobé una vez más que tu voluntad es buena, agradable y perfecta.

En segundo lugar agradezco a mi madre amada y querida por ser una guía en mi vida. Siempre me motivo a seguir adelante, a continuar con mis estudios. Madre, gracias por ese apoyo incondicional, me he dado cuenta que sus enseñanzas son muy buenas, le agradezco cada uno de sus consejos, con su ayuda ha logrado que alcance mis sueños.

En tercer lugar quiero agradecer a la Pastora Cristina, que me abrió las puertas de su casa, y en ella encontré a mi segunda mamá, también quiero agradecer a Doña Socorro que fue una de las mujeres que igualmente me motivó a seguir con mis estudios y a seguir preparándome académicamente, sin el apoyo de todos ellos simplemente no se pudiera hacer nada. Todo se lo debo a ellos. Alguien dijo: “Éxito es reconocer que Dios y otros me han ayudado a lograr mis sueños y metas.”

## DEDICATORIAS

A Dios primeramente por permitirme terminar mi carrera profesional. A mi madre Maximina López Ginez, por siempre impulsarme a seguir hacia adelante. A la Pastora Cristina Romero Castello por permitirme ser un hijo en su familia. A mis hermanos por su apoyo. A la señora María Socorro Mora Romero por siempre motivarme a continuar mis estudios y a superarme. A mis compañeros y amigos Omar Zúñiga Díaz, José Antonio López Murillo, Isaac Daniel Gallardo Machuca, Leonard Tizian Sundermann, Mattia Auriti, Ubaldo Juventino Becerra Pérez, Arturo Domínguez, Jesús Osvaldo Silva Valdéz, Jan-Niklas Pfeiffer, René Estrada Drouaillet, Misael Moncada, por haberme brindado su apoyo y amistad incondicional.

A mis profesores que más allá de las aulas de clase me enseñaron con su vida, dedicación, carácter y ejemplo: Dra. Oralia Antuna Grijalva, Dr. Pedro Cano, Dr. Armando Espinoza Banda, Dr. Alejandro Moreno Reséndez, Dr. Francisco Camacho Ferre, Dr. Julio César Javier Tello Marquina, Ing. Víctor Martínez Cueto, Ing. Heriberto Quirarte Ramírez, Profa. Elba Otilia Ortega Márquez, Miss Amanda Jaramillo Santos, por invertir cada uno de ellos su tiempo y sembrar conocimiento en mí.

A la adversidad que logró en lugar de vencerme hacer que redoblará mis esfuerzos para terminar.

A mi amada y futura esposa, a quien aún estoy esperando le dedico también esta tesis y todas mis victorias que vengan junto a ella.

## RESUMEN

En la agricultura actual se ha obtenido ventaja de la utilización de los colores para incrementar el rendimiento y el crecimiento en diferentes especies vegetales. La iluminación con diodos emisores de luz (LEDs), resulta de gran interés en la agricultura debido a que permite manejar el espectro radiante que incide sobre las plantas. Se ha observado como las longitudes de onda específicas, dan forma a la producción de la planta. Este trabajo se llevó a cabo en el laboratorio 1 de Fitomejoramiento en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN UL); se propuso estudiar la influencia de diferentes longitudes de onda de LEDs en la germinación, desarrollo y crecimiento de plántulas de maíz. Se utilizó LEDs en los colores, rojo, azul, verde y el Testigo que fue sin luz. La germinación duró 7 días, las semillas germinaron bajo las distintas fuentes lumínicas en una incubadora a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Se contabilizó el índice de velocidad de brote, vigor, longitud de raíz, contenido de clorofila, peso fresco, peso seco, porcentaje de germinación y contenido de azúcares. Este experimento tuvo una aplicación práctica e inmediata, con resultados satisfactorios. Se comprobó que el mejor índice en velocidad de brote (IVB) y el mayor incremento del porcentaje de germinación (PG), fue bajo la luz azul. Por lo que se sugiere si se quiere tener un porcentaje de germinación alto se emplee LEDs de color azul. Por otra parte la aplicación de longitudes de onda específicas, como lo es el color rojo y verde puede aumentar el contenido de clorofila. Estas características requieren más investigación para ampliar el panorama en la interacción que el maíz tiene con la luz.

**Palabras clave:** Vigor, Fotomorfogénesis, Fotón, Radiación PAR, Nanómetro.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
I INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Germinación	3
2.1.1. Germinación en la semilla de maíz	3
2.1.2. Disminución en la germinación	4
2.1.3. Vigor de las semillas	4
2.2. Importancia del maíz	5
2.2.1. Cosecha e importancia económica	5
2.3. La luz en las plantas	5
2.3.1. Importancia de la luz en las plantas	5
2.3.2. Efecto de la luz en las plantas	6
2.3.3. La luz en la germinación de semillas	7
2.4. La Fotosíntesis	8
2.4.1. Fotosíntesis	8
2.4.2. La radiación PAR	9
2.5. Utilización de los LEDs	9
2.5.1. Luz LED	9
2.5.2. La importancia de la luz LED	10
2.5.3. El uso de los LEDs en la agricultura	10
2.5.4. Ventajas de la iluminación con LEDs	11
2.5.5. La luz LED como alternativa en la agricultura	12
2.5.6. Costos de la utilización de luz LED	12

2.5.7. Efecto de los LEDs en las plantas	12
2.5.8. La luz azul	13
2.5.9. La luz roja	14
2.5.10. Luz verde	15
2.6. Fotoperíodo	16
2.6.1. Fotomorfogénesis	16
2.6.2. Escotomorfogénesis	17
2.7. Fotorreceptores	17
2.7.1. Fitocromos	18
2.7.2. Criptocromos	19
2.8. Fotones	19
2.9. Genotipos afectados por la luz	19
2.10. Antocianinas	19
2.11. Fotodormición	20
2.12. Oscuridad	20
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>21</b>
3.1 Ubicación del experimento	21
3.2. Material vegetal	21
3.3. Tratamientos lumínicos	21
3.4. Germinación de las semillas	22
3.5. Variables	23
3.6. Índice de velocidad de brote	23
3.7. Porcentaje de germinación	24
3.8. Vigor	24
3.9. Longitud de raíz	24
3.10. Contenido de clorofila	25
3.11. Peso húmedo y seco de las plántulas	25
3.12. Contenido de azúcar	25
3.13. Análisis de datos y diseño experimental	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>27</b>
4.1. Interacción de maíz-luz en la variable índice de velocidad de brote	28

4.2. Interacción de maíz-luz en la variable porcentaje de germinación	29
4.3. Interacción de maíz-luz en la variable vigor	30
4.4. Interacción de maíz-luz en la variable longitud de raíz	31
4.5. Interacción de maíz-luz en la variable contenido de clorofila	32
4.6. Efecto de la luz en la variable índice de velocidad de brote	33
4.7. Efecto de la luz en la variable porcentaje de germinación	33
4.8. Efecto de la luz en la variable vigor	34
4.9. Efecto de la luz en la variable longitud de raíz	35
4.10. Efecto de la luz en la variable contenido de clorofila	35
4.11. Efecto de la luz en la variable peso húmedo de las plántulas	36
4.12. Efecto de la luz en la variable peso seco de las plántulas	37
4.13. Efecto de la luz en la variable contenido de azúcar	38
CONCLUSIONES	40
VII BIBLIOGRAFÍA	41
VII.- Anexo	48

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Variables estudiadas en el experimento realizado con maíces y luz con diferentes longitudes de onda. UAAAN.UL.2017.	27
Cuadro 2.- Interacción de las luces y el Testigo con los tipos de maíces evaluados para la variable índice velocidad de brote. UAAAN.UL.2017.	28
Cuadro 3.- Interacción de los tipos de maíces con las diferentes luces evaluadas y el Testigo, en la variable porcentaje de germinación. UAAAN.UL.2017.	29
Cuadro 4.- Interacción de los maíces trabajados con las diferentes luces empleadas y el Testigo, se presentan los valores medios en la variable vigor. UAAAN.UL.2017.	30
Cuadro 5.- Muestra la interacción de los maíces con las diferentes luces y el Testigo, en la variable longitud de raíz. UAAAN.UL.2017.	31
Cuadro 6.- Muestra de la interacción maíces con los diferentes tipos de luces y el Testigo en la variable contenido de clorofila. UAAAN.UL.2017.	32
Cuadro 7.- Valores medios de ocho variables cuantificadas en tres tipos de luz y el Testigo en condiciones de incubadora. UAAAN.UL.2017.	39
Cuadro 8.- Análisis de varianza para la variable índice de brote en las semillas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.	48
Cuadro 9.- Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en las semillas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.	48
Cuadro 10.- Análisis de varianza para la variable vigor en las semillas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.	49
Cuadro 11.- Análisis de varianza para la variable longitud de raíz en las plántulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.	49
Cuadro 12.- Análisis de varianza para la variable clorofila en las plúmulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.	50
Cuadro 13.- Análisis de varianza para la variable peso húmedo en las plántulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.	50
Cuadro 14.- Análisis de varianza para la variable peso seco en las plántulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.	51
Cuadro 15.- Análisis de varianza para la variable contenido de azúcar en las plántulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 .- Comportamiento de los maíces en diferentes longitudes de onda y el Testigo en la variable índice velocidad de brote. UAAAN.UL.2017.	28
Figura 2.- Comportamiento de los maíces en los diferentes tipos de luz y el Testigo en la variable porcentaje de germinación. UAAAN.UL.2017.	29
Figura 3.- Comportamiento de los maíces en la variable vigor, en las diferentes luces y el Testigo. UAAAN.UL.2017.	30
Figura 4.- Comportamiento de la variable longitud de raíz en los diferentes tipos de luz evaluadas y el Testigo. UAAAN.UL.2017.	31
Figura 5.- Comportamiento en el contenido de clorofila en los maíces evaluados, en los diferentes tipos de luz y el Testigo. UAAAN.UL.2017.	32

## I INTRODUCCIÓN

En la industria semillera el porcentaje de germinación es un parámetro de gran valor, debido a que el conocimiento de este parámetro es de importancia para la certificación y comercialización de las semillas (Martínez *et al.*, 2010). El reconocimiento de genotipos con alto porcentaje de germinación es necesario para la competitividad intraespecífica (Willenborga *et al.*, 2005); el uso de semillas de alta calidad es de gran importancia para la obtención de una adecuada y uniforme germinación (Viloria y Méndez, 2011).

Las pruebas de germinación se realizan en condiciones favorables como temperatura y humedad, por lo que la mayoría de las veces los resultados obtenidos no coinciden con los de campo (Martínez *et al.*, 2010); el crecimiento de plántulas de maíz de semillas grandes afectadas por sequía, crecen más que las de tamaño mediano y chico (Láynez *et al.*, 2008).

Para aumentar la producción y productividad del cultivo de maíz se propone el uso extensivo de semilla con alta calidad fisiológica (Molina, 1990). Los componentes genéticos, físicos, fisiológicos y fitopatológicos son los que originan la semilla de máxima calidad (Mendoza *et al.*, 2004); siendo la calidad de la semilla fundamental en el rendimiento del cultivo, estas semillas pueden sembrarse en condiciones no óptimas o ser almacenadas por mayor tiempo (Viloria y Méndez, 2011).

El bioensayo de germinación es una herramienta útil para estudio de otros criterios en la bioquímica vegetal (Román, 2000), debido a que en

actualidad se requiere un método rápido y limpio de germinación sin tener ningún efecto el proceso metabólico de la planta (Arnesto *et al.*, 2015).

Las plantas utilizan la luz como fuente de energía para la fotosíntesis, además, afecta todos los procesos de desarrollo desde la germinación hasta la floración. Tiene un efecto notable durante el desarrollo del brote tras la germinación e induce a la expresión de multitud de genes (Lucas, 2010).

### **1.1. Objetivo**

Estudiar la influencia de diferentes longitudes de onda de LEDs en la germinación, desarrollo y crecimiento de plántulas de maíz.

### **1.2. Hipótesis**

Ho: El porcentaje y la velocidad de germinación no son afectados por las diferentes longitudes de onda emitidas por LEDs.

Ha: El porcentaje y la velocidad de germinación son afectados por las diferentes longitudes de onda emitidas por LEDs.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Germinación

#### 2.1.1. Germinación en la semilla de maíz

En el maíz la capacidad de germinación de la semilla está relacionada con el contenido de humedad (Oishi y Bewley, 1992); la germinación es el proceso fisiológico que restablece el crecimiento del embrión, comienza con la hidratación de la semilla (Sánchez *et al.*, 2011). En la imbibición de la semilla, el agua es conservada por las proteínas, celulosa y sustancias pépticas (Román, 2000). Se compromete cambios a nivel celular como la respiración, hidratación de proteínas, multiplicación celular y liberación de exudados (Walker *et al.*, 2003).

Los métodos para realizar la prueba de germinación son distintos, el más utilizado es el conocido como “entre papel” recomendado por International Seed Testing Association (ISTA, 2005), el cual consiste en extender toallas de papel previamente humedecidos con agua destilada sobre una superficie plana, y sobre los cuales se colocan las semillas. Posteriormente se cubren con otras toallas húmedas y se doblan para formar un rollo, el cual se pone a germinar, acomodándolo de forma vertical en bolsas de plástico. Las bolsas con los rollos se colocan en germinadoras con ambiente controlado. Para el conteo de plántulas se deben tomar ciertas condiciones: plántulas normales, plántulas anormales, semillas duras, semillas latentes y semillas muertas.

### **2.1.2. Disminución en la germinación**

Varios factores afectan la germinación de la semilla: iones, gases, e inhibidores (Román, 2000); el agua, la luz, y la temperatura son factores externos, que perjudican la latencia de la semilla. Dentro de los factores internos se encuentran la testa dura y el embrión; pero este periodo se puede alargar o retrasar artificialmente, impidiendo a las semillas sus condiciones para la germinación (Ramírez *et al.*, 1980). La sequedad retrasa y puede inhibir el proceso de germinación de las semillas, además el estrés es un factor externo que afecta negativamente la fisiología de la semilla (Láynez *et al.*, 2007).

La disminución de la germinación se debe a la liberación sin control de los electrolitos por las semillas durante la germinación que en algunos casos produce el crecimiento anormal de las plántulas, debido a daños provocados por la imbibición (Peña *et al.*, 2002).

### **2.1.3. Vigor de las semillas**

El vigor está representado como el porcentaje de semillas que germinan bajo condiciones o factores adversos, diferenciándose de condiciones normales (Peretti, 1994); un maíz tolerante a la sequía debería poseer la capacidad de germinar en suelos con poca humedad (Teruel *et al.*, 2008).

Las determinaciones del vigor de la semilla son útiles para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del ambiente no son del todo favorables para la germinación (Moreno, 1996).

La constitución genética de la semilla también influye en el vigor, ya que dentro de una misma especie existen variedades o tipos cuyas semillas tienen

más vigor intrínseco que el de las semillas de otras variedades como consecuencia de poseer sistemas bioquímicos más potentes y eficaces. (Besnier, 1989).

## **2.2. Importancia del maíz**

### **2.2.1. Cosecha e importancia económica**

El cultivo de maíz tiene gran importancia social y económica, sus usos principales como alimento humano, concentrados para animales y forraje (Láynez *et al.*, 2008); además de dar aportes muy valiosos a la seguridad alimentaria mundial, siendo un alimento básico para muchas regiones del planeta y uno de los tres cereales más cultivados en el mundo (Sánchez *et al.*, 2011).

## **2.3. La luz en las plantas**

### **2.3.1. Importancia de la luz en las plantas**

La constante solar está compuesta por la radiación ultravioleta, radiación visible y la radiación infrarroja. La mayor parte de ultravioleta (UV) e infrarroja (IR) es absorbida por los gases de la atmósfera, la radiación que llega a la biósfera posee una proporción mayor de radiación visible (Meisel *et al.*, 2011). Las plantas necesitan ciertas características ambientales como lo es la luz, debido a que influye en su desarrollo con diversos resultados (Villar, 2016); presentan una sensibilidad a la radiación muy diferente a comparación del ojo humano. En las regiones del espectro electromagnético comprendidas desde el

UV hasta los 740 nm, controlan varios aspectos de su crecimiento y desarrollo de las plantas (Martín, 2010).

### **2.3.2. Efecto de la luz en las plantas**

La luz es el factor ambiental más importante en la morfogénesis vegetal (Montaldi, 1992); la energía lumínica emitida por el sol es uno de los principales estímulos exógenos al que las plantas deben adaptarse (Meisel *et al.*, 2011); afecta todos los procesos de desarrollo, desde la germinación de la semilla hasta la floración de las plantas (Lucas, 2010); además, regula la apertura y cierre de los estomas, condiciona la formación de clorofila y en algunos casos inhibe la germinación de la semilla (Vidican y Cachita, 2010).

Las plantas generan respuestas a la luz como inducción floral, elongación del tallo, la expansión foliar (Montaldi, 1992); también estimula la apertura y desarrollo de las hojas embrionarias, inhibe el crecimiento del tallo e induce a la expresión de multitud de genes con una función en la fotosíntesis (Lucas, 2010); el espectro de la radiación afecta propiedades como el aspecto y en plantas medicinales afecta el sabor, olor, y valor farmacéutico (Martin, 2010).

La luz orienta el comportamiento vegetal hacia la eficiencia en la fotosíntesis más que la elongación y el crecimiento, dando como resultado plantas más compactas y eficientes (Villar, 2016). El crecimiento vegetal y procesos de desarrollo están regulados por la longitud de onda y la duración de la iluminación (Folta y Childers, 2008); esto produce diferentes efectos sobre las plantas, como: intensificar la fotosíntesis, desencadenar fenómenos fotomorfogénicos, alargamiento de los entrenudos y activación de fitocromos

(Martin, 2010); a medida que los niveles de radiación disminuyen, las etapas vegetativa y reproductiva se hacen más largas (Francescangeli *et al.*, 2007).

La radiación causa en las plantas diferencia en su desarrollo y crecimiento, las plantas crecidas en la luz desarrollan una morfología denominada fotomorfogénica, en cambio las plantas crecidas en la oscuridad desarrollan una morfología etiolada o escotomorfogénica (Meisel *et al.*, 2011); la primera detección de transiciones de luz es el etiolado (Folta, 2004); la planta etiolada tiene el hipocotilo alargado con un gancho en el ápice del tallo y con los cotiledones no expandidos (Meisel *et al.*, 2011).

Francescangeli *et al.*, (2007), demostraron que el sombreado causó cambios morfológicos en plantas de brócoli, es decir, plantas más altas y mayor área foliar. También se ha encontrado que la auxina tiene que ver en el fototropismo, ésta hormona está conectada con respuestas mediadas a la luz (Folta y Childers, 2008).

### **2.3.3. La luz en la germinación de semillas**

La luz tiene un efecto notable durante el desarrollo del brote tras la germinación (Lucas, 2010); además, se ha observado como las longitudes de onda específicas, la intensidad, y el fotoperiodo en conjunto dan forma a la producción de la planta (Folta y Childers, 2008); también, la adición lumínica puede generar cambios en fases futuras del desarrollo de la plántula (Marín, 2016).

Paniagua *et al.*, (2015), encontraron mayor velocidad de germinación en los tratamientos de luz LED roja en comparación con la luz blanca, ambos con 12 horas de luz.

## **2.4. La Fotosíntesis**

### **2.4.1. Fotosíntesis**

La luz es importante en la vida de las plantas, la intensidad de la longitud de onda actúa diferente en la fotosíntesis, en el crecimiento, desarrollo, transpiración y respiración de plantas (Vidican y Cachita, 2010).

Las plantas utilizan la luz como fuente de energía para la fotosíntesis, perciben cambios en la proporción rojo/rojo lejano, en las horas luz a lo largo del día, las utilizan como fuente de información de la presencia de otras plantas, y de esta manera optimizan el crecimiento y desarrollo. La fotosíntesis es la reacción en los cloroplastos que resulta en la obtención de energía química a partir de la radiación luminosa, carbono atmosférico y agua (Villar, 2016). Dependiendo de la longitud de onda o la intensidad, la radiación se vuelve esencial para la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas, aunque intensidades de radiaciones bajas o altas pueden ser en ciertas condiciones dañinas para las plantas (Meisel *et al.*, 2011).

En los cultivos *in vitro*, la fotosíntesis es reducida, la energía necesaria útil para procesos de vida se obtiene mediante hidrólisis de la sacarosa, presentes en el medio de cultivo, por lo que en estas condiciones la luz estimula el crecimiento e influye en la morfogénesis (Vidican y Cachita, 2010).

## **2.4.2. La radiación PAR**

Las plantas utilizan la luz desde los 400 hasta los 700 nm para la fotosíntesis conocida como la radiación PAR, (*Photosynthetic Active Radiation*) (Martin, 2010), (Meisel *et al.*, 2011). Las principales bandas del espectro fotosintéticamente activas, se hallan en la franja roja y azul; estas influyen en el comportamiento vegetal (Villar, 2016). Actualmente el suministro de la luz artificial para la producción de plantas se realiza en función de la radiación fotosintéticamente activa PAR (Chica, 2016).

## **2.5. Utilización de los LEDs**

### **2.5.1. Luz LED**

Las lámparas de diodo (LEDs) son la más reciente tecnología al ingresar al campo de la agricultura en ambientes controlados (Navarro, 2013). Son la primera fuente de luz que tiene la capacidad de control de la composición espectral, lo que permite que las longitudes de onda se emparejen con los fotorreceptores de la planta para proporcionar una mayor optimización, producción e influenciar en la morfología y composición de la misma. (Morrow, 2008). Los LEDs tienen una gran eficacia en la transformación de energía eléctrica a energía lumínica, además de que la disipación de radiación en forma de calor es casi nula (Navarro, 2013). Los LEDs son dispositivos más eficientes que las lámparas incandescentes (Martin, 2010).

La luz LED es uno de los mayores avances en la iluminación hortícola en décadas, el uso en investigación ambiental, iluminación para cultivos de tejidos, y fotoperiodo para invernaderos (Morrow, 2008).

### **2.5.2. La importancia de la luz LED**

En la agricultura de ambientes controlados, uno de los temas más tratados es la iluminación, esto se debe a que por lo general es muy costoso, así como los gastos de electricidad. Los LEDs tienen un gran potencial, para mejorar el rendimiento y reducir los costos totales de la iluminación ambiental (Bourget, 2008).

La iluminación con luz LED es uno de los mayores avances en la iluminación, actualmente se utiliza para cultivo de tejidos y fotoperiodo en invernaderos. El uso de los LEDs es muy adecuado aplicarlo en cámaras de crecimiento, tiene baja salida de calor radiante y el espectral ajustable permite mejorar la eficiencia fotosintética, forma y función de la planta (Morrow, 2008).

### **2.5.3. El uso de los LEDs en la agricultura**

Algunos accesorios incandescentes se utilizan en hogares, empresas para apoyar el crecimiento de las plantas en invernaderos y en cámaras de crecimiento (Folta y Childers, 2008); pero actualmente la iluminación con diodos emisores de luz (LEDs), resulta de gran interés en la horticultura, esto se debe a que principalmente permite manejar el espectro radiante que incide sobre las plantas; con el objetivo de aumentar su producción o de generar determinados efectos fisiológicos, sobre todo en invernaderos (Martin, 2010).

Actualmente en la agricultura se ha obtenido ventaja de la utilización de los colores para incrementar el rendimiento y el crecimiento en diferentes especies vegetales (Casierra y Rojas, 2009); como en el caso de los LEDs rojos, que repelen insectos, por lo que contribuyen a la disminución en el uso de

agrotóxicos (Martín, 2010). Las lámparas tradicionales no aportan la misma ventaja económica respecto al consumo de luz que el uso LEDs, es por eso que se están incorporando a las instalaciones agrícolas (Chica, 2016).

Los LEDs tienen aplicación tanto en invernaderos como en cámaras de crecimiento controlado, para aplicaciones de cultivos hidropónicos, aeropónicos o de cultivo en suelo o sustrato (Martín, 2010). El conjunto de datos para plantas cultivadas bajo iluminación LED continúa aumentando a medida que más sistemas de LED estén disponibles (Morrow, 2008).

#### **2.5.4. Ventajas de la iluminación con LEDs**

Los LEDs tienen muchas ventajas, proporcionan altas intensidades de luz con bajo calor radiante, espectral ajustable que permite mejorar la eficiencia fotosintética, forma y función de la planta (Morrow, 2008). Otro aspecto importante es que se reducen los costos totales de iluminación (Navarro 2013); principalmente porque consumen menor energía eléctrica y poseen una vida de uso más larga (Martín, 2010); tienen la capacidad de generar más luz, de manera más eficiente (Folta y Childers, 2008); no producen longitudes de onda ultravioleta dañinas (Morrow, 2008); no generan exceso de calor (Villar, 2016), (Martín, 2010); y por lo tanto, no dañan las plantas que son térmicamente sensibles (Martín, 2010).

Los LEDs continúan moviéndose hacia convertirse económicamente viables, incluso para grandes aplicaciones de iluminación hortícola (Morrow, 2008).

### **2.5.5. La luz LED como alternativa en la agricultura**

Los LEDs como fuente de luz alternativa pueden ser una de las claves para lograr un proceso de producción eficiente y sustentable en la agricultura de ambientes controlados (Navarro, 2013). Pueden usarse para control del fotoperiodo en invernaderos (Morrow, 2008).

### **2.5.6. Costos de la utilización de luz LED**

Desde el año 2002, la Nippon Keiki Kagoshima Works, Ltd., una compañía fabricante de LEDs en Japón ha estado experimentando con el cultivo de crisantemos con iluminación mediante LEDs emisores en el rojo. En enero de 2007 publicó que para un pequeño invernadero, la utilización de dos LEDs rojos de 75 W (un total de 150 W) tenía el mismo efecto que 50 lámparas incandescentes de 75 W (un total de 3750 W). El resultado fue una disminución del costo de la energía eléctrica consumida en 25 veces (Martin, 2010).

### **2.5.7. Efecto de los LEDs en las plantas**

Paniagua *et al.*, (2015), encontraron que las respuestas fisiológicas de brócoli producidas por la exposición a distintas longitudes de onda de la luz LED de alta intensidad, variaron de acuerdo con el tiempo de exposición y tipo de longitud de onda usado, mostró ser una opción viable para mejorar la calidad fisiológica del brócoli. Por otra parte Marín (2016), señala que el tratamiento con luces LED rojas, azules y blancas, no generó una diferencia significativa en la germinación, en semillas de orquídeas

La luz es un potente regulador del desarrollo y crecimiento de la planta en diferentes intensidades, es imperativo primero contemplar los mecanismos para la planta interacción con ambiente ligero (Folta y Childers, 2008).

#### **2.5.8. La luz azul**

El color azul (400-500 nm) promueve la síntesis de clorofila, la apertura de estomas, el control de ritmos circadianos, el control de fototropismo, la interacción con criptocromos y fototropinas, y el aumento de materia seca. También reporta aumentó en la proporción de germinación (Villar, 2016).

La luz azul impacta una gran variedad de aspectos del crecimiento y desarrollo en la planta, entre estos aspectos están la inhibición de la elongación del hipocotilo, la estimulación de la expansión de los cotiledones, la regulación del ciclo circadiano y la regulación de la expresión genética (Casierra y Pinto, 2011); otros aspectos que provoca son carencia de clorofila y la incapacidad de expandir los cotiledones, también participa en la síntesis de clorofila, regula el crecimiento celular, lo que le permite crecer en función o dirección de la fuente luminosa, proceso conocido como fototropismo (Meisel *et al.*, 2011).

Casierra y Rojas (2009), demostraron que las plántulas de brócoli bajo la cobertura azul tuvieron la menor producción de materia seca. Por otra parte, Villar (2016), mostró que en plántulas de tomate la luz azul aumentó la biomasa tanto en el peso fresco como el peso seco, mientras que la altura de las plantas y la longitud de las raíces no mostraron diferencias significativas.

Las plantas generan una respuesta frente a la luz azul gracias a la existencia de moléculas que captan este tipo de luz y la transforman en una señal que la célula vegetal es capaz de interpretar (Meisel *et al.*, 2011).

Vidican y Cachita (2010), encontraron que la luz azul, emitida por los LEDs determinó una disminución del 17% de contenido de clorofila en cladodios de *Opuntia*, en comparación con los valores marcados en la variante con vitrinas iluminadas con lámparas fluorescentes blancas.

Casierra y Rojas (2009), demostraron que los cambios en la morfología en plántulas de brócoli fueron negativas en el control y bajo la cobertura azul, respecto al color rojo. Todo esto se debe a que la longitud de onda selectiva de las coberturas produce un efecto estimulante sobre las plántulas en semillero, proporcionándoles ventajas fitotécnicas mediante la alteración del espectro.

### **2.5.9. La luz roja**

El color rojo (600-700 nm) produce elongación de los internudos, incremento de la masa seca en tallo y hojas. Tiene la mayor eficiencia en conversión de energía. El color rojo lejano (700-740 nm) produce etiolación y control del fotoperiodo (Villar, 2016).

Paniagua *et al.*, (2015), comprobaron que los tratamientos con luz roja mostraron mayores valores en la velocidad de germinación y peso seco en plántulas de brócoli.

La radiación roja puede promover procesos tan diversos como: la fotomorfogénesis, la formación de primordios foliares y el crecimiento. Puede inhibir la elongación de los hipocotilos y los entrenudos de las plantas así como

su floración. La radiación roja también afecta el movimiento de los cloroplastos y su orientación (Meisel *et al.*, 2011).

La luz roja proporcionó una plántula de brócoli de mejor calidad que la luz blanca o azul (Wilson *et al.*, 1998). Las plantas de fresa bajo el filtro rojo desarrollaron mayor área foliar (Casierra *et al.*, 2011). Las plántulas de brócoli bajo la cobertura roja mostraron mayor producción de materia seca a comparación con los demás colores (Casierra y Rojas, 2009).

Casierra y Pinto (2011), demostraron que las plantas cubiertas con la película roja presentaron mejor calidad de sólidos solubles totales, peso fresco y peso seco en comparación con las que crecieron bajo la cobertura azul; también mostraron valores mayores de área foliar y peso seco total, mientras que los valores más bajos en área foliar se presentaron en plantas bajo la cubierta azul.

Las plantas crecen mejor cuando son iluminadas, con el color rojo y azul. Resulta aconsejable sustituir los sistemas de iluminación fotosintética actuales (Martin, 2010). Paniagua *et al.*, (2015), demostraron que 12 horas de luz roja incrementaron un 25% la velocidad de germinación comparada con el control con 12 horas de luz blanca.

#### **2.5.10. Luz verde**

El color verde (500-560 nm) disminuye el crecimiento si ocupa una gran proporción de radiación. Promueve el crecimiento de carotenos, y el metabolismo de carbohidratos (Villar, 2016). El filtro verde redujo el crecimiento (Casierra *et al.*, 2011).

Vidican y Cachita (2010), mostraron que los LEDs verdes, tienen el efecto inhibitorio más fuerte tanto en la síntesis como en el contenido de clorofila en cladodios de *Opuntia*. Paniagua *et al.*, (2015), observaron que la longitud media del hipocotilo incrementó en la luz verde un 39% en comparación contra el control con 12 horas de luz blanca.

## **2.6. Fotoperíodo**

El fotoperíodo es influenciado directamente por los rangos rojos y rojo lejano del espectro electromagnético y la alternancia de los modos día y noche del fitocromo. Lo que permite a la planta conocer la duración del día y le ayuda a regular las etapas del desarrollo vegetal según la estación del año (Villar, 2016).

### **2.6.1. Fotomorfogénesis**

La conversión de plantas escotomórficas a fotomórficas se produce por un medio llamado fotomorfogénesis (Meisel *et al.*, 2011); que es generado si la planta germina en la luz (Lucas, 2010). La fotomorfogénesis es cualquier cambio de forma de un organismo, que sucede en respuesta a las modificaciones en la luz ambiental (Casierra *et al.*, 2011); es decir, es el efecto de las distintas radiaciones en el desarrollo de la forma, tamaño o la apariencia de la planta (Villar, 2016).

Las plantas fotomorfogénicas presentan inhibición de la elongación del hipocotilo, los plastidios se convierten en cloroplastos fotosintéticamente activos, y hay producción de clorofilas a y b; todo esto causado por una alta expresión de genes que controlan la expresión de otros genes que codifican

para proteínas inducidas por luz (Meisel *et al.*, 2011); los cotiledones se abren y se expanden adquiriendo un color verde intenso, ésto se debe principalmente a la acumulación de clorofila y se induce a la expresión de multitud de genes fotosintéticos (Lucas, 2010).

Además de los cambios físicos de la planta también existen cambios en la bioquímica, niveles moleculares y fisiológicos que guían tempranamente la morfología de la planta durante el establecimiento, como la inhibición del hipocotilo (Folta, 2004).

### **2.6.2. Escotomorfogénesis**

Si la planta germina en oscuridad o en la luz, se inducen programas muy distintos de desarrollo del brote, a este programa de desarrollo se le conoce como escotomorfogénesis. En la escotomorfogénesis el hipocotilo se alarga de forma exagerada, se inhibe el desarrollo de los cotiledones que se mantienen cerrados y de color amarillo pálido debido a la ausencia de clorofila y se observa un gancho apical (Lucas, 2010).

### **2.7. Fotorreceptores**

La calidad de la luz, se capta mediante receptores específicos para las diferentes longitudes de onda (Casierra *et al.*, 2011). Los fotorreceptores son moléculas capaces de activarse por fotones de determinadas longitudes de onda (Meisel *et al.*, 2011).

Las plantas perciben la luz por medio de varios sistemas fotorreceptores. El más estudiado es el fitocromo (Montaldi, 1992). Las plantas generan una respuesta diferente dependiendo del color en la iluminación, esto se debe a los

fotorreceptores que ocasionan diversas expresiones fenotípicas en diferentes niveles y etapas del desarrollo vegetal (Casierra y Pinto, 2011).

### **2.7.1. Fitocromos**

Las plantas han desarrollado mecanismos que les permite detectar la intensidad y las longitudes de onda de la radiación, para optimizar su crecimiento, desarrollo y minimizar un eventual daño por exceso o falta de radiación (Meisel *et al.*, 2011). El fitocromo es una proteína fotosensible que permite a las plantas percibir la dirección, la cantidad, la composición y la duración de la luz que incide sobre ellas (Villar, 2016); en otras palabras es una cromoproteína, cuyo cromóforo absorbe la luz a una longitud de onda que va de 660 y 730 nm, es decir, absorbe la luz roja, además es una cromoproteína estable y biológicamente inactiva. Este fitocromo juega un papel importante en la morfogénesis vegetal y en la germinación de las semillas (Ramírez, 1976).

Los efectos contrastantes de rojo y rojo lejano, tienen influencia en la morfología de la planta, en la expresión de los genes y en el desarrollo de los fitocromos (Folta y Childers, 2008). Una de las modificaciones inducidas por el fitocromo es la elongación de tallos en algunas plantas (Paniagua *et al.*, 2015). Los fitocromos son capaces de detectar radiación en el rojo lejano (600-700 nm), los criptocromos y fototropinas son capaces de detectar la radiación en el rango UV-A azul (320-500) (Meisel *et al.*, 2011). El rojo y rojo lejano es una importante consideración en regímenes ligeros diseñados para controlar los comportamientos de las plantas (Folta y Childers, 2008).

El fitocromo también regula su propia expresión génica, controlando así su nivel en la célula (Montaldi, 1992). Uno de los roles mejor estudiados para los fitocromos es su papel como un sensor de calidad de luz monitoreando el balance de rojo a luz roja lejana (Folta y Childers, 2008).

### **2.7.2. Criptocromos**

Los criptocromos son receptores del color azul y ultravioleta A, que son sensibles para controlar la morfología de la planta y la expresión génica (Folta y Childers, 2008); absorben los fotones entre 300 a 500 nm (Montaldi, 1992).

### **2.8. Fotones**

La cantidad de fotones es mayor en la franja roja que en la franja azul, es por eso que los vegetales emplean de forma más eficiente la radiación de la región del rojo (Martin, 2010).

### **2.9. Genotipos afectados por la luz**

La diferencia entre los genotipos muestra la resistencia y vulnerabilidad a la ausencia de la luz. Cada planta contiene una combinación distinta de pigmentos que a su vez tienen una influencia diferente sobre la expresión génica y metabolismo de la planta (Villar, 2016).

### **2.10. Antocianinas**

Aparte de las clorofilas existen otros pigmentos que son las antocianinas capaces de aprovechar la luz (Villar, 2016).

### **2.11. Fotodormición**

Fotodormición es la inhibición de la germinación que acontece en algunas especies de semillas que se encuentran en condiciones luminosas específicas (Villar, 2016).

### **2.12. Oscuridad**

Los resultados muestran que el almacenamiento oscuro durante 4 semanas reduce la calidad de las plántulas *in vitro* y el potencial de rebrote (Wilson *et al.*, 1998).

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

El proyecto experimental se llevó a cabo en el laboratorio 1 del Departamento de Fitomejoramiento en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN UL), que se ubica en las coordenadas 25° 33'19.10" N y 103° 22'25.67" O, Torreón, Coahuila, México.

#### 3.2. Material vegetal

Se emplearon semillas de maíz de diversas variedades, que fueron obtenidas de diferentes regiones, de las cuales tres eran procedentes de la región de Tehuacán, que se localiza al sureste del Estado de Puebla, a una altura promedio de 1120 msnm, (INEGI, 2017), dos híbridos comerciales, un criollo procedente de San Juan de Guadalupe, Durango., el cual se localiza al este del Estado de Durango, a una altitud promedio de 1,520 msnm. ([INEGI, 2015](#)), y por último de una Población Mejorada procedente de la UAAAN UL.

#### 3.3. Tratamientos lumínicos

Para la germinación de las semillas se utilizaron dispositivos de luz LED, una tira de LED RGB de 5 metros, (SMD 505Sunix®), las semillas fueron sometidas a un fotoperiodo de 12/12 horas (día y noche). Se utilizó un Timer de la marca Steren® modelo TEMP-24HE para lograr un control en las horas de encendido y apagado de la luz LED.

La prueba se realizó en una incubadora de la marca (ThermoScientific® modelo 818) iluminada con LEDs cuya área de iluminación cubrió 0.40 m<sup>2</sup>. Se usaron LEDs en diferentes colores azul, rojo, verde, y sin luz (Testigo).

Se utilizaron 2100 semillas de maíz, de las cuales 1575 fueron sometidas a tres tipos de luz y que correspondieron a los veintidós tratamientos expuestos a luz, y siete tratamientos (525 semillas) correspondientes a cada genotipo fueron sometidos a no recibir luz. Cada tratamiento con tres repeticiones y cada repetición con veinticinco semillas.

#### **3.4. Germinación de las semillas**

La preparación del medio y la siembra se realizó en el laboratorio. Para prevenir el crecimiento de hongos durante la germinación, las semillas se desinfectaron con N-(triclorometil) ciclohex-4-en-1,2-dicarboximida. Las semillas fueron colocadas en papel de germinación especial para maíz, cada hoja de papel contaba con una anchura de 25 cm y longitud de 30 cm. Para esta prueba se utilizaron las normas de la ISTA (1999); se usó el método “entre papel” enrollado, cada variedad se recibió tres repeticiones de 25 semillas tomadas al azar, el conteo se hizo en forma manual, a la mitad del papel se colocaron las semillas, para pegar las semillas se utilizó cinta tipo Masking Tape.

Las semillas se cubrieron con una hoja de papel para germinación, se saturó con agua destilada y se enrolló sujetando los extremos con ligas de hule, posteriormente se colocaron en bolsas de polietileno y se procedió a guardarlas

en la incubadora (ThermoScientific® modelo 818) a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

La germinación dentro de la incubadora se realizó con ciclos alternos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, se realizó el conteo de semillas cada 24 horas. Los riegos se realizaron todos los días, esto para evitar que las semillas se secaran, las pruebas de germinación fueron revisadas en forma visual diariamente, para ver las condiciones de iluminación, riego y temperatura. Estas pruebas no requieren de equipos sofisticados, reactivos, o personal altamente calificado.

Se realizó la evaluación día con día para poder contabilizar el número de semillas germinadas, y a los 7 días, se contabilizó el número de plántulas normales, anormales, semillas muertas, semillas duras, vigor, longitud de raíz, contenido de clorofila, peso fresco, porcentaje de germinación y contenido de azúcares.

### **3.5. Variables**

Se tomaron datos de índice de velocidad de brote (IVB), porcentaje de germinación (PG), vigor (VG), longitud de raíz (LR), clorofila (CL), peso húmedo (PH), peso seco (PS) y azúcar (AZ).

### **3.6. Índice de velocidad de brote**

Se realizaron evaluaciones diarias de las semillas germinadas hasta completar 7 días, el criterio para evaluar la velocidad de germinación, fue la ruptura de semilla y aparición de la radícula. Para calcular el índice de velocidad del brote se utilizó la fórmula propuesta por (Maguire, 1962).

$$IVB = \sum \frac{No.p}{D_1} + \frac{No.p}{D_{12}} + \dots + \frac{No.p}{D_n}$$

Donde: *IVB*: índice de velocidad de brote, *No.P.*: número de plántulas emergidas y *D*: días después de la siembra.

### 3.7. Porcentaje de germinación

Se calculó el porcentaje de germinación de los tratamientos considerando la siguiente fórmula:

$$PG = \frac{NPG * 100}{NSS}$$

Donde: *PG*= porcentaje de germinación, *NPG*= número de plántulas germinadas, *NSS*= número de semillas sembradas

### 3.8. Vigor

Para conocer el vigor se contabilizó la longitud media de las plúmulas, se utilizó la fórmula propuesta por Moreno (1996):

$$L = \frac{(nx_1 + nx_3 + \dots + \dots + nx_{13})}{NPN}$$

Donde : *L*= Longitud media de las plúmulas; *n*= número de plúmulas entre cada par de paralelas; = distancia media desde la línea central; *NPN*; número de plántulas normales.

### 3.9. Longitud de raíz

Se midió la longitud de la radícula con una regla de 30 cm, se escogieron tres plántulas normales al azar por cada repetición, posteriormente se tomó lectura en centímetros de la longitud de la radícula, de las tres plántulas se calculó la longitud promedio por repetición.

### **3.10. Contenido de clorofila**

El contenido de clorofila se determinó en las plúmulas de mayor desarrollo, se escogieron tres plántulas normales al azar por cada repetición, posteriormente se tomó lectura del contenido de clorofila, para ello se utilizó un colorímetro de la marca Konica Minolta® modelo SPAD-502Plus, se calculó el promedio por cada repetición.

### **3.11. Peso húmedo y seco de las plántulas**

Se midió el peso húmedo en gramos en una báscula digital marca Scientech®, modelo SG 8000, el peso húmedo se determinó con las plántulas normales de los ensayos de germinación, se colocaron las plántulas en bolsas de papel estraza previamente perforada, se eliminó el mesocotilo y los restos de testa.

El secado de las plántulas se llevó a cabo en un horno eléctrico de la marca Felisa® a una temperatura de  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por 24 horas, para posteriormente tomar el peso seco en gramos de las plántulas en una báscula digital marca Scientech®, modelo SG 8000.

### **3.12. Contenido de azúcar**

Después de que se tomó el dato de peso húmedo, se procedió a tomar los restos de la plántula (hojas e hipocotilo) para exprimirlas y colocar el extracto de las mismas en un refractómetro de mano de la marca Atago® modelo N-50E, para posteriormente conocer el contenido de azúcar.

### **3.13. Análisis de datos y diseño experimental**

Todos los datos se sometieron a un Análisis de Varianza, el diseño experimental utilizado fue Completamente al Azar, con un Arreglo Combinatorio (7x4) un total de 28 tratamientos con 3 repeticiones de 25 semillas por unidad experimental. Como Factor A se consideraron los genotipos y como Factor B los tipos de luz esto con el objetivo de disponer de suficientes datos para validar los resultados.

Las comparaciones entre tratamientos se efectuaron utilizando la prueba de DMS (Diferencia Mínima Significativa), todos los análisis estadísticos fueron efectuados en el programa SAS (versión 9.1) para Windows de Microsoft®, que es un programa de computadora diseñado para efectuar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Posteriormente se demostró el efecto de las condiciones de iluminación en la germinación.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las pruebas de germinación realizadas, en las diferentes longitudes de onda sobre las semillas de maíz, se pudo comprobar el efecto que tiene en las variables evaluadas. En el cuadro 1 se presentan las variables evaluadas. El análisis de datos mostró diferencias significativas en las variables: índice de brote, porcentaje de germinación, vigor, longitud de raíz y clorofila en la interacción maíz-luz. En lo sucesivo se presentarán los resultados y discusión de los factores estudiados que resultaron estadísticamente significativos.

**Cuadro 1.- Variables estudiadas en el experimento realizado con maíces y luz con diferentes longitudes de onda. UAAAN.UL.2017.**

Variables estudiadas	Maíz(A)	Luz(B)	Maíz-Luz(AXB)
1.-Índice de brote	**	**	*
2.-Porcentaje de germinación	*	*	*
3.-Vigor	**	**	*
4.-Longitud de raíz	**	**	**
5.-Clorofila	**	**	**
6.-Peso húmedo	**	**	<b>ns</b>
7.-Peso seco	**	**	<b>ns</b>
8.-Azúcar	*	**	<b>ns</b>

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); **ns** no significativo (>0.05).

Se logró apreciar los diferentes efectos que causa la luz en el crecimiento y desarrollo de las plántulas de maíz. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre las variables evaluadas en peso húmedo, peso seco y contenido de azúcar solo en la interacción de maíz y luz.

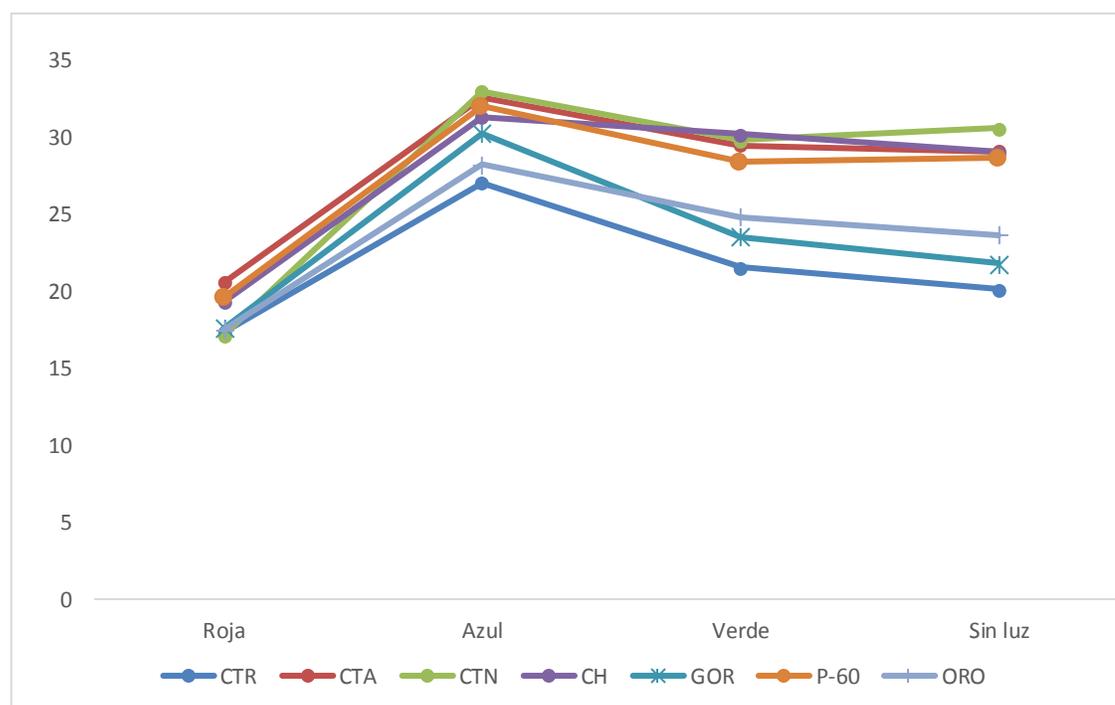
#### 4.1. Interacción de maíz-luz en la variable índice de velocidad de brote

En el cuadro 2 el mejor maíz en IVB fue el CTN-A, mientras el menor IVB lo presentó el mismo criollo con la luz roja CTN-R, tal como se muestra en la Figura 1.

**Cuadro 2.- Interacción de las luces y el Testigo con los tipos de maíces evaluados para la variable índice velocidad de brote. UAAAN.UL.2017.**

LUZ	Rojo (R)	Azul (A)	Verde (V)	Sin luz (Testigo)	Media
CTR	17.32 k	27.02 efg	21.52 hij	20.09 ijk	21.48 c
CTA	20.54 ijk	32.58 ab	29.47 abcde	29.08 bcde	27.91 a
CTN	17.12 k	32.97 a	29.83 abcde	30.58 abcde	27.62 a
CH	19.29 jk	31.3 abcd	30.19 abcde	29.05 bcde	27.45 a
GOR	17.57 k	30.24 abcde	23.53 ghi	21.8 hij	23.28 bc
P-60	19.58 jk	32.03 abc	28.41 def	28.61 cde	27.15 a
ORO	17.49 k	28.25 def	24.85 fgh	23.65 ghi	23.56 b
Media	18.41 c	30.62 a	26.82 b	26.12 b	

CTR: Criollo Tehuacán Rojo (maíz criollo), CTA: Criollo Tehuacán Azul (maíz criollo), CTN: Criollo Tehuacán Normal (maíz criollo), CH: Chojo (maíz criollo), GOR: Gorila (maíz híbrido) y ORO: Oro (maíz híbrido), P-60: Población 60 (maíz mejorado genéticamente). En cada columna, letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 1.- Comportamiento de los maíces en diferentes longitudes de onda y el Testigo en la variable índice velocidad de brote. UAAAN.UL.2017.**

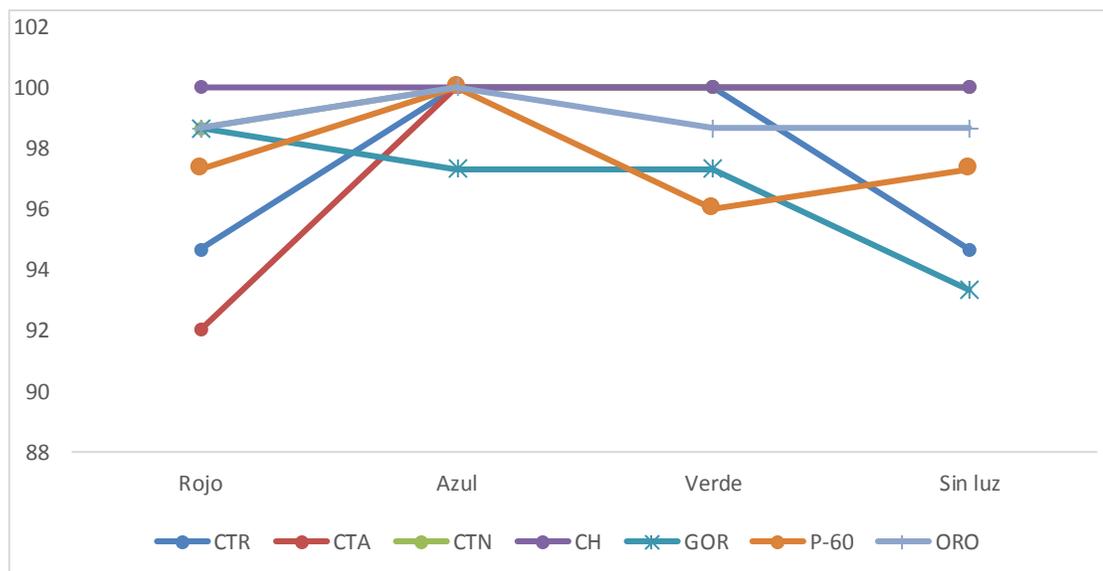
#### 4.2. Interacción de maíz-luz en la variable porcentaje de germinación

En el cuadro 3 se observan que los mejores PG se presentaron en los maíces criollos CH, en todas las luces y el Testigo. El CTA-R fue el que menor PG obtuvo.

**Cuadro 3.- Interacción de los tipos de maíces con las diferentes luces evaluadas y el Testigo, en la variable porcentaje de germinación. UAAAN.UL.2017.**

LUZ	Rojo (R)	Azul (A)	Verde (V)	Sin luz (Testigo)	Media
CTR	94.66 bcd	100.00 a	100.00 a	94.66 bcd	97.33 cd
CTA	92.00 d	100.00 a	100.00 a	100.00 a	98 abcd
CTN	98.66 ab	100.00 a	100.00 a	100.00 a	99.66 ab
CH	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a
GOR	98.66 ab	97.33 ab	97.33 abc	93.33 cd	96.66 d
P-60	97.33 abc	100.00 a	96.00 abcd	97.33 abc	97.66 bcd
ORO	98.66 ab	100.00 a	98.66 ab	98.66 ab	99.00 abc
Media	97.14 c	99.61 a	98.85 ab	97.71 bc	

CTR: Criollo Tehuacán Rojo (maíz criollo), CTA: Criollo Tehuacán Azul (maíz criollo), CTN: Criollo Tehuacán Normal (maíz criollo), CH: Chojo (maíz criollo), GOR: Gorila (maíz híbrido) y ORO: Oro (maíz híbrido), P-60: Población 60 (maíz mejorado genéticamente). En cada columna, letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 2.- Comportamiento de los maíces en los diferentes tipos de luz y el Testigo en la variable porcentaje de germinación. UAAAN.UL.2017.**

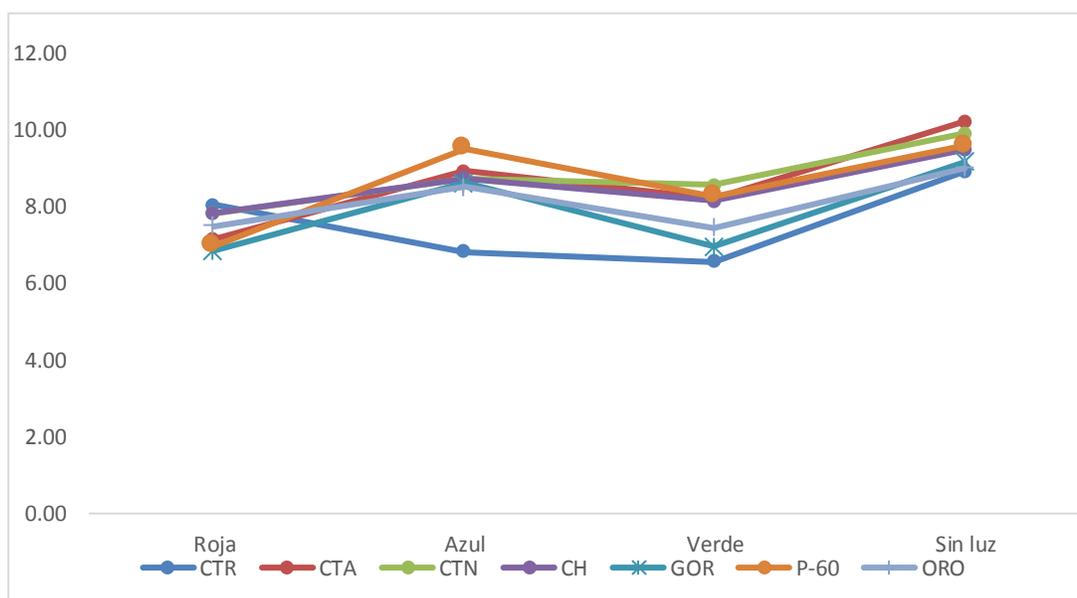
### 4.3. Interacción de maíz-luz en la variable vigor

En el cuadro 4 el mejor VG se presentó en el CTA-Testigo, mientras el CTR-V fue el que menor VG presentó en este tratamiento.

**Cuadro 4.- Interacción de los maíces trabajados con las diferentes luces empleadas y el Testigo, se presentan los valores medios en la variable vigor. UAAAN.UL.2017.**

LUZ	Rojo (R)	Azul (A)	Verde (V)	Sin luz (Testigo)	Media
CTR	8.04 efghij	6.81 kl	6.55 l	8.91 bcdef	7.57 c
CTA	7.15 ijkl	8.92 bcdef	8.20 defghi	10.21 a	8.62 ab
CTN	7.81 fghijk	8.70 cdef	8.56 cdefg	9.90 ab	8.74 a
CH	7.82 efghijk	8.73 cdef	8.14 defghi	9.48 abc	8.54 ab
GOR	6.85 kl	8.61 cdef	6.94 jkl	9.15 abcd	7.89 c
P-60	6.96 jkl	9.50 abc	8.26 defgh	9.59 abc	8.58 ab
ORO	7.48 ghijkl	8.49 cdefgh	7.43 hijkl	8.99 bcde	8.10 bc
Media	7.44 c	8.54 b	7.73 c	9.46 a	

CTR: Criollo Tehuacán Rojo (maíz criollo), CTA: Criollo Tehuacán Azul (maíz criollo), CTN: Criollo Tehuacán Normal (maíz criollo), CH: Chojo (maíz criollo), GOR: Gorila (maíz híbrido) y ORO: Oro (maíz híbrido), P-60: Población 60 (maíz mejorado genéticamente). En cada columna, letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 3.- Comportamiento de los maíces en la variable vigor, en las diferentes luces y el Testigo. UAAAN.UL.2017.**

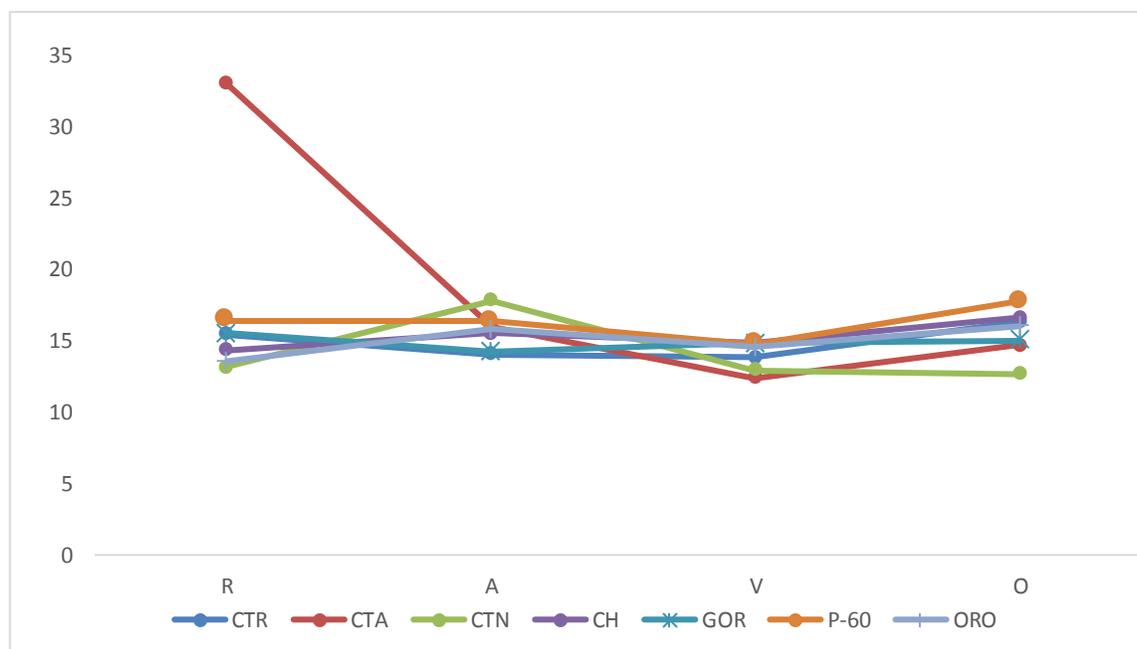
#### 4.4. Interacción de maíz-luz en la variable longitud de raíz

El maíz que mejor LR presentó en la interacción, fue el CTA-R como se ve en el cuadro 5. Mientras el que menor LR se presentó en el mismo maíz CTA-V.

**Cuadro 5.- Muestra la interacción de los maíces con las diferentes luces y el Testigo, en la variable longitud de raíz. UAAAN.UL.2017.**

LUZ	Rojo (R)	Azul (A)	Verde (V)	Sin luz (Testigo)	Media
CTR	15.45 bcdefg	14.02 cdefgh	13.85 defgh	16.32 bcd	14.91 c
CTA	32.99 a	16.03 bcde	12.36 h	14.71 cdefgh	19.02 a
CTN	13.16 fgh	17.79 b	12.97 gh	12.65 h	14.14 c
CH	14.32 cdefgh	15.5 bcdefg	14.89 cdefgh	16.63 bc	15.33 bc
GOR	15.54 bcdefg	14.23 cdefgh	14.78 cdefgh	15.05 cdefgh	14.90 c
P-60	16.43 bcd	16.32 bcd	14.74 cdefgh	17.77 b	16.31 b
ORO	13.56 efgh	15.82 bcdef	14.57 cdefgh	16.02 bcde	14.99 bc
Media	17.35 a	15.67 b	14.02 c	15.59 b	

CTR: Criollo Tehuacán Rojo (maíz criollo), CTA: Criollo Tehuacán Azul (maíz criollo), CTN: Criollo Tehuacán Normal (maíz criollo), CH: Chojo (maíz criollo), GOR: Gorila (maíz híbrido) y ORO: Oro (maíz híbrido), P-60: Población 60 (maíz mejorado genéticamente). En cada columna, letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 4.- Comportamiento de la variable longitud de raíz en los diferentes tipos de luz evaluadas y el Testigo. UAAAN.UL.2017.**

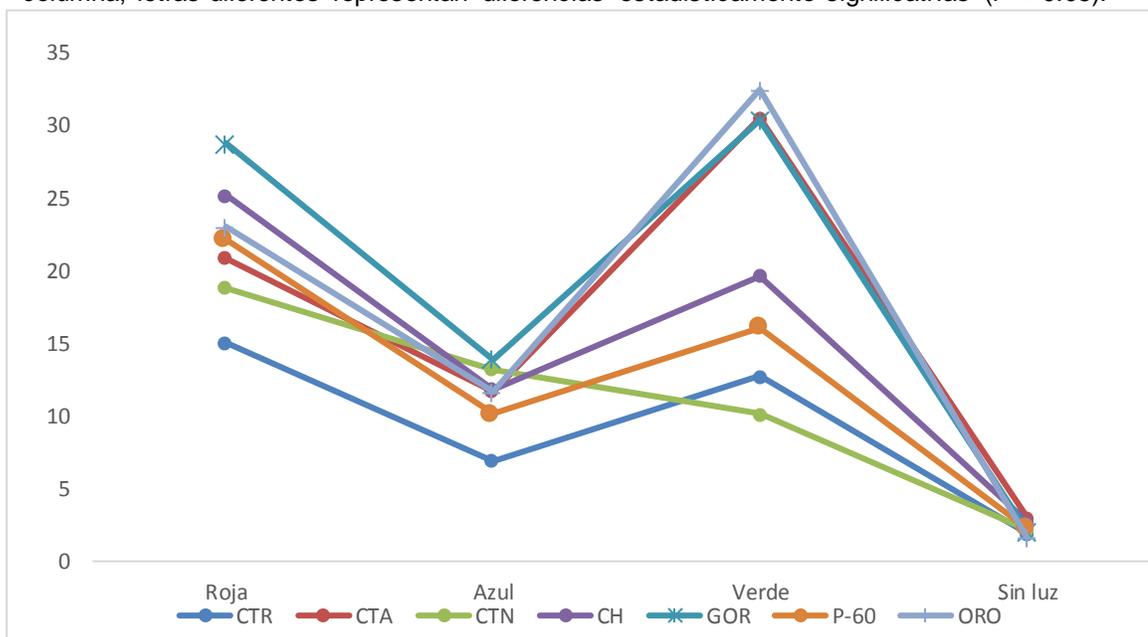
#### 4.5. Interacción de maíz-luz en la variable contenido de clorofila

El mejor contenido de CL se encontró en el maíz híbrido ORO-V, como se ve en el cuadro 6, siendo el mismo encontrado con el menor contenido de CL ORO-Testigo.

**Cuadro 6.- Muestra de la interacción maíces con los diferentes tipos de luces y el Testigo en la variable contenido de clorofila. UAAAN.UL.2017.**

LUZ	Rojo (R)	Azul (A)	Verde (V)	Sin luz (Testigo)	Media
CTR	15.04 fghij	6.90 klmn	12.73 hijk	1.92 n	9.14 d
CTA	20.87 defg	11.73 ijk	30.52 ab	3.04 lmn	16.54 ab
CTN	18.80 defghi	13.20 ghijk	10.12 jklm	2.17 n	11.07 cd
CH	25.22 abcd	11.88 hijk	19.65 defgh	2.74 lmn	14.87 abc
GOR	28.75 abc	13.93 ghijk	30.35 ab	2.09 n	18.78 a
P-60	22.14 cdef	10.15 jkl	16.09 efghij	2.25 mn	12.65 bcd
ORO	22.99 bcde	11.64 ijk	32.47 a	1.64 n	17.18 a
Media	21.97 a	11.34 b	21.7 a	2.26 c	

CTR: Criollo Tehuacán Rojo (maíz criollo), CTA: Criollo Tehuacán Azul (maíz criollo), CTN: Criollo Tehuacán Normal (maíz criollo), CH: Chojo (maíz criollo), GOR: Gorila (maíz híbrido) y ORO: Oro (maíz híbrido), P-60: Población 60 (maíz mejorado genéticamente). En cada columna, letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 5.- Comportamiento en el contenido de clorofila en los maíces evaluados, en los diferentes tipos de luz y el Testigo. UAAAN.UL.2017.**

#### **4.6. Efecto de la luz en la variable índice de velocidad de brote**

El mayor IVB se presentó en la luz azul, este fue estadísticamente superior al Testigo como se observa en el cuadro 7. El Testigo fue estadísticamente igual a la luz verde, y el menor índice de velocidad de brote se presentó en la luz roja.

Esto se debe a lo que mencionó Casierra y Pinto (2011), en que la luz azul impacta una gran variedad de aspectos del crecimiento. Por otro lado Paniagua *et al.*, (2015), demostraron que los tratamientos con luz roja presentaron mayores valores en la velocidad de germinación, esto no coincide con los datos obtenidos en el experimento, ya que el menor índice de velocidad de germinación se presentó en la luz roja.

#### **4.7. Efecto de la luz en la variable porcentaje de germinación**

Se observó un incremento en el PG en la luz azul, en comparación con el Testigo, ambos estadísticamente diferentes como se parecía en el cuadro 7. La luz azul y verde fue estadísticamente igual. El bajo porcentaje de germinación en semillas de maíz se observó en la luz roja, debido a que se tuvo el menor resultado estadísticamente en comparación con el resto de las luces. La luz roja fue estadísticamente igual al Testigo.

Se logró comprobar lo que menciona Villar (2016), el color azul aumentó la proporción de germinación. Por otra parte Marín (2016), señala que el tratamiento con luces LED rojas y azules, no generaron una diferencia significativa en la germinación, en semillas de orquídeas. Esto puede deberse al tipo de material vegetal con el que se trabajó.

Paniagua *et al.*, (2015), indicaron que los tratamientos con luz roja mostraron mayores valores en la velocidad de germinación en plántulas de brócoli. En los resultados obtenidos en este experimento la luz roja fue la que presentó menor porcentaje de germinación en comparación con la luz verde, azul y el Testigo.

#### **4.8. Efecto de la luz en la variable vigor**

El mayor VG en las plántulas de maíz crecidas se presentó en el Testigo, fue estadísticamente diferente a la luz azul como se ve en el cuadro 7. El menor vigor en las plántulas de maíz se presentó en la luz roja, esta fue estadísticamente igual a la luz verde.

En este caso el Testigo presentó el mayor vigor, las semillas germinadas con la luz verde mostraron el menor vigor, esto puede deberse a lo que demostró Villar (2016), donde menciona que el color verde disminuye crecimiento si ocupa una gran proporción de radiación. Por otro lado Casierra *et al.*, (2011), indicaron lo mismo, que el filtro verde redujo el crecimiento en plantas de fresa.

El Testigo fue germinado sin luz, Lucas (2010), menciona que si la planta germina en oscuridad, se induce un programa muy distinto de desarrollo del brote, a este programa de desarrollo se le conoce como escotomorfogénesis. En la escotomorfogénesis el hipocotilo se alarga de forma exagerada, por lo que se puede suponer que el mayor vigor en las plántulas de maíz se presentó en el Testigo.

#### **4.9. Efecto de la luz en la variable longitud de raíz**

La mayor LR se presentó en la luz roja, esta fue estadísticamente diferente al Testigo como se aprecia en el cuadro 7. El Testigo fue estadísticamente igual a la luz azul. La luz verde fue la que menor longitud de raíz obtuvo, fue estadísticamente diferente al resto de las luces y el Testigo.

Villar (2016), indicó que la longitud de las raíces no mostró diferencias significativas, lo que no coincide con los resultados obtenidos en este experimento. Dicho autor reconoce que el color verde disminuye crecimiento si ocupa una gran proporción de radiación, por lo tanto se puede decir que la menor longitud de raíz se debe principalmente a este factor.

#### **4.10. Efecto de la luz en la variable contenido de clorofila**

Los resultados en el cuadro 7, mostraron que el contenido CL fue mayor en la luz roja y verde, ambas fueron estadísticamente iguales. Por otro lado el Testigo mostró los valores más bajos en el contenido de clorofila. Se observó que la luz azul fue estadísticamente diferente al Testigo y el resto de las luces.

El alto contenido de clorofila se puede suponer a lo que menciona Villar (2016), que las plantas perciben cambios en la proporción rojo/rojo lejano, la luz roja se encuentra en las principales bandas del espectro fotosintéticamente activas. Por otro lado Meisel *et al.*, (2011), reconocieron que la luz azul provoca carencia de clorofila, cabe resaltar que probablemente, jugó un papel en los valores más bajos en el contenido de clorofila en las plántulas bajo LEDs azules.

Meisel *et al.*, (2011), indicaron que la radiación roja también afecta el movimiento de los cloroplastos, también Villar (2016), mencionó que el color rojo tiene la mayor eficiencia en conversión de energía lumínica a energía química.

Vidican y Cachita (2010), mostraron que los LEDs verdes, inhiben el contenido de clorofila en cladodios de *Opuntia*, en este caso los resultados no inhibieron el contenido de clorofila en las plántulas de maíz, las plántulas en LEDs verdes se encontraron dentro de los valores más altos en el contenido de clorofila, es decir, fue estadísticamente igual que el color rojo.

Al considerar lo que menciona Lucas (2010), que si la planta germina en oscuridad, el programa de desarrollo se le conoce como escotomorfogénesis. En este programa, se inhibe el desarrollo de los cotiledones, por lo que se mantienen cerrados y de color amarillo pálido, debido a la ausencia de clorofila. Es por esto que los valores más bajos de clorofila los encontramos en el Testigo, generado por la escotomorfogénesis.

La cantidad de fotones es mayor en la franja roja, es por eso que los vegetales emplean de forma más eficiente la radiación de la región del rojo, como lo indica Martín (2010), este complejo de respuestas explica porque los contenidos de clorofila son más altos en el color rojo.

#### **4.11. Efecto de la luz en la variable peso húmedo de las plántulas**

El análisis de datos en el cuadro 7, mostró el mayor PH de las plántulas que se encontró en la luz azul, que fue estadísticamente diferente al Testigo. El

menor PH de las plántulas se encontró en la luz roja, que fue estadísticamente igual al Testigo. La luz verde fue igual al Testigo estadísticamente.

Esto coincide con lo que demostró Villar (2016), en plántulas de tomate con luz azul, donde aumentó la biomasa en el peso húmedo.

Pero Casierra y Pinto (2011), demostraron que las plantas cubiertas con la película roja presentaron mejor calidad peso fresco en comparación con las que crecieron bajo la cobertura azul, que son resultados totalmente diferentes a comparación de lo que se obtuvo en este experimento, probablemente porque ellos trabajaron con plantas y este experimento fue con plántulas.

#### **4.12. Efecto de la luz en la variable peso seco de las plántulas**

Las plántulas crecidas bajo la iluminación con LEDs azules, presentó el mayor contenido de PS en las plántulas se encontró en la luz azul, que fue estadísticamente diferente al Testigo como se ve en el cuadro 7. El menor contenido de PS en las plántulas se encontró en la luz verde, que fue estadísticamente igual al Testigo.

Sin embargo, esto no coincide con lo que demostraron Casierra y Rojas (2009), en plántulas de brócoli bajo la cobertura azul donde tuvieron la menor producción de materia seca. Probablemente el tipo de material vegetal trabajado jugó un papel importante en el contenido de materia seca. Por otro lado Villar (2016), mostró que en plántulas de tomate en la luz azul, aumentó la biomasa tanto en el peso fresco como el peso seco.

Cabe resaltar que Casierra y Pinto (2011), demostraron que las plantas cubiertas con la película roja presentaron mejor calidad de peso seco total en

comparación con las que crecieron bajo la cobertura azul, por lo tanto se puede decir que esto no coincide con nuestros resultados. Tampoco coincide con lo que demostraron Casierra y Rojas (2009), en plántulas de brócoli bajo la cobertura roja que mostraron mayor producción de materia seca a comparación con los demás colores, esto puede ser a que ellos no emplearon iluminación con luz LED, debido a que realizaron el experimento bajo una cobertura roja, por lo que los resultados pudieron variar.

Las plántulas crecidas bajo el color verde mostraron el menor peso seco, esto se puede deber a lo que mencionaron Villar (2016) y Casierra *et al.*, (2011), en el cual el color verde disminuyó el crecimiento, por lo tanto se puede decir que al no haber gran crecimiento en las plántulas, no habrá gran contenido de materia seca.

#### **4.13. Efecto de la luz en la variable contenido de azúcar**

El predominio de AZ se presentó en las plántulas que crecieron bajo la luz roja, mostró un aumento en el contenido de azúcar en comparación con el resto de las luces y el Testigo que fue estadísticamente diferente como se observa en el cuadro 7. El menor contenido de azúcar se encontró en las plántulas que crecieron bajo la luz azul que fue estadísticamente igual a la luz verde.

Esto coincide con lo que Casierra y Pinto (2011), demostraron, que las plantas cubiertas con la película roja presentaron mejor calidad de sólidos solubles totales.

**Cuadro 7.- Valores medios de ocho variables cuantificadas en tres tipos de luz y el Testigo en condiciones de incubadora. UAAAN.UL.2017.**

Luz	IVB	PG	VG	LR	CL	PH	AZ	PS
Roja	18.41 c	97.14 c	7.44 c	17.35 a	21.97 a	12.18 c	4.59 a	0.80 b
Azul	30.63 a	99.61 a	8.54 b	15.67 b	11.35 b	15.40 a	3.34 c	1.07 a
Verde	26.83 b	98.85 ab	7.73 c	14.02 c	21.70 a	13.23 b	3.64 bc	0.72 c
Sin Luz	26.12 b	97.14 bc	9.46 a	15.59 b	2.26 c	12.85 bc	3.95 b	0.73 bc
DMS	1.35	1.61	0.42	1.01	2.98	0.94	0.41	0.07

Índice de velocidad de brote (IVB), porcentaje de germinación (PG), vigor (VG), longitud de raíz (LR), clorofila (CL), peso húmedo (PH), peso seco (PS) y azúcar (AZ). En cada columna, letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ).

## CONCLUSIONES

Este experimento tuvo una aplicación práctica e inmediata, con resultados satisfactorios. Con base a los objetivos planteados y los resultados obtenidos se logró estudiar la influencia de diferentes longitudes de onda de LEDs en la germinación, desarrollo y crecimiento de plántulas de maíz.

Se comprobó que el mayor índice en velocidad de brote (IVB) y el porcentaje de germinación (PG) fue bajo la luz azul.

Por lo que se puede sugerir si se quiere tener un porcentaje de germinación alto o mejorar el índice en velocidad de brote, adecuar la iluminación en las semillas de maíz para buscar en cierta manera aumentar mejorar estas variables.

Estas características requieren más investigación para ampliar el panorama en la interacción que el maíz tiene con la luz.

## VII BIBLIOGRAFÍA

- Arnesto A., A., A. Wilson, R. Lobo J. 2015. Efectos de la radiación electromagnética sobre la germinación del maíz. *Tecnura*. 19(45): 65-73
- Besnier, R.F. 1989. *Semillas: Biología y Tecnología*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 637 p.
- Bourget, C.M. 2008. An Introduction to Light-emitting Diodes. *HortScience*. 47(7):1944-1946.
- Casierra P., F. y J.F. Rojas B. 2009. Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Agronomía Colombiana*. 27(1):49-55.
- Casierra P., F. y J.R. Pinto C. 2011. Crecimiento de plantas de remolacha (*Beta vulgaris* L. var. Crosby Egipcia) bajo coberturas de color. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*. 64(2): 6081-6091.
- Casierra P., F., J.E. Peña O. y C. Ultrichs. 2011. Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) afectadas por la calidad de luz: implicaciones agronómicas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 14(2):43-53.
- Chica R., M.T. Lao y E. Almansa. 2016. Evaluación de LEDs para uso agronómico. II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. Automatización y TICs en agricultura

Domínguez P., A., C. Hernández A., A. Cruz O., A. Carballo C., R. Zepada B., y E. Martínez O. 2010. Semilla de maíz bajo la influencia de irradiación de campos electromagnéticos. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(2): 183-188.

Folta, K. M., and K. S. Childers. 2008. Light as a growth regulator: controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *HortScience.* 43(7):1957-1964.

Folta, K.M. 2004. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition. *Plant Physiology.* 135(3):1407-1416.

Francescangeli, N., M. A. Sangiacomo and H. R. Martí. 2007. Vegetative and reproductive plasticity of broccoli at three levels of incident photosynthetically active radiation. *Spanish Journal of Agricultural Research.* 5(3):389-401.

Gutiérrez H., G.F., J. Virgen V., J.L. Arellano V. 2007. Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural. *Agronomía Mesoamericana* 18(2): 163-170.

INEGI. 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=10027> [fecha de consulta 11/nov/2017].

INEGI. 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/default.aspx#> [fecha de consulta 11/nov/2017].

International Seed Testing Association (ISTA). 1999. International rules for seed testing. Seed Sci. Tech. 27 (suppl): 333 p.

Láynez G., J.A., J.R. Méndez N., y J. Mayz F. 2007. Efecto de soluciones salinas sobre la germinación de semilla de dos cultivares de maíz. Bol. Centro Invest. Biol. 41(1): 73-85.

Láynez G., J.A., J.R. Méndez N., y J. Mayz F. 2007. Germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico simulado. Bol. Centro Invest. Biol. 41(2): 137-150.

Láynez G., J.A. y J.R. Méndez N. 2007. Efectos de extractos acuosos de la maleza *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3031. Rev. Perú. Biol. 14(1):55-60

Láynez G., J.A., J.R. Méndez N., y J. Mayz F. 2008. Efecto del potencial osmótico y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. Rev. Esp. Cienc. Quím. Biol. 11(1):26-34.

Lucas T., M. de. 2010. Control hormonal de la respuesta a la luz en *Arabidopsis thaliana*. Tesis. Doctorado. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. 164 p.

Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science. 2(2):176-177.

- Marín P., L. 2016. Estudio de la influencia de diferentes longitudes de onda de luz LED en la germinación de una orquídea (*Encyclia* sp.). Tesis. Licenciatura. Universidad Federal de Integración Latinoamericana. Foz do Iguacu, Paraná, Brasil. 49 p.
- Martín R., P., L.M. Navas G., S. Hernández N., A. Corrêa G., J. Martín G., E. Martín B., P. Chamorro P., y J.M. Durán A. 2010. Diodos emisores de luz para la irradiación de plantas. Universidad de Valladolid. Scribd.
- Martínez S., J., J. Virgen V., M.G. Peña O., y A.S. Romero. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 1(3): 289-304.
- Meisel, L. A., D. C. Urbina y M. E. Pinto. 2011. Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales lumínicas. Fisiología vegetal. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile. pp. 1-10.
- Mendoza E., M., L. Latournerie, E. Moreno, G. Castañón, J. Cruz C., C. León de., y J.G. García. 2004, Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. Agronomía Mesoamericana. 15(2): 155-160.
- Molina M., J. C., V.A. González H., A. Carballo C., M. Livera M., F. Castillo G., M.L Ortega D. 2003. Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación. Rev. Fitotec. Mex. 26 (4): 271-277.

Molina M., J. C. 1990. Análisis de la enseñanza, producción e investigación de semillas en México. SOMEFI. Chapingo, México. 205 p.

Montaldi, E. 1992. Morfogénesis vegetal. Una mini revisión. Agriscientia. 9(1):31-36.

Moreno, C.P. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas UNAM-FAO (Universidad Nacional Autónoma de México-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Serie de publicación N° 1. Ciudad de México, México. 601 p.

Morrow, R.C. 2008. LED Lighting in Horticulture. HortScience. 43(7):1947-1950.

Navarro P., V. 2013. Análisis de la utilización de luz emitida por lámparas de diodo (LEDS) en la producción in vitro para la obtención de semilla prebásica de *Solanum tuberosum*. Tesis. Ingeniería. Universidad Católica Argentina. Buenos Aires, Argentina. 36 p.

Oishi, M. Y. and J. D. Bewley. 1992. Premature drying, fluridone-treatment, and embryo isolation during development of maize kernels (*Zea mays* L.) induce germination, but the protein synthetic responses are different. Potential regulation of germination and protein synthesis by abscisic acid. J. Exp. Bot. 43: 759-767.

Paniagua P., G. C. Hernández A., F. Rico M., F. A. Domínguez P., E. Martínez O. y C. L. Martínez G. 2015. Efecto de la luz LED de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). Polibotánica. 40(13):199-212.

- Peña V., C.B., R. García N., J.R. Aguirre R., and C. Trejo L. 2002. The effects of high temperature on dormancy and hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seed Science. Technology. 30:231-248.
- Peretti, A. 1994. Manual para análisis de semillas. Hemisferio sur. Argentina. 233 pp.
- Ramírez R. y C. Vicente. 1976. Condiciones de destrucción y neosíntesis de fitocromo en cotiledones de *Citrullus vulgaris*. Lagasalia 6(1):33-38.
- Ramírez, C., M. Romero, O. Henríquez. 1980. Estudios de germinación en semillas de mirtáceas chilenas. Bosque. 3(2): 106-114.
- Román P., R. 2000. Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. Rev. Soc. Quím. Méx. 44(3): 233-236.
- Sánchez U., A. B., C.B. Colmenares, C.B. Peña V., A. Marrugo, y M. Urdaneta. 2011. Efecto del potencial de agua del sustrato en la germinación de maíz (*Zea mays* L.) Rev. Fac. Agron. 28(1):51-61.
- Teruel, M.E., C.A. Biasutti, M.C. Nazar y D.A. Peiretti. 2008. Efectos de aptitud combinatoria para vigor de plántula bajo estrés hídrico en maíz. Agriscientia. 15(1):27-34.

- Vidican, T.I., and C.D. Cachita. 2010 Determination of assimilator pigment content in cladodes of *Opuntia fragilis* var. *fragilis* exposed to light of different colors emitted by LEDs. *Vasile Goldis*. 20(2):49-54.
- Villar A., E. 2016. Diseño e implantación de un sistema de iluminación suplementario LED en un invernadero de investigación en la Grajera, Logroño (La Rioja). Tesis. Licenciatura. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 224 p.
- Viloria, H. y J.R. Méndez N. 2011. Relación entre la conductividad eléctrica, pH del agua de remojo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo dos condiciones experimentales. *Scientia Agropecuaria*. 2: 213-228.
- Walker, T. S., H.P. Bais, T. Grotewold, and J.M. Vivanco. 2003. Root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiol*. 132: 44-51.
- Willenborga, C.J., J.C. Wildemanc, A.K. Millerb, B.G. Rosnageld, and S.J. Shirliff. 2005. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Science*. 45: 2023-2029.
- Wilson, S.B., K. Iwabuchi, N.C. Rajapakse, and R.E. Young. 1998. Responses of broccoli seedlings to light quality during low-temperature storage in vitro: I. Morphology and survival. *HortScience*. 33(7):1253-1257.

## VII.- Anexo

**Cuadro 8.- Análisis de varianza para la variable índice de brote en las semillas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	S.
TRATAMIENTOS	27	2307.811			
MAIZ	6	500.499	83.416	17.28	<.0001 **
LUZ	3	1651.219	550.406	114.01	<.0001**
MAIZ-LUZ	18	156.094	8.672	1.8	0.0492*
ERROR	56	270.348			
TOTAL	83	2578.159			
C.V.	8.616				

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); NS No significativo (>0.05); FV: Fuentes de variación; G.L.: Grados de libertad, S.C.: Suma de cuadrados, C.M.: Cuadrados medios, F.C.: F calculada, S.: significancia y C.V.: Coeficiente de variación

**Cuadro 9.- Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación en las semillas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	S.
TRATAMIENTO	27	422.667			
MAIZ	6	112.000	18.667	2.72	0.0216*
LUZ	3	78.286	26.095	3.81	0.0149*
MAIZ-LUZ	18	232.381	12.910	1.88	0.0149*
ERROR	56	384.000			
TOTAL	83	806.667			
C.V.	2.663				

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); NS No significativo (>0.05); FV: Fuentes de variación; G.L.: Grados de libertad, S.C.: Suma de cuadrados, C.M.: Cuadrados medios, F.C.: F calculada, S.: significancia y C.V.: Coeficiente de variación

### **Cuadro 3.A.**

**Cuadro 10.- Análisis de varianza para la variable vigor en las semillas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	S.
TRATAMIENTO	27	82.777			
MAIZ	6	14.068	2.345	5.07	0.0003**
LUZ	3	51.819	17.273	37.33	<.0001**
MAIZ-LUZ	18	16.890	0.938	2.03	0.0229*
ERROR	56	25.914			
TOTAL	83	108.691			
C.V.	8.200				

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); NS No significativo (>0.05); FV: Fuentes de variación; G.L.: Grados de libertad, S.C.: Suma de cuadrados, C.M.: Cuadrados medios, F.C.: F calculada, S.: significancia y C.V.: Coeficiente de variación

**Cuadro 11.- Análisis de varianza para la variable longitud de raíz en las plántulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	S.
TRATAMIENTO	27	1092.760			
MAIZ	6	188.697	31.450	11.6	<.0001 **
LUZ	3	116.363	38.788	14.3	<.0001 **
MAIZ-LUZ	18	787.699	43.761	16.14	<.0001 **
ERROR	56	151.868			
TOTAL	83	1244.627			
C.V.	10.514				

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); NS No significativo (>0.05); FV: Fuentes de variación; G.L.: Grados de libertad, S.C.: Suma de cuadrados, C.M.: Cuadrados medios, F.C.: F calculada, S.: significancia y C.V.: Coeficiente de variación

**Cuadro 12.- Análisis de varianza para la variable clorofila en las plúmulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	S.
TRATAMIENTO	27	7620.047			
MAIZ	6	880.694	146.782	6.31	<.0001**
LUZ	3	5613.186	1871.062	80.48	<.0001**
MAIZ-LUZ	18	1126.167	62.565	2.69	0.0024**
ERROR	56	1301.872			
TOTAL	83	8921.919			
C.V.	33.657				

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); NS No significativo (>0.05); FV: Fuentes de variación; G.L.: Grados de libertad, S.C.: Suma de cuadrados, C.M.: Cuadrados medios, F.C.: F calculada, S.: significancia y C.V.: Coeficiente de variación

**Cuadro 13.- Análisis de varianza para la variable peso húmedo en las plántulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	S.
TRATAMIENTO	27	411.886			
MAIZ	6	219.243	36.540	15.55	<.0001**
LUZ	3	122.065	40.688	17.32	<.0001**
MAIZ-LUZ	18	70.578	3.921	1.67	0.074 NS
ERROR	56	131.553			
TOTAL	83	543.440			
C.V.	11.422				

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); NS No significativo (>0.05); FV: Fuentes de variación; G.L.: Grados de libertad, S.C.: Suma de cuadrados, C.M.: Cuadrados medios, F.C.: F calculada, S.: significancia y C.V.: Coeficiente de variación

**Cuadro 14.- Análisis de varianza para la variable peso seco en las plántulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	S.
TRATAMIENTO	27	3.221			
MAIZ	6	1.080	0.180	13.51	<.0001 **
LUZ	3	1.765	0.588	44.15	<.0001 **
MAIZ-LUZ	18	0.376	0.021	1.57	0.1017 NS
ERROR	56	0.746			
TOTAL	83	3.968			
C.V.	13.855				

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); NS No significativo (>0.05); FV: Fuentes de variación; G.L.: Grados de libertad, S.C.: Suma de cuadrados, C.M.: Cuadrados medios, F.C.: F calculada, S.: significancia y C.V.: Coeficiente de variación

**Cuadro 15.- Análisis de varianza para la variable contenido de azúcar en las plántulas de maíz y tipo de luz estudiados. UAAAN.UL.2017.**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	S.
TRATAMIENTO	27	35.123			
MAIZ	6	6.698	1.116	2.51	0.0321*
LUZ	3	18.092	6.031	13.54	<.0001**
MAIZ-LUZ	18	10.333	0.574	1.29	0.2303 NS
ERROR	56	24.933			
TOTAL	83	60.057			
C.V.	17.183				

\* Significativo (0.05); \*\* Altamente significativo (0.01); NS No significativo (>0.05); FV: Fuentes de variación; G.L.: Grados de libertad, S.C.: Suma de cuadrados, C.M.: Cuadrados medios, F.C.: F calculada, S.: significancia y C.V.: Coeficiente de variación