



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

TEMA

Efecto de la intensidad lumínica de lámparas LED en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*)

AUTORA

Jiménez Pérez Luz Elena

Trabajo de Titulación Previo a la obtención del título de

**INGENIERA AGROPECUARIA
Con Mención en Gestión Empresarial Agropecuaria**

TUTOR

Ing. Agr. Donoso Bruque Manuel Enrique M. Sc.

Guayaquil, Ecuador

2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Luz Elena Jiménez Pérez**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniera Agropecuaria**.

TUTOR

Ing. Agr. Manuel Enrique Donoso Bruque M. Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. John Eloy Franco Rodríguez M. Sc.

Guayaquil, a los 17 días del mes de marzo del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Luz Elena Jiménez Pérez

DECLARO QUE:

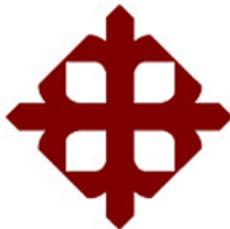
El Trabajo de Titulación Efecto de la intensidad lumínica de lámparas LED en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) previa a la obtención del Título **de Ingeniera Agropecuaria**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 días del mes de marzo del año 2016

LA AUTORA

Luz Elena Jiménez Pérez



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA
AUTORIZACIÓN**

Yo, Luz Elena Jiménez Pérez

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación Efecto de la intensidad lumínica de lámparas LED en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*), cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de marzo del año 2016

LA AUTORA

Luz Elena Jiménez Pérez

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

Gracias a mis padres y mi hermana por ser los principales motores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por acompañarme en cada decisión; gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Gracias a todas mis amigos y compañeros que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

También me gustaría agradecer a mi tutor de tesis, Ing. Manuel Donoso por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto.

A mi profesor, Ing. Ángel Llerena por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.

Y finalmente me gustaría agradecer a mis amigos, Alberto Hidalgo y Carlos González, quienes no sólo fueron mis mejores amigos sino también mis hermanos, gracias por reír y llorar conmigo, me supieron escuchar y dar su apoyo durante este largo trayecto.

Luz Elena Jiménez Pérez

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a cada uno de los agricultores ecuatorianos, especialmente a mi abuelo, Oswaldo Jiménez.

“La agricultura, para un hombre honorable y de alto espíritu, es la mejor de todas las ocupaciones y artes por medio de las cuales un hombre puede procurarse el sustento.”

JENOFONTE

Escritor y militar griego

(430-355 a.C.)

Luz Elena Jiménez Pérez



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

CALIFICACIÓN

Ing. Agr. Manuel Enrique Donoso Bruque M. Sc.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. General	2
1.1.2. Específicos.....	2
1.2. Hipótesis.....	2
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. La luz y las plantas	3
2.1.1. Conceptos básicos de la luz solar y la radiación solar.	3
2.1.2. Importancia de la luz en el desarrollo de plantas.....	3
2.1.3. Fotosíntesis.....	4
2.1.4. Fototropismo	6
2.1.5. Fotoperiodicidad.....	6
2.1.6. Fotomorfogénesis.....	7
2.2. Variable fisiológica de producción vegetal relacionada con la luz	8
2.2.1. Clorofila y otros pigmentos.....	8
2.2.2. Biomasa, azúcar y almidón.	8
2.2.3. Auxinas y prolinas.	9
2.3. Iluminación artificial en sistemas de producción agrícola	9
2.3.1. Sistemas de iluminación artificial comunes en uso agronómico.....	9
2.3.2. Lámparas incandescentes	11
2.3.3. Lámparas de alta intensidad de descarga.....	12
2.3.4. Lámparas fluorescentes	13

2.3.5.	Nuevas fuentes de iluminación: LED.....	13
2.4.	Diodo emisor de luz	15
2.4.1.	Historia del diodo emisor de luz	15
2.4.2.	El LED como elemento generador de luz.....	15
2.4.3.	Ventajas de la luz LED frente a otros sistemas de iluminación	16
2.5.	Aplicaciones de los LEDs en iluminación de invernaderos	17
2.5.1.	Experiencias en iluminación de invernaderos de investigación.....	17
2.5.2.	Las experiencias de la NASA con LEDs y OLEDs	18
2.6.	Producción de hortalizas a nivel de invernadero	18
2.6.2.	Hortalizas cultivadas en invernadero.....	19
2.7.	Producción agrícola urbana	22
2.7.1.	Situación de la agricultura urbana en América Latina	22
2.7.1.	Agricultura urbana	23
2.7.2.	Agricultura periurbana	24
3.	MARCO METODOLÓGICO	25
3.1.	Ubicación del ensayo.....	25
3.2.	Características climáticas	25
3.3.	Materiales	25
3.4.	Factores Estudiados	26
3.4.1.	Tratamientos estudiados.....	26
3.4.2.	Combinación de tratamientos.....	27
3.5.	Diseño experimental	27
3.6.	Análisis de varianza	27

3.7.	Análisis funcional	28
3.8.	Manejo del experimento.....	28
3.8.1.	Implementación del invernadero	28
3.8.1.	Sistema de riego	28
3.8.2.	Trasplante	28
3.8.4.	Control de malezas	28
3.8.5.	Control fitosanitario	28
3.8.6.	Fertilización	28
3.8.7.	Cosecha.....	28
3.9.	Variables.....	29
3.9.1.	Primera Evaluación	29
3.9.2.	Segunda Evaluación	29
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1.	Altura de planta a los 8 días	31
4.2.	Altura de planta a los 16 días	33
4.3.	Número de hoja a los 8 días	35
4.1.	Número de hoja a los 16 días	37
4.2.	Longitud de hoja a los 8 días.....	38
4.3.	Longitud de hoja a los 16 días	40
4.4.	Análisis de consumo eléctrico.....	42
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
5.1.	Conclusiones	44
5.2.	Recomendaciones	45

BIBLIOGRAFIA 46

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Regiones del espectro electromagnético.....	10
Tabla 2. Longitudes de onda de LEDs y descripción de color.....	16
Tabla 3. Comparación de características de fuentes de luz más usadas.....	17
Tabla 4. Descripción de la lechuga de acuerdo al tipo y variedad.....	21
Tabla 5. Valor nutritivo de la lechuga, por 100 gramos de hoja fresca.	22
Tabla 6. Análisis de la varianza, en altura de planta evaluado a los 8 días.....	31
Tabla 7. Promedios de altura de planta evaluada a los 8 días.	31
Tabla 8. Análisis de la varianza, altura de planta determinada a los 16 días ...	33
Tabla 9. Promedios de altura de planta a los 16 días.....	33
Tabla 10. Análisis de la varianza, del número de hojas evaluado a los 8 días. 35	
Tabla 11. Promedios del número de hojas determinados a los 8 días	36
Tabla 12. Análisis de la varianza del número de hojas evaluada a los 16 días 37	
Tabla 13. Promedios de número de hoja a los 16 días	38
Tabla 14. Análisis de la varianza, en longitud de hoja evaluado a los 8 días ...	39
Tabla 15. Promedios de longitud de hoja a los 8 días.....	39
Tabla 16. Análisis de varianza, longitud de hoja a los 16 días	41
Tabla 17. Promedios de longitud de hoja a los 16 días	41
Tabla 18. Consumo de energía eléctrica de las lámparas empleadas	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Espectro electromagnético	4
Gráfico 2. Proceso fotosintético	5
Gráfico 3. Efecto de la luz en el desarrollo de las plantas.	7
Gráfico 4. Estructura de una lámpara incandescente	11
Gráfico 5. Principales partes de una lámpara de alta intensidad.	12
Gráfico 6. Estructura de una lámpara fluorescente.....	13
Gráfico 7. Estructura de un LED	14
Gráfico 8. Altura de planta a los 8 días de trasplante	32
Gráfico 9. Altura de planta a los 16 días de trasplante	34
Gráfico 10. Número de hoja a los 8 días de trasplante	37
Gráfico 11. Longitud de hoja a los 8 días.....	40

RESUMEN

El presente trabajo experimental tuvo los siguientes objetivos: analizar las diferencias significativas entre los tratamientos de distintas fuentes de luz utilizados, examinar el desarrollo agronómico de lechuga bajo los efectos de las diferentes lámparas implementadas. Los factores en estudio fueron las dos variedades de lechuga; SaladBowl y WinterHaven, y tres sistemas de iluminación artificial, dos lámparas LED GlobalStar 150 W, LED HHE UFO 135 W y tubos fluorescentes 80 W.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo experimental, podemos concluir: los cultivares de lechuga SaladBowl y WinterHaven a los 8 días de trasplante, presentaron alta eficiencia en las variables estudiadas en los tratamientos bajo el efecto de lámpara LED 150 W, sin embargo en los tratamientos bajo lámparas LED 135 W y lámparas fluorescente 80 W, presentó resultados inferiores en cuanto a altura de planta y longitud de hoja.

Las plantas de los dos tipos de cultivares de lechuga a los 16 días de trasplante presentaron una etiolación como respuesta de fotomorfogénesis.

Palabras Claves: Lechuga, SaladBowl, WinterHaven, lámparas, LED.

ABSTRACT

This experimental work had the following objectives: to analyze the significant differences between treatments in different light source, examine the agronomic development of lettuce under the influence of the different lamps implemented.

The factors studied were the two lettuce`s varieties and three types of artificial lighting. The two lettuce`s varieties were SaladBowl and Winterhaven, and the three types of LED lamps 150 W Globalstar, HHE LED UFO 135 W and 80 W fluorescent tubes.

According to the results of this experimental work, we reached the following conclusions: The lettuce cultivars SaladBowl and WinterHaven in 8 days of transplantation, showed high efficiency in the variables studied in the treatment under the effect of LED lamp 150 W, but in the treatments under 13 5W LED lamps and fluorescent lamps 80 W, it was not so effectively in terms of plant height and leaf length.

The two plants of lettuce cultivars on the 16th day of transplantation they showed etiolation response of Photomorphogenesis.

Keywords: Lettuce, Salad Bowl, Winterhaven, lamps, LED.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en ambientes controlados se impone como una nueva técnica para promover el uso de invernaderos e implementación de nuevas tecnologías, para la producción hortícola y cultivos estratégicos.

En la actualidad, uno de los temas más estudiados en la agricultura es la iluminación de los ambientes controlados para la producción vegetal. La intensidad y naturaleza de las longitudes de ondas que componen el espectro lumínico actúan de manera diferente en la fotosíntesis, crecimiento, transpiración y respiración de las plantas.

Durante los últimos años, se ha puesto énfasis en desarrollar y estudiar nuevas tecnologías de sistemas de iluminación para invernaderos con el objetivo de mejorar la calidad de plantas y la producción. Los tubos de luz fluorescente son el sistema de iluminación artificial más empleado, ya que resulta más económicas en comparación con otras fuentes de luz. No obstante, este sistema de iluminación artificial presenta la desventaja, de incrementar la temperatura por la emisión de ondas infrarrojas; por lo cual se vuelve necesario el uso de sistema de enfriamiento, dando como consecuencia un aumento del costo de producción.

La nueva tecnología en incorporarse al área de la agricultura en ambientes controlados son las lámparas de diodo o también conocidas como LEDs; la cual presenta varias ventajas entre ellas: su bajo consumo eléctrico, larga vida útil y carecen de productos considerados peligrosos. Cabe recalcar que los sistemas de iluminación LED son una tecnología nueva en lo que se refiere a la

iluminación de plantas y, por consiguiente, se necesita de investigación para determinar su mejor uso y aplicación especialmente en hortalizas.

La siembra de hortalizas en Guayas está en manos de los pequeños y medianos agricultores, pero debido a la evolución de las costumbres alimenticias de la población hacia un mayor consumo de hortalizas en su dieta diaria. Según Ofiagro, en el 2012, se registró una producción de 455 433 tn a nivel nacional. La producción de hortalizas es una elección para los pequeños agricultores por su gran diversidad de productos.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Evaluar el efecto de la intensidad lumínica a través de dos tipos de lámparas LED en la producción de cultivo de lechuga, en un medio controlado.

1.1.2. Específicos

- Analizar las diferencias estadísticas entre los tratamientos de distintos fuente de luz utilizados.
- Evaluar el desarrollo agronómico de lechuga bajo los efectos de las diferentes lámparas LED implementadas.
- Elaborar un análisis de consumo eléctrico del uso de lámparas LED para un medio controlado.

1.2. Hipótesis

“Las lámparas LED con espectro azul y rojo con una intensidad lumínica mayor a 100 W incrementan la producción de biomasa vegetal en lechuga, en comparación con las lámparas fluorescentes comunes usadas hasta ahora.”

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La luz y las plantas

2.1.1. Conceptos básicos de la luz solar y la radiación solar.

La Luz solar es la primordial fuente de energía para los ecosistemas, la cual es capturada mediante la fotosíntesis por las plantas mientras que la energía es almacenada por los enlaces químicos de los compuestos orgánicos (Gliessman, 2002, p. 43).

Se conoce como radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol que viajan a la velocidad de la luz 300 000 km /s. La radiación solar comprende desde las radiaciones infrarrojas hasta las ultravioletas, quedando en el centro, la luz visible para el ojo humano (Roldán J. , 2012, p. 14).

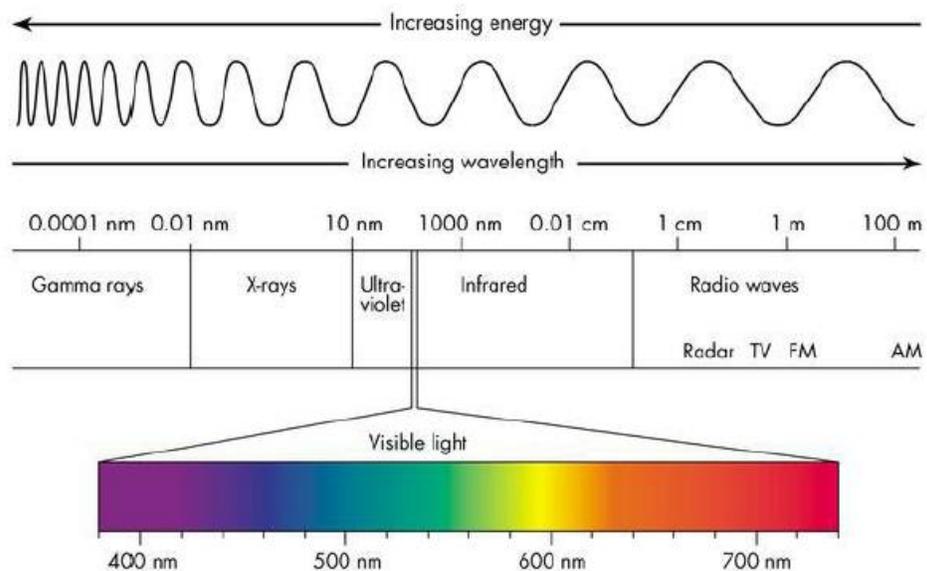
La radiación solar consiste en un flujo de fotones, estos contienen la energía y la masa relacionada a la radiación. Por lo tanto los varios tipos de radiaciones se diferencian por los fotones que la constituyen, estando la energía en cada fotón establecida por la frecuencia de la radiación, debido a que esta y la frecuencia están recíprocamente relacionadas por la velocidad de la luz (De la Rosa, 2005, p. 16).

2.1.2. Importancia de la luz en el desarrollo de plantas

La energía que proviene del sol es expresada como la constante solar, equivalente a $1.94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} = 136 \text{ mWm}^{-2}$. Aproximadamente el 65 % de esta llega a la superficie terrestre al mediodía, pero cerca del 42 %; expresado $2\ 300 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 0.59 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} = 40 \text{ mWm}$, lo cual corresponde al espectro visible, que pueden ser considerado similar a la radiación fotosintéticamente activa, se define como RFA o PhAR (Roldán & Ramírez, 2008, p. 143).

La luz solar o radiación visible es elemental para el desarrollo de las plantas, las cuales presentan una perceptibilidad a la radiación distinta a la del ojo humano en las regiones del espectro electromagnético que abarca desde el UV hasta los 740 nm, controlan diversos aspectos como el crecimiento y desarrollo (Martín, *et al.*, 2010, p. 2).

Gráfico 1: Espectro electromagnético



Fuente: Fontal (2005)

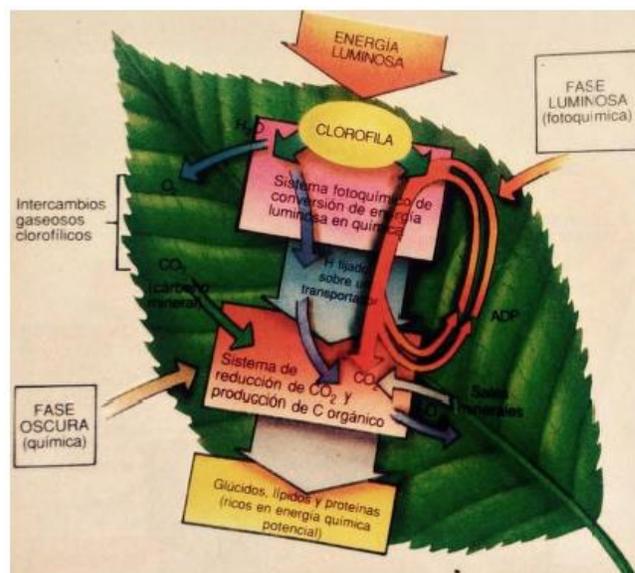
2.1.3. Fotosíntesis

Según Pérez (2011, pp. 2-5), define la fotosíntesis como un proceso físico-químico en el cual las algas, las plantas y las bacterias fotosintéticas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos.

Taiz y Zeiger (2006, p. 316), afirman que la luz juega un papel significativo en la fotosíntesis; solo las longitudes de onda desde 400 nm a 700 nm son útiles para la fotosíntesis debido a que los demás son nocivos para los seres vivos.

La luz visible es la radiación donde la longitud de onda abarca entre 400 y 700 nm, la cual es de apariencia blanca pero se constituye de diferentes colores como lo demostró Newton, cada uno perteneciente a un rango de ese intervalo. Las radiaciones de longitud de onda menor a 400 nm y 700 nm no pueden ser utilizadas para el proceso de fotosíntesis, sin embargo ayudan a numerosos efectos biológicos.

Gráfico 2: Proceso fotosintético



Fuente: Camacho, (1999)

La fotosíntesis inicia por la absorción de la energía lumínica y su transformación en trifosfato de adenosina (ATP) y nicotinamida adenina dinucleótido fosfato en las membranas internas de los cloroplastos. Los estomas absorben el CO₂ y su reducción a triosas fosfato ocurre en los cloroplastos, específicamente en el estroma con la ayuda de varias enzimas. Varios factores los cuales la fotosíntesis puede ser perjudicado, como pueden ser la intensidad de la luz, grado de apertura de los estomas y las concentraciones de CO₂ en el medio (Collazo, 2006, p. 7).

2.1.4. Fototropismo

El desarrollo diferencial que muestran las plantas en dirección a una fuente luminosa contigua principalmente luz de color azul, es denominado fototropismo. Para la comprobación de esta teoría se realizaron gran cantidad de experimentos, lo que conllevó al aislamiento del gen que codifica para la fototropina (Pérez y Carlos, 2003, pp. 47-52).

Existen dos tipos de fototropismo, cuando el crecimiento de un brote con dirección a la luz es conocido como fototropismo positivo, mientras que el desarrollo en dirección contraria a la luz se lo nombra fototropismo negativo (Campbell y Reece, 2007, p. 792).

2.1.5. Fotoperiodicidad

Se denomina fotoperiodicidad a la capacidad que poseen animales y plantas para medir la longitud del día en su entorno, lo cual les posibilita determinar la estación del año en la que se encuentran y adaptar sus variables fisiológicas para que de esta manera poder ejecutar adaptaciones fisiológicas (Salvetti, *et al.*, 2002, pp. 21-29).

Según Josep Maroto (2005, p. 65), las plantas se clasifican en respuesta a la fotoperiodicidad, en tres grandes grupos:

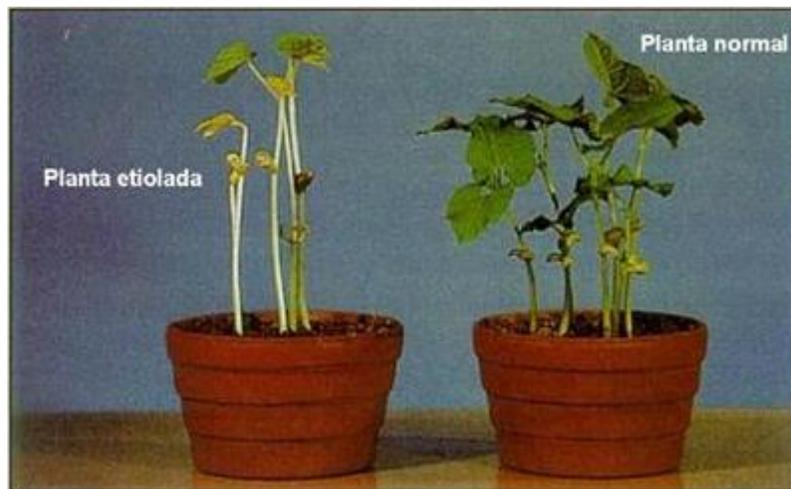
- Plantas de día largo, aquellas que para florecer necesitan de una duración del período iluminado superior a las 12 horas. Ejemplo: rábano, zanahoria, espinaca, remolacha.
- Plantas de día corto, son aquellas que para florecer precisan una duración del hemoperíodo menor a la del período oscuro. Como por ejemplo: camote, algunos cultivares de patata, judías, crisantemo, flor de pascua, cultivares de reflorecientes de fresón, etc.

- Plantas indiferentes: aquellas en las que la floración no se ve influida por la durabilidad del fotoperiodo, como berenjenas, tomates, pimientos, clavel, petunia.

2.1.6. Fotomorfogénesis

La fotomorfogénesis se define como el crecimiento y desarrollo directamente dependientes de la luz pero no relacionados con la fotosíntesis. Los fenómenos fotomorfogenéticos son respuestas de alta intensidad (HIR), y muestran dependencia de la irradiación. Mientras que los fenómenos de inducción-reversión sólo responden a las variaciones de la longitud de onda de la luz, los de tipo HIR responden tanto a las variaciones de la longitud de onda como a la irradiación total (Alabadi, Gil, Garcia, Garcia, y Blázquez, 2004, p. 115).

Gráfico 3: Efecto de la luz en el desarrollo de las plantas.



Fuente: Ting, 1982.

2.2. Variable fisiológica de producción vegetal relacionada con la luz

La luz es uno de los elementos indispensables del entorno vegetal ya que no sólo es una fuente directa de energía, sino un regulador de procesos fisiológicos en los vegetales (Casierra-Posada, Nieto, y Ulrichs, 2012, págs. 97-105).

2.2.1. Clorofila y otros pigmentos

Según Curtis y Schnek (2006, p. 112), una de las sustancias encargada de absorber la energía de la luz es conocida como pigmentos y usan la luz de todas las longitudes de onda, por lo tanto tienen un color negro. Ciertos pigmentos absorben ciertas longitudes de onda y reflejan aquellas longitudes que no. La clorofila, es el pigmento encargado que las hojas tengan color verde, absorbe la luz de espectro violeta, azul y rojo; ya que transmite y refleja la luz verde.

Existen varios tipos de clorofila, con una alteración en su espectro de absorción y en su estructura molecular. La clorofila a, es el pigmento relacionado en la transformación de la energía lumínica en energía química asimismo también colecta la energía luminosa. En las plantas y algas verdes, la clorofila b se encuentra en las células fotosintéticas (Curtis, Barnes, Schnek, y Massarini, 2008, p. 113).

2.2.2. Biomasa, azúcar y almidón

La masa total de la materia que forma la planta se denomina biomasa, y esta suele presentarse en función de la materia seca vegetal. Las plantas deben lograr proporción entre la asimilación de carbono, almacenamiento y crecimiento (Nozue y Maloof, 2006, p. 397).

En presencia de luz se produce la asimilación fotosintética de carbono, mientras que el mantenimiento y crecimiento puede ocurrir durante el ciclo

día-noche. Los resultados de la asimilación fotosintética de carbono se dividen entre el almidón y la sacarosa. El desarrollo prosigue durante todo el día y la noche; si la noche se prolonga, el almidón se agota antes de que acabe la fase de oscuridad, lo cual conlleva al agotamiento de azúcares y a parar del desarrollo (Nozue y Maloof, 2006, p. 397).

2.2.3. Auxinas y prolinas

Las auxinas son fitohormonas que participan en varios procesos fisiológicos como: división celular, expansión celular, formación de las raíces, crecimiento de las plantas, desarrollo del injerto, retención de flores y frutas, follaje joven y los tropismos; las niveles de auxina se relacionan con la intensidad y calidad de la radiación (Nozue y Maloof, 2006, p. 398).

Según Jordan y Casaretto (2006, p. 254), las auxinas tienen un efecto sobre el desarrollo de tallos y raíces que es importante para controlar los tropismos, esta respuesta se define con curvas, inclinaciones o giros que realizan las raíces y tallos a estímulos de contacto, gravedad o de luz. Se indican varias proteínas que actúan como receptoras para el fototropismo, una de ellas es fosforilada en gradiente de NPH1 induce el movimiento de auxinas hacia el lado en ausencia de luz del tallo o coleóptilo.

2.3. Iluminación artificial en sistemas de producción agrícola

2.3.1. Sistemas de iluminación artificial comunes en uso agronómico

Las lámparas son una fuente de radiación electromagnética y su luz es una parte del espectro total, aunque no todas las lámparas tienen interés agronómico, la luz artificial en los cultivos puede cumplir tres objetivos principales:

- a. Proveer cantidad suficiente de energía para la fotosíntesis.
- b. Proveer el espectro energético adecuado

c. Proveer energía durante el fotoperiodo.

Los ambientes urbanos buscan más protagonismo a los espacios interiores sin luz natural, lo cual implica una revisión de las necesidades lumínicas y las de las plantas. Las lámparas eficientes para el desarrollo de las plantas deben transformar energía eléctrica en PAR, ya que en una radiación menos eficaz en los rangos 300-400 y 700-800 nm puede intervenir decisivamente en el crecimiento de la planta, este fenómeno es también conocido como fotomorfogénesis (Pérez, Silva, y Lao, 2006, p. 45).

Tabla 1. Regiones del espectro electromagnético

Color	Rango de longitud de onda (nm)	Longitud de onda representativa	Frecuencia (Ciclos/s) Hz	Energía (kJ/mol)
Ultravioleta	>380	254	11.8×10^{14}	471
Violeta	380 - 436	410	7.31×10^{14}	292
Azul	436 - 495	460	6.52×10^{14}	260
Verde	495 - 566	520	5.77×10^{14}	230
Amarillo	566 - 589	570	5.26×10^{14}	210
Anaranjado	589 - 627	620	4.84×10^{14}	193
Rojo	627 - 730	680	4.41×10^{14}	176
Infrarrojo	730<	1400	2.14×10^{14}	85

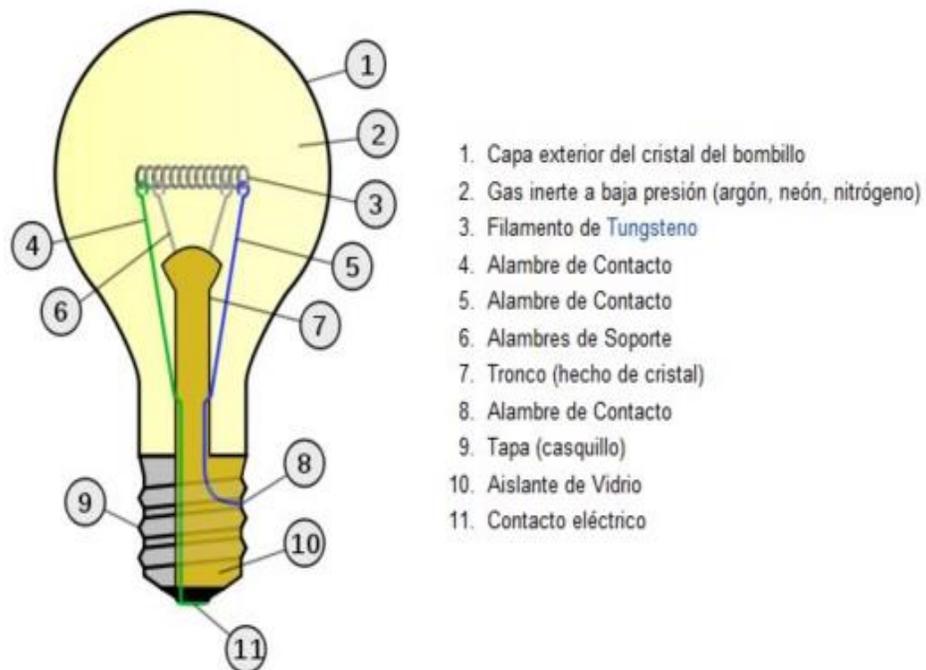
Fuente: Enríquez, (2005)

2.3.2. Lámparas incandescentes

La junta de la Unión Europea 2009/125/CE decretó el retiro progresivo de las lámparas incandescentes hasta septiembre del 2016. El propósito primordial de su retirada es reducir el consumo de energía, contaminar menor deteriorando las emisiones de CO₂ a la atmosfera.

La llámpara incandescente tiene como principio de actividad en que un filamento de tungsteno de espiral doble o simple, lleva hasta la incandescencia con el paso de la corriente eléctrica; se encierra en un bulbo de vidrio dentro del cual se introduce un gas inerte puede ser argón o criptón, con la finalidad que no se queme el filamento (Enríquez, 2005, p. 33).

Gráfico 4: Estructura de una lámpara incandescente



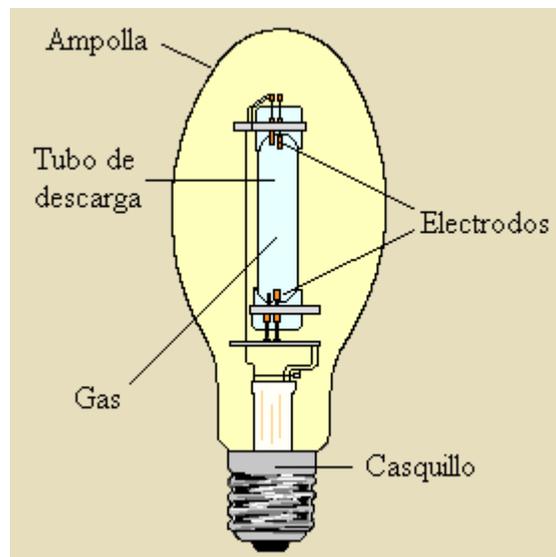
Fuente: Enríquez, (2005)

2.3.3. Lámparas de alta intensidad de descarga

Las lámparas de alta intensidad de descarga se implementan para reemplazar la luz durante el día o sustituir a ésta parte de la noche. En el grupo de las HID se encuentran las lámparas de mercurio de alta presión, de sodio de alta y de baja presión y las de halogenuro metálico (Dole y Wilkins, 1999, p. 54).

Estas lámparas requieren de balastos para condicionar la corriente en las mismas para el preciso nivel de operación, para así facilitar el voltaje de inicio adecuado para el comienzo y mantener el arco. El balastro para lámpara de alta intensidad de descarga esta esquematizada para una lámpara específica, frecuencia de línea de alimentación, tamaño de bulbo y rango de voltaje (Enríquez, 2005, p. 32).

Gráfico 5: Principales partes de una lámpara de alta intensidad



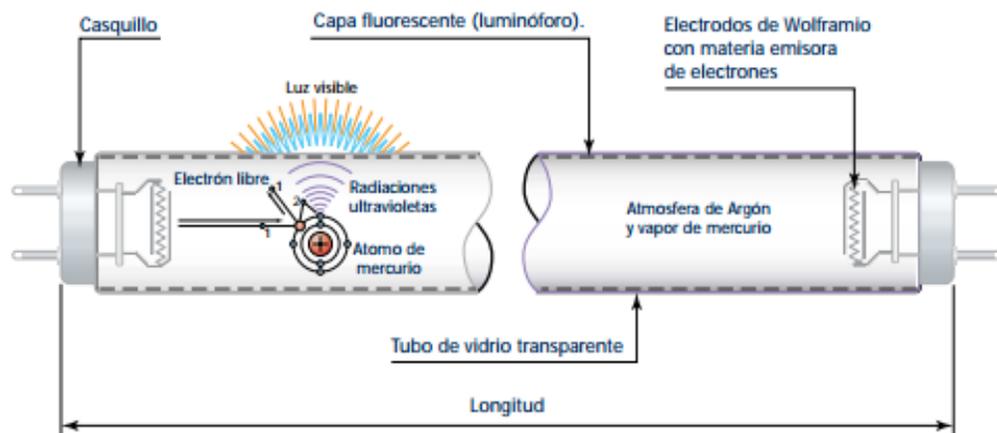
Fuente: Enríquez, (2005)

2.3.4. Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son apropiadas para el crecimiento de los vástagos y para enraizar esqueje, por lo cual se aconsejan principalmente durante las primeras etapas de las plantas (Dole y Wilkins, 1999, p. 56).

En los sistemas de iluminación las lámparas fluorescentes son las más empleadas seguido de las lámparas incandescentes. Aunque tienes varias semejanzas, en la fluorescente existen presentaciones de diferentes colores, formas, potencias, tipos, tamaños y voltajes de alimentación. La más habitual es la de precalentamiento, esta presenta una característica, ya que tiene un cátodo de calentamiento resistente de un tubo sellado de vidrio, la cual incluye una mezcla de gas inerte y vapor de mercurio (De la Cruz, 2012, p. 17).

Gráfico 6: Estructura de una lámpara fluorescente



Fuente: Enríquez, (2005)

2.3.5. Nuevas fuentes de iluminación: LED

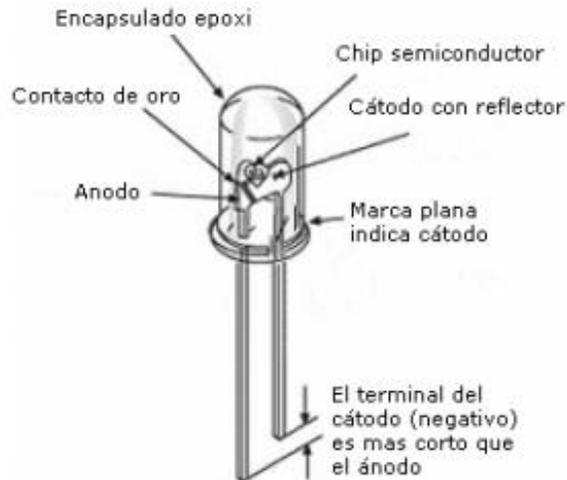
La tecnología LED hoy en día establece una alternativa con numerosas ventajas y sus aplicaciones avanzan cada día, se trata de un sistema

moderno, seguro y rentable que implica ahorros de energía eléctrica, en gastos de reposición, mantenimiento y emisiones de CO₂ (Aranda, Zabalza, Díaz, y Llera, 2010, p. 161).

El LED es superior a los sistemas de iluminación convencional por su rendimiento de iluminación por metro cuadrado de superficie ya que es una fuente de iluminación direccional (Gago y Fraile, 2012, pp. 5-9).

La mezcla de luz azul y roja procedente de LEDs posibilita un adecuado desarrollo y crecimiento de las plantas, ya que está en los rangos de máxima amplitud de absorción fotosintética, pese a que la luz roja a 680 nm es un 36 % más eficaz en el proceso que la luz azul a 460 nm (Hall y Rao, 1999, p. 51).

Gráfico 7: Estructura de un LED



Fuente: García, 2013.

2.4. Diodo emisor de luz

2.4.1. Historia del diodo emisor de luz

El primer LED fue desarrollado en 1927 por Oleg Vladimírovich Lósev (1903-1942), sin embargo el primer LED comercialmente utilizable en los años sesenta, combinando Galio, Arsénico y Fósforo. A finales del siglo XX se inventaron los ledes ultravioletas y azules, lo que dio paso al desarrollo del led blanco, que es un led de luz azul con recubrimiento de fósforo que produce una luz amarilla, la mezcla del azul y el amarillo produce una luz blanquecina denominada «luz de luna» consiguiendo alta luminosidad (7 lúmenes unidad) con lo cual se ha ampliado su utilización en sistemas de iluminación (Chavarria, Marquez, Mendez, y Mira, 2011, p. 35).

2.4.2. El LED como elemento generador de luz

La estructura de los diodos emisores de luz consiste en la unión de dos porciones de cristal, generalmente de silicio, en los que se añaden impurezas de forma controlada, normalmente estas impurezas son de algún metal u otro compuesto químico para obtener semiconductores de tipo N y de tipo P.

El semiconductor de tipo P se obtiene agregando al silicio una pequeña cantidad de un elemento con tres electrones en su capa valencia. Lo cual aumenta el número de portadores de carga libre positiva existentes en el cristal. El semiconductor de tipo N se obtiene agregando un elemento con cinco electrones en su capa valencia al cristal de silicio. Con esto incrementa la cantidad de portadores de carga libre negativa presentes en el cristal (Gago, Calderón, y Fraile, 2012, pp. 5-9).

Tabla 2. Longitudes de onda de LEDs y descripción de color.

Longitud de Onda	Color		Tensión de polarización directa	Intensidad	Materiales
940 nm.	Infrarrojo	—	1,5 V @ 20 mA.	16 mW @ 50 mA.	GaAs
880 nm.	Infrarrojo	—	1,7 V @ 20 mA.	18 mW @ 50 mA.	GaAlAs
660 nm.	Ultra Rojo		1,8 V @ 20 mA.	2000 mcd @ 20 mA.	GaAlAs
635 nm.	Rojo Alta Eficiencia		2,0 V @ 20 mA.	200 mcd @ 20 mA.	GaAsP/GaP
633 nm.	Súper Rojo		2,2 V @ 20 mA.	3500 mcd @ 20 mA.	InGaAlP
620 nm.	Súper Naranja		2,2 V @ 20 mA.	4500 mcd @ 20 mA.	AlInGaP
612 nm.	Rojo – Naranja		2,2 V @ 20 mA.	6500 mcd @ 20 mA.	InGaAlP
605 nm.	Naranja		2,1 V @ 20 mA.	160 mcd @ 20 mA.	GaAsP/GaP
592 nm.	Amarillo Puro		2,1 V @ 20 mA.	7000 mcd @ 20 mA.	GaAsP/GaP
585 nm.	Amarillo		2,1 V @ 20 mA.	100 mcd @ 20 mA.	AlInGaP
570 nm.	Verde Lima		2,0 V @ 20 mA.	1000 mcd @ 20 mA.	InGaAlP
565 nm.	Verde		2,1 V @ 20 mA.	200 mcd @ 20 mA.	GaP
555 nm.	Verde Puro		2,1 V @ 20 mA.	80 mcd @ 20 mA.	InGaAlP
525 nm.	Verde Acuoso		3,5 V @ 20 mA.	7000 mcd @ 20 mA.	SiC/GaN
505 nm.	Verde turquesa		3,5 V @ 20 mA.	2000 mcd @ 20 mA.	InGaN/Zafiro
480 nm.	Súper Azul		3,6 V @ 20 mA.	2000 mcd @ 20 mA.	SiC/GaN
430 nm.	Azul		3,8 V @ 20 mA.	100 mcd @ 20 mA.	GaN
370 nm.	Ultravioleta	—	5 V. @ 20 mA.	—	GaN

Fuente: Gago, *et al*, (2012, p. 20)

2.4.3. Ventajas de la luz LED frente a otros sistemas de iluminación

Las lámparas LED cuentan con notables ventajas, como el ahorro de energía, operación confiable a bajas temperaturas, más horas de vida útil, tal como indica en la Tabla 3 en la comparación de otras fuentes de luz (Herrans, Olle, y Jauregui, 2011, p. 5).

Tabla 3. Comparación de características de fuentes de luz más usadas

Tabla comparativa de características de las fuentes de luz actualmente más usadas en iluminación			
Tipo de lámpara	Eficacia (lm/W)	Tiempo de vida (h)	IRC
▶ Halógena	20	1.200	100
▶ Halogenuros metálicos	70 - 108	15.000	90
▶ Fluorescente	60 - 100	8.000	80
▶ Sodio baja presión	120 - 200	16.000	25
▶ Sodio alta presión	95 - 130	28.000	45
▶ LED	90 - 120	>50.000	>75

Fuente: Herrans, Olle y Jauregui (2011)

2.5. Aplicaciones de los LEDs en iluminación de invernaderos

2.5.1. Experiencias en iluminación de invernadero de investigación

La compañía Japonesa, fabricante de LEDs Nippon Keike Kagishima Works publicó en enero del 2007 el resultado de un estudio, la utilización de dos LEDs rojos de 75 W tenía el mismo efecto que 50 lámparas incandescentes de 75 W en un pequeño invernadero, lo cual dio como resultado la reducción del coste de la energía eléctrica consumida en 25 veces menor respecto a las lámparas incandescentes (Martín, *et al.*, 2010).

En septiembre del 2008 en la conferencia Copenmind's Cleantech, colaboradores de la University of Southern Denmark y J.E. Ostergaard, comunicaron acerca de la utilización de LEDs azules y rojos obtuvo resultados más eficientes en invernaderos industriales que la iluminación fluorescente, llegando a la conclusión que los gastos de instalación resultan compensadas por las reducciones de coste de funcionamiento (Martín, *et al.*, 2010, p. 4).

2.5.2. Las experiencias de la NASA con LEDs y OLEDs

Investigadores del Centro Espacial Kennedy de la NASA han trabajado ya desde hace tres años en la implementación de lámparas LEDs en hortalizas mediante un sistema de provisión capaz de cultivar y cosechar vegetales en el espacio. En las primeras pruebas del sistema se utilizaron LEDs inorgánicos en los cuales cada uno emitía un espectro, cuyo color dependía de la composición del material semiconductor utilizado. Fue preciso utilizar componentes ópticos para convertir estas fuentes de luz en lámparas de estado sólido para producir una salida luminosa uniforme y homogénea; aunque estos componentes mostraron un aumento del peso lo cual fue una desventaja para lo cual fue necesario una mejor solución. La solución fue emplear diodos orgánicos emisores de luz:

“Estos diodos son dispositivos que se basan en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan, a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismo. Los OLEDs para SSL constituyen una fuente difusa de luz y de este modo resultan adecuados para cumplir los requerimientos de irradiación amplia y general necesarios para el crecimiento de las plantas.”
(Martín, *et al.*, 2010, p. 5).

2.6. Producción de hortalizas a nivel de invernadero

2.6.1. Definición de invernadero o cultivo bajo cubierta

Las primeras referencias documentadas de cultivo protegido, se registran a la época del imperio romano, en el periodo del emperador Tiberio César al aplicar estructuras móviles para el cultivo de pepino, las cuales las dejaban en el exterior o se guardaban a cubierto dependiendo de las condiciones climáticas. Estas prácticas de cultivo se ausentaron con la decadencia del

imperio romano y fue hasta la época del renacimiento aparecieron estructuras muy básicas de madera o bambú, con una cubierta de vidrio o papel aceitado, en diferentes países como Inglaterra, Holanda, Francia, Japón y China (Castilla y Prados, 2007, p. 30).

Los invernaderos pronto se propagaron desde Europa a América y Asia, colocándose cerca de las grandes ciudades; en el siglo XX el desarrollo económico, especialmente después de la segunda guerra mundial, impulso la construcción de invernaderos de cristal principalmente a la producción de tomate (Castilla y Prados, 2007, p. 31).

2.6.2. Hortalizas cultivadas en invernadero

Según la FAO (2002, p. 21), el número de cultivos dispuestos de realizarse bajo invernadero, es parcialmente reducido. El primero en importancia, el tomate, que es a su vez la hortaliza de mayor importancia económica en el mundo. Posteriormente, a gran distancia y en orden decreciente, viene el pimiento, el melón, el calabacín y luego, la berenjena, el pepino y la sandía. Finalmente considerando el conjunto de la región mediterránea, aparecen la fresa, la lechuga y la judía.

Un invernadero favorece un clima apropiado para la producción de verduras, frutas, flores, etc. Los cuales son fundamentales en la alimentación de personas para el área rural como en el área urbana; el objetivo del invernadero en la producción agrícola se basa en que se pueden mantener productos fuera de temporada (Duran y Quinto, 2015, p. 32).

2.6.2.1. *Lactuca sativa*

Algunos autores afirman que el origen de la lechuga procede de la India sin embargo botánicos declaran su desacuerdo ya que existe un ascendiente de la lechuga denominado *Lactuca scariola* L., que se encuentra desde Asia y norte de África en estado silvestre.

En el año 4 500 a.C. datan los vestigios de la existencia de la lechuga en grabados de tumbas egipcias, lechugas semejantes a las conocidas como tipo espárragos. Años más tarde fue conocida por griegos y romanos, los cuales fueron los encargados de introducir a Gran Bretaña la lechuga (García, 2013, p. 2).

a. Importancia del cultivo

Una de las hortalizas más importantes a nivel mundial es la lechuga y su popularidad ha aumentado, debido a que es un producto de consumo natural, de bajo contenido calórico y sabor agradable. La lechuga es ampliamente conocida y se cultiva en la mayoría de países. Su producción es relativamente fácil, lo cual facilita mejorar la calidad del producto y ampliar los períodos de la disponibilidad de mejores tipos (Vallejo y Estrada, 2005, p. 315).

b. Tipos y variedades de lechuga

Tabla 4. Descripción de la lechuga de acuerdo al tipo y variedad

Tipo	Descripción	Variedad Representativa
De cabeza	Cabeza dura	Great Lakes
	Cabeza suave	White Boston
	Cabeza suave semiabierta	Salad Bowl, Bibb
De hoja suelta	Hojas ásperas o rústicas	Grand Rapids
	Hojas suaves	Simpson
Cos o romana	Manojo de hojas semicerrado	White Paris

Fuente: Casseres, (1966, p. 128)

c. Valor nutritivo

Las hojas son el producto comercial de la lechuga, que se consumen in natura, en forma de ensalada como hojas picadas u hojas enteras. El valor nutricional de la lechuga es menor en comparación entre grupos varietales, la variedad del tipo romana y las que no forman cabeza, se caracterizan por tener un mayor valor nutritivo (Tabla 5), lo cual se debe a la mayor proporción de tejido verde que producen estas variedades (Vallejo y Estrada, 2005, p. 315).

Tabla 5. Valor nutritivo de la lechuga, por 100 gramos de hoja fresca.

Composición química	Lechuga Cos y de hoja	Lechuga de cabeza o crespa	Lechuga mantecosa	Lechuga italiana
Agua (%)	94.00	95.00		
Calorías (%)	10.00	16.00		
Proteínas (g)	1.30	8.90		
Grasas (g)	0.30	0.10		
Carbohidratos (g)	3.50	2.90		
Calcio (mg)	68.00	20.00	35.00	55.00
Fosforo (mg)	25.00	22.00		
Hierro (mg)	1.40	0.50		1.50
Vitamina A (V.I)	1.900	300.00	9.70	5.60
Tiamina (mg)	0.50	0.60		
Riboflavina (mg)	0.08	0.06		
Niacina (mg)	0.40	0.30		
Vitamina C	18.00	6.00	8.00	13.00

Fuente: Granval, 1989.

2.7. Producción agrícola urbana

2.7.1. Situación de la agricultura urbana en América Latina

Latinoamérica está teniendo un proceso de urbanización acelerado, por lo cual se estima que para el año 2020 la población urbana será el 82 %. La población toma la decisión de emigración a la ciudad en búsqueda de nuevas oportunidad pero enfrenta la realidad ya que cada vez mayor parte

de los nuevos habitantes urbanos se encuentran con la situación de pobreza (Urban Harvest, 2006, pp. 4-6).

La agricultura urbana se muestra como una actividad alternativa para contribuir a los diferentes problemas que afronta el proceso de urbanización. Las contribuciones más importantes de la agricultura urbana al mejoramiento de las ciudades en Latinoamérica podemos nombrar:

- Fuente de empleo alternativo
- Mercados emergente
- Beneficio multifuncional
- Medio ambiente urbano mejorado
- Contribución a la seguridad alimentaria
- Ingreso familiar mejorado

2.7.1. Agricultura urbana

De acuerdo con la FAO (2010, p. 106), el concepto de Agricultura Urbana está en relación a la evolución, que se visualiza el tema y el aumento de los actores interesados en impulsar este tipo de agricultura. En relación a los diferentes actores en Latinoamérica y el Caribe se puede definir a la Agricultura Urbana como una labor multicomponente y multifuncional que incorpora la transformación o producción de productos agrícolas y pecuarios en zonas intra y periurbanas, para comercialización o consumo, empleando recursos locales, respetando los saberes locales y el uso de tecnologías apropiadas.

Torres (2000, p. 13) en el texto *Procesos metropolitanos y agricultura urbana*, define la agricultura urbana como:

“La producción en pequeña escala de alimentos de origen vegetal y animal en áreas intraurbanas (comunidades, barrios vecindarios)”.

La agricultura urbana puede ser puntualizada como el cultivo, procesamiento y la distribución, con propósitos alimentarios y no alimentarios, en los alrededores de un área urbana, dirigidos al mercado urbano. Practicantes de la agricultura urbana han avanzado y acoplado múltiples ciencias y culturas para elegir, ubicar, cultivar, procesar y distribuir toda clase de plantas (Mougeot, 2006, pp. 10-12).

2.7.2. Agricultura periurbana

Por su parte, la expresión agricultura periurbana se refiere a:

“Unidades agrícolas cercanas a una ciudad que explotan intensivamente granjas comerciales o semicomerciales para cultivar hortalizas y otros productos hortícolas, criar pollos y otros animales y producir leche y huevos” (FAO, 1999, p. 3).

El funcionamiento de la agricultura periurbana se constituye por el compuesto de relaciones entre la ciudad urbana y la agricultura periférica a las ciudades, entre las cuales se pueden reconocer las vinculadas al abastecimiento de alimentos y las relacionadas con la sostenibilidad urbana (Avila, 2005, p. 246).

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del ensayo

El trabajo se desarrolló en la parroquia Tarqui, zona Norte del cantón Guayaquil, provincia del Guayas. El proyecto se ejecutó desde noviembre de 2015 a enero de 2016.

3.2. Características climáticas

El clima de Guayaquil es el resultado de la combinación de varios factores. Por su ubicación en plena zona ecuatorial, la ciudad tiene una temperatura cálida durante casi todo el año. Una temporada húmeda y lluviosa (período en el que ocurre el 97 % de la precipitación anual) que se extiende enero a mayo (corresponde al verano austral); y la temporada seca que va desde junio a diciembre (que corresponde al invierno austral).

3.3. Materiales

- Equipos:
 - Tres Lámparas LED Global Star 150W
 - Tres Lámparas LED HHE UFO de 135W
 - 12 tubos Fluorescente General Electric 20 W
 - Timer
 - Termómetro
 - Luxómetro
 - Riego por Goteo
 - Computador: para el ingreso de la información, gráficos, fotos, imágenes y búsqueda en internet
 - Cámara fotográfica: toma de fotos e imágenes usadas en el trabajo de titulación

- **Materiales:**

- Plástico Negro
- Cajoneras de madera
- Manguera de riego por goteo
- Hojas, lápices, lapiceros usados en el levantamiento de información de campo
- Sustrato
- Lechuga de variedad SaladBowl
- Lechuga de variedad Winterhaven

3.4. Factores Estudiados

Los factores estudiados fueron los siguientes:

Dos tipos de lámparas LED, más una lámpara testigo y dos variedades de lechuga.

3.4.1. Tratamientos estudiados

Los tratamientos fueron los siguientes:

Dos lámparas LED

- a. Lámpara LED de 150 W con espectro de luz azul y rojo.
- b. Lámpara LED de 135 W con espectro de luz azul y rojo.
- c. Lámpara testigo, fluorescente de 80 W

También se estudiaron dos tipos de variedades de lechugas

- a. Lechuga Salad Bowl
- b. Lechuga Winterhaven

Lo indicado generó un experimento factorial de $3 \times 2 = 6$ tratamientos.

3.4.2. Combinación de tratamientos

Las combinaciones de tratamientos se indican a continuación:

Nº de Tratamientos	Lámpara	Variedad de Lechuga
1	L1 (LED 150w)	V1(Lechuga SaladBowl)
2	L1 (LED 150w)	V2(Lechuga WinterHaven)
3	L2 (LED 135w)	V1(Lechuga SaladBowl)
4	L2 (LED 135w)	V2(Lechuga WinterHaven)
5	L3 (Fluorescente 80w)	V1(Lechuga SaladBowl)
6	L3 (Fluorescente 80w)	V2(Lechuga WinterHaven)

3.5. Diseño experimental

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) en arreglo factorial 3 (fuentes de luz) x 2 (variedades) = 6 tratamientos, con 3 repeticiones.

3.6. Análisis de varianza

El esquema del análisis de varianza se indica a continuación:

ANDEVA.

Fuentes de Variación	Grados de libertad
Tratamientos (t – 1)	5
Lámparas	2
Variedades de lechuga	1
Interacción L x V	2
Error (r) (t – 1)	12
Total (rt – 1)	17

3.7. Análisis funcional

Para las comparaciones de las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan al 5 % de probabilidad.

3.8. Manejo del experimento

3.8.1. Implementación del invernadero

Se adecuo la habitación con los materiales necesarios para convertirla en un invernadero con ambiente controlado; materiales como: lámparas LED, termómetro, ventilador y sistema de riego.

3.8.1. Sistema de riego

Se implementó un sistema de riego por goteo el cual estuvo conectado a un timer para que sea automático.

3.8.2. Trasplante

El trasplante de lechuga a las 3 - 4 semanas de germinación, la distancia de siembra se hizo de 15 cm entre planta y planta.

3.8.4. Control de malezas

El control de malezas fue manual.

3.8.5. Control fitosanitario

El control fitosanitario (Plagas), se realizó analizando el umbral económico del daño causado por los insectos.

3.8.6. Fertilización

En cada tratamiento se aplicará fertilizantes manualmente.

3.8.7. Cosecha

Una vez que las plantas cumplieron con su ciclo biológico, se procedió la cosecha en forma manual.

3.9. Variables

3.9.1. Primera Evaluación

3.9.1.1. Altura de planta a los 8 días expresado en cm

Después del trasplante se tomó la altura de planta a los 8 días, para lo cual se seleccionaron 5 plantas de lechuga de cada variedad, al azar por tratamiento. La lectura fue tomada desde el suelo hasta el ápice Terminal de la hoja, se promedió las alturas de las plantas escogidas para obtener el resultado en centímetros.

3.9.1.2. Longitud de hoja a los 8 días expresado en cm

Después del trasplante se tomó la longitud de hoja a los 8 días, para lo cual se seleccionó 5 plantas de lechuga de cada variedad, al azar por tratamiento. La lectura fue tomada desde el peciolo hasta el ápice Terminal de la hoja, se promedió de las plantas escogidas para obtener el resultado en centímetros.

3.9.1.3. Número de hoja a los 8 días

Después del trasplante se tomó el número de hoja a los 8 días, para lo cual se seleccionó 5 plantas de lechuga de cada variedad, al azar por tratamiento.

3.9.2. Segunda Evaluación

3.9.2.1. Altura de planta a los 16 días expresado en cm.

Después del trasplante se tomó la altura de planta a los 16 días, para lo cual se seleccionó 5 plantas de lechuga de cada variedad, al azar por tratamiento. La lectura fue tomada desde el suelo hasta el ápice Terminal de la hoja, se promedió las alturas de las plantas escogidas para obtener el resultado en centímetros.

3.9.2.2. Longitud de hoja a los 16 días expresado en cm

Después del trasplante se tomó la longitud de hoja a los 16 días, para lo cual se seleccionó 5 plantas de lechuga de cada variedad, al azar por tratamiento. La lectura fue tomada desde el peciolo hasta el ápice Terminal de la hoja, se promedió de las plantas escogidas para obtener el resultado en centímetros.

3.9.2.3. Número de hojas a los 16 días

Después del trasplante se tomó el número de hoja a los 16 días, para lo cual se seleccionó 5 plantas de lechuga de cada variedad, al azar por tratamiento. La lectura fue tomada a las hojas verdaderas de las plantas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de planta a los 8 días

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza realizados en altura de planta a los ocho días de trasplante se presentan en el Tabla 6, en donde se pudo observar que hubo diferencias altamente significativas en las fuentes de variación: lámparas, variedades y en la interacción lámparas x variedades.

Tabla 6. Análisis de la varianza, en altura de planta evaluado a los 8 días

F.V.	ANDEVA					
	SC	gl	CM	F cal	F-tabla 0,05	F-tabla 0,01
Lámparas	31.51	2	15.76	140.00 **	3.89	6.93
Variedades	37.07	1	37.07	330.00 **	4.75	9.33
Lámparas*Variedades	3.25	2	1.62	14.46 **	3.89	6.93
Error	1.35	12	0.11			
Total	73.18	17				

**=altamente significativo

Elaborado por la autora

En cuanto se refiere a los promedios observados en lámparas (Tabla 7), se vio que el valor más alto con 9.30 cm correspondió a LED 1, seguido de la lámpara LED 2 con 6.90 cm, y en último término la lámpara testigo con 6.21 cm. Al realizar la prueba de Duncan al 5 % de probabilidades se determinaron tres rangos de significancia.

Tabla 7. Promedios de altura de planta evaluada a los 8 días

Variedades	Lámparas			Promedios
	L1	L2	L3	
SaladBowl	11.33	7.97	7.42	8.90 **
WinterHaven	7.27	5.83	5	6.03
Promedios	9.30 a	6.9 b	6.21 c	7.46
CV (%)				4.49%

NS= No Significativo

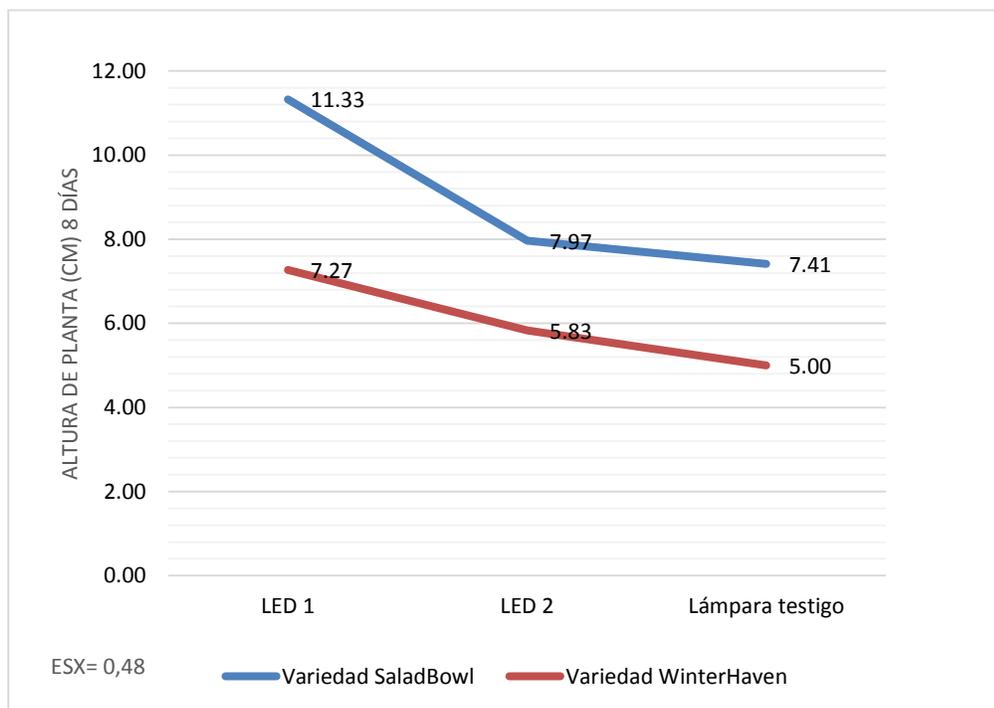
**= altamente significativo

Elaborado por la autora

Promedios señalados con una misma letra, no difieren estadísticamente entre sí de acuerdo a la prueba de rangos múltiples Duncan al 5 % de probabilidad.

En cuanto a los promedios de variedades (Tabla 7), se determinó que la variedad SaladBowl con 8.90 cm fue la que presentó el mayor promedio, mientras que la variedad WinterHaven con 6.03 cm fue la que presenta menor valor. En lo que se refiere a la interacción lámparas x variedades, la respuesta observada se presenta en el Gráfico 8, en donde se puede observar que las dos variedades presentaron en promedio el mejor comportamiento cuando se utilizó la lámpara LED 1.

Gráfico 8. Altura de planta a los 8 días de trasplante



Elaborado por la autora

El promedio general fue de 7.46 cm, y el CV de 4.49 %

4.2. Altura de planta a los 16 días

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza realizados a los 16 días de trasplante se presenta en la Tabla 8, en donde se pudo observar que hubo diferencias altamente significativas en las fuentes de variación: lámparas y variedades, mientras que en la interacción lámparas x variedades no fue significancia.

Tabla 8. Análisis de la varianza, altura de planta determinada a los 16 días

ANDEVA							
F.V.	SC	gl	CM	F cal		F-tabla 0,05	F-tabla 0,01
Lámpara	196.73	2	98	56.17	**	3.89	6.93
Variedades	89.24	1	89	50.96	**	4.75	9.33
Lámpara*Variedades	9.93	2	5	2.83	NS	3.89	6.93
Error	21	12	1.75				
Total	31.96	17					

NS= No Significativo **= altamente significativo

Elaborado por la autora

En lo que se refiere a los promedios en lámparas que se presentan en la Tabla 9, se pudo determinar que el mayor promedio en LED 1 dio con 15.20 cm, seguido de lámpara LED 2 con 8.70 cm, y en último término la lámpara testigo con 7.77 cm. Al realizar la prueba de Duncan con el 5 % de probabilidades se determinaron dos rangos de significancia.

Tabla 9. Promedios de altura de planta a los 16 días

Variedades	Lámparas			Promedios
	L1	L2	L3	
SaladBowl	17.83	11.39	10.11	12.78 **
WinterHaven	11.39	6	6.44	8.33
Promedios	15.20 a	8.70 b	7.77 b	10.55
CV (%)				13%

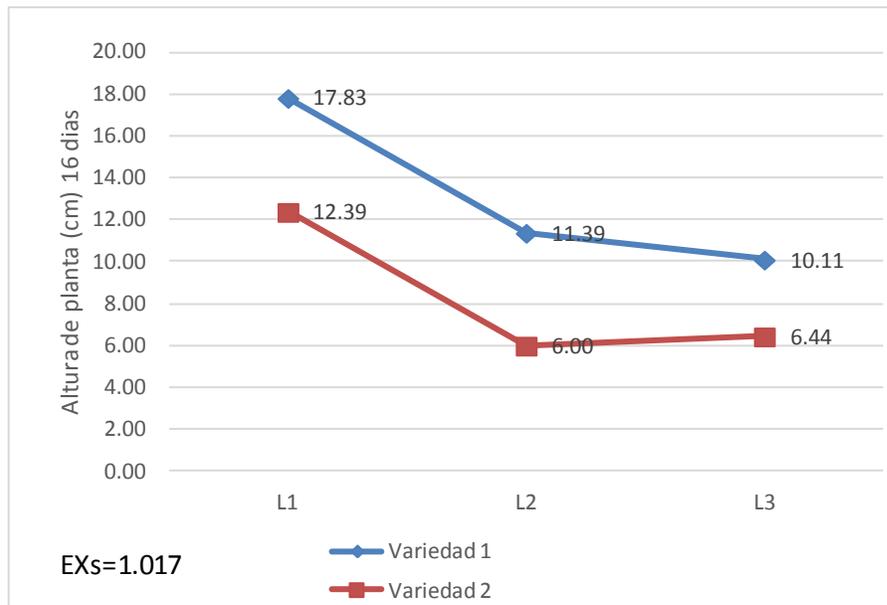
Elaborado por la autora

Promedios señalados con una misma letra, no difieren estadísticamente entre sí de acuerdo a la prueba de Duncan de rangos múltiples al 5 % de probabilidad.

En lo que se refiere a los promedios de variedad (Tabla 9), se determinó que la variedad SaladBowl con 12.78 cm fue la que presentó mayor promedio, mientras que la variedad WinterHaven con 8.33 cm fue la que presenta menor promedio. Al realizar la prueba de Duncan al 5 % de probabilidad se determinaron dos rangos de significancia.

En cuanto a la interacción lámparas x variedades, la respuesta observada se presenta en la Gráfico 9, en donde se puede observar que las dos variedades presentaron el mejor comportamiento cuando se utilizó la lámpara LED 1.

Gráfico 9. Altura de planta a los 16 días de trasplante



Elaborado por la autora

El promedio general fue de 10.55 cm y el CV de 13 %

La literatura provee abundante evidencias acerca del uso de lámparas LED para el desarrollo de lechugas al ser trasplantadas en un ambiente controlado.

Según los resultados obtenidos en el trabajo experimental hemos encontrado en las variables estudiadas, que:

Los resultados obtenidos en esta variable con el uso de lámpara permite afirmar que LED 1, tiene más eficiencia para el desarrollo de altura de planta en lechuga en el cultivar SaladBowl.

Según la investigación realizada por Yorio, Goins, Kagie, Wheeler, y Sager (2001, pp. 380-383) manifiesta que las plantas de lechuga no se vio afectada significativamente por lámparas LED rojo; en comparación; con lámparas LED rojo y azul, lo cual concuerda a los resultados obtenidos en la presente investigación.

4.3. Número de hoja a los 8 días

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza del número de hoja realizado a los ocho días después del trasplante se presentan en la Tabla 10, en donde se pudo observar que diferencias significativas en la fuente de variación de lámparas; sin embargo, no así en la fuente de variación de variedades y la interacción lámparas x variedades.

Tabla 10. Análisis de la varianza, del número de hojas evaluado a los 8 días

F.V.	ANDEVA						
	SC	gl	CM	F cal		F-tabla 0,05	F-tabla 0,01
Lámparas	3.63	2	1.82	6.81	*	3.89	6.93
Variedades	0.28	1	0.28	1.05	NS	4.75	9.33
Lámparas*Variedades	0.03	2	0.02	0.06	NS	3.89	6.93
Error	3.2	12	0.27				
Total	7.14	17					

NS= No Significativo *= significativo

Elaborado por la autora

Los promedios obtenidos en lámparas que se presentan en la Tabla 11 se pudo observar que el mayor promedio correspondió a LED 1 con 4.51 hojas, seguido de LED 2 con 3.84 hojas y finalmente Lámpara testigo con 3.42 hojas. Al

realizar la prueba de Duncan, al 5 % de probabilidades se determinaron dos rangos de significancia.

Tabla 11. Promedios del número de hojas determinados a los 8 días

Variedades	Lámparas			Promedios
	L1	L2	L3	
SaladBowl	4.57	3.99	3.57	4.05
WinterHaven	4.44	3.68	3.26	3.8
Promedios	4.51 a	3.84 b	3.42 b	3.92
CV (%)				13.17%

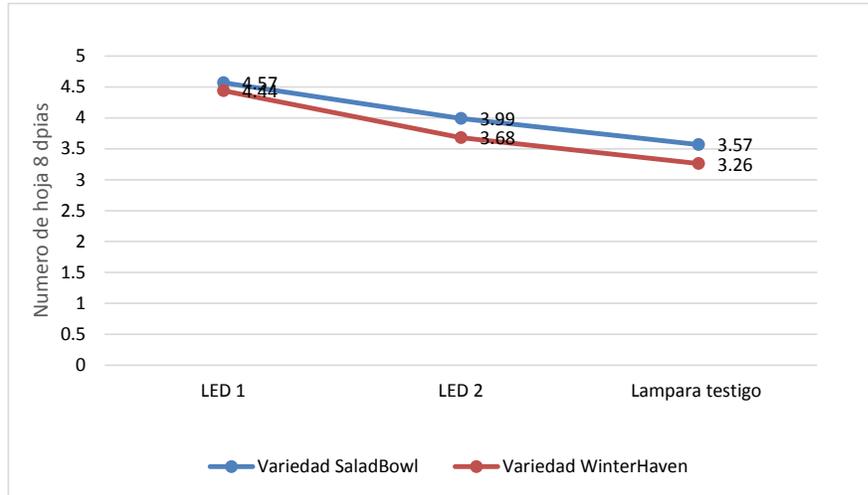
Elaborado por la autora

Promedios señalados con una misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo a la prueba de Duncan de rangos múltiples al 5 % de probabilidad.

En cuanto a los promedios de variedad, en el cual la variedad SaladBowl con 4.05 hojas presentó el mayor dato y la variedad WinterHaven con el menor valor de 3.8 hojas.

En cuanto a la interacción lámparas x variedades, la respuesta se presenta en la Gráfico 10, en donde se puede observar que presentan en promedio el mejor comportamiento, las 2 variedades cuando se utiliza la lámpara LED 1.

Gráfico 10. Número de hoja a los 8 días de trasplante



Elaborado por la autora

El promedio general fue de 3.92 hojas y el CV de 13.17 %.

4.1. Número de hoja a los 16 días

En la Tabla 12 se presentan los resultados del análisis de la varianza realizados para el número de hojas a los 16 días después del trasplante, se pudo observar que hubo diferencias altamente significativas en el factor lámparas y no significativo en el factor variedades y en la interacción lámparas x variedades.

Tabla 12. Análisis de la varianza del número de hojas evaluada a los 16 días

F.V.	ANDEVA						
	SC	gl	CM	F cal	F-tabla 0,05	F-tabla 0,01	
Lámparas	9.07	2	4.54	11.02	**	3.89	6.93
Variedades	1.69	1	1.69	4.1	NS	4.75	9.33
Lámparas*Variedades	0.84	2	0.42	1.02	NS	3.89	6.93
Error	4.94	12	0.41				
Total	16.54	17					

NS= No Significativo *= significativo

Elaborado por la autora

Los promedios obtenidos como se presenta en la Tabla 13, se vio que el mayor promedio comprendido a LED 1 con 6.17 hojas seguido de; LED 2, con 5.08 hojas y, finalmente Lámpara testigo con 4.45 hojas. Al ejecutar la prueba de Duncan, con el 5 % de probabilidades se determinaron dos rangos de significancia.

Tabla 13. Promedios de número de hoja a los 16 días

Variedades	Lámparas			Promedio
	L1	L2	L3	
SaladBowl	6.61	5.55	4.44	5.54
WinterHaven	5.27	4.61	4.44	4.92
Promedio	6.17 a	5.08 b	4.45 b	5.23
CV (%)				12.27%

Elaborado por la autora

Promedios señalados con una misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo a la prueba de Duncan de rangos múltiples al 5 % de probabilidad.

En cuanto a los promedios de variedades, se vio que la variedad SaladBowl con 5.54 hojas fue la que presentó el mayor promedio y la variedad WinterHaven con el menor promedio con 4.92 hojas. El promedio general fue de 5.23 hojas y el CV de 12.27 %.

Los resultados obtenidos en esta variable con el uso de lámpara permite afirmar que LED 1 tiene más eficiencia para mayor número de hoja en el cultivar SaladBowl y WinterHaven.

4.2. Longitud de hoja a los 8 días

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de varianza realizados a los ocho días del trasplante (Tabla 14) se pudo observar que hubo diferencias altamente significativas en las fuentes de variación de lámparas y variedades;

sin embargo, en la interacción lámparas x variedades la diferencia determinada fue significativa.

Tabla 14. Análisis de la varianza, en longitud de hoja evaluado a los 8 días

F.V.	ANDEVA						
	SC	gl	CM	F cal		F-tabla 0,05	F-tabla 0,01
Lámparas	4.79	2	2.39	21.64	**	3.89	6.93
Variedades	14.72	1	14.72	133.16	**	4.75	9.33
Lámparas*Variedades	1.13	2	0.57	5.11	*	3.89	6.93
Error	1.33	12	0.11				
Total	21.97	17					

NS= No Significativo *= significativo

Elaborado por la autora

En el Cuadro 10, se presenta los promedios obtenidos en la investigación. Se pudo observar que en LED 1 con 6.23 cm se determinó el mayor valor, seguido de LED 2 con 5.28 cm, finalmente la lámpara testigo con 5.08 cm. Al realizar la prueba de Duncan al 5 % de probabilidades se determinaron dos rangos de significancia.

Tabla 15. Promedios de longitud de hoja a los 8 días

Variedades	Lámparas			Promedio
	L1	L2	L3	
SaladBowl	7.34	5.83	6.16	6.45
WinterHaven	5.18	4.73	4	4.64
Promedio	6.26	a 5.28	b 5.08	b 5.54
CV (%)				6%

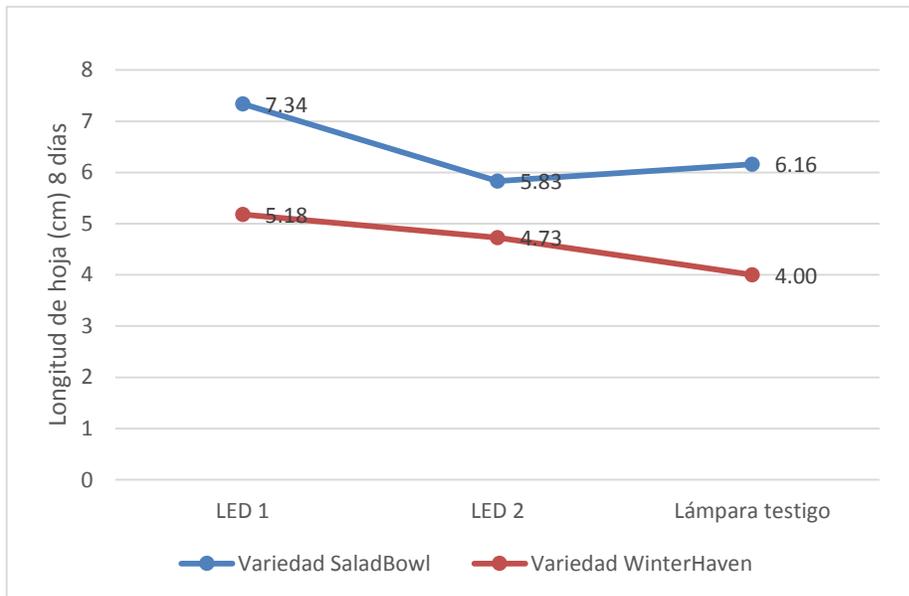
Elaborado por la autora

Promedios señalados con una misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo a la prueba de Duncan de rangos múltiples al 5 % de probabilidad.

En lo que se refiere a los promedios de variedades, se vio que la variedad SaladBowl con de 5.45 cm presento el mayor valor; mientras que la variedad WinterHaven con 4.64 cm fue la que registró el menor dato.

En la interacción lámparas x variedades (Gráfico 11) se pudo observar la mejor en la variedad SaladBowl cuando utilizó la lámpara LED 1.

Gráfico 11. Longitud de hoja a los 8 días



Elaborado por la autora

El promedio general 5.54 cm, y el CV de 6 %.

4.3. Longitud de hoja a los 16 días

Los resultados obtenidos en el análisis de la varianza a los 16 días del trasplante realizados, se presenta en el Tabla 16, en donde se pudo observar que hubo diferencias altamente significativas en las fuentes de variación de lámparas y variedades, mientras que en la interacción lámparas x variedades no se mostraron diferencia significativas.

Tabla 16. Análisis de varianza, longitud de hoja a los 16 días

F.V.	ANDEVA						
	SC	gl	CM	F cal		F-tabla 0,05	F-tabla 0,01
Lámparas	27.83	2	13.91	18.19	**	3.89	6.93
Variedades	54.53	1	54.53	71.29	**	4.75	9.33
Lámparas*Variedades	5.69	2	2.85	3.72	NS	3.89	6.93
Error	9.18	12	0.76				
Total	97.23	17					

NS= No Significativo **= significativo

Elaborado por la autora

En cuanto a los promedios, los cuales se presentan en la Tabla 17 se pudo observar que en Lámparas se determinó el mayor promedio en LED 1 con 8.97 cm, seguido de LED 2 con 6.83 cm, y en último término la lámpara testigo con un valor de 6.03 cm. Al realizar la prueba de Duncan al 5 % de probabilidades se determinaron dos rangos de significancia.

Tabla 17. Promedios de longitud de hoja a los 16 días

Variedades	Lámparas			Promedio
	L1	L2	L3	
SaladBowl	11.15	8.42	4.77	9.02 **
WinterHaven	6.44	5.33	4	5.54
Promedio	8.97 a	6.83 b	6.03 b	7.28
CV (%)				12.02%

Elaborado por la autora

En lo que se refiere a los promedios de variedades, la variedad SaladBowl con de 9.02 cm fue la que presentó el mayor promedio mientras que la variedad WinterHaven con 5.54 cm fue la que registro el menor promedio. El promedio general 7.28 cm, y el CV de 12.02 %.

Los resultados obtenidos en esta variable con el uso de lámpara permite afirmar que LED 1 tiene más eficiencia para el desarrollo de longitud de hoja en el cultivar SaladBowl.

Según la investigación realizada por Kim, Goins, Wheeler y Sager (2004, pp. 691-697) manifiesta que las plantas de lechuga se desarrollaron mejor bajo lámparas LED, combinación de colores: azul, rojo y verde; en comparación con lámparas fluorescente de color blanco; lo cual concuerda a los resultados obtenidos en la presente investigación.

4.4. Análisis de consumo eléctrico

La unidad más Trabajo J = Joule común es el kWh, (1 kWh equivale a 3 600 kJ). 1 kWh = 3 600 kJ Potencia Watt = J/s. El consumo de energía es medido en Joule (J, kJ, MJ, GJ). Los portadores energéticos se pueden indican en kg, Nm³ or l. Estas unidades pueden ser transferidas en kJ o kWh para los respectivos combustibles (UNIDO, 2005, p. 5)

Asimismo del consumo de energía, la potencia también es significativa. La potencia señala que trabajo puede ser hecho dentro de un tiempo determinado y generalmente es medido en Watts (W, kW, MW, GW).

Tabla 18. Consumo de energía eléctrica de las lámparas empleadas

Lámpara	W	KW/h	Horas de consumo	Días de consumo	Consumo total en kW h	Consumo en dólares
LED Global Star	150 W	0.15	10	45	67.5	\$ 6.75
LED HHE UFO	135 W	0.135	10	45	60.75	\$ 6.07
Fluorescente General Electric	80 W	0.08	10	45	36	\$ 3.6

Elaborado por la autora

El mayor consumo eléctrico fue de la lámpara Global Star 150 W con un consumo diario de 1.5 KWh, seguido de la lámpara HHE UFO 135W con 1.35 KWh y finalmente la lámpara fluorescente General Electric con 0.80 KWh.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Bajo las condiciones en que se llevó a cabo el presente trabajo experimental se puede concluir lo siguiente:

- Los resultados obtenidos de ambos cultivares de lechuga a los 8 días de trasplante, presentaron alta eficiencia en las variables estudiadas en los tratamientos bajo el efecto de lámpara LED 150 W, sin embargo en los tratamientos bajo lámparas LED 135 W y lámparas fluorescente 80 W no tuvo la misma eficacia presentando resultados inferiores en cuanto a altura de planta y longitud de hoja.
- Las plantas de los dos tipos de cultivares de lechuga a los 16 días de trasplante presentaron una etiolación como respuesta de fotomorfogénesis, en los tratamientos bajo el efecto de lámpara LED 1 de 150 W y lámpara LED 2 de 135 W, mientras que en las plantas bajo las lámparas fluorescentes presentó un 5 % de mortalidad.
- El uso y consumo de energía eléctrica de cada una de las lámparas en estudio presentaron diferentes costos aunque pese a que las lámparas LED 1 Global Star 150 W y LED 2 HHE UFO 135 W, tienen un consumo mayor en Kilo Watts por hora se caracterizan por evitar costos de mantenimiento y tienen una vida útil de más de 50 000 horas.
- Se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_1), debido a que el trabajo experimental durante los 8 días después del trasplante presentó resultados significativos, pero a partir de los 16 días las plantas de las variedades en estudio presentaron etiolación en el tallo, días más tarde las plantas empezaron a debilitarse; aumentando el índice de mortalidad especialmente los tratamientos bajo las lámparas testigo (fluorescente), para el día 21 el índice de mortalidad llegó a 50 % por lo tanto el trabajo no pudo llegar a cosecha.

5.2. Recomendaciones

Según los objetivos y la problemática del trabajo experimental de titulación, los resultados y conclusiones, se recomienda lo siguiente:

- Desde el punto de vista agrícola, se recomienda sembrar el cultivar SaladBowl, debido a que en los parámetros de evaluación presentan eficiencia durante los primeros días de trasplante y realizar futuras investigaciones sobre distancias de siembra.
- Ejecución de investigaciones futuras de uso de iluminación artificial en lechugas, bajo el método de cultivo de hidroponía en invernaderos urbanos.
- Evaluación de la calidad espectral necesaria en otras especies de plantas hortícolas y flor de producción típica en Ecuador, mediante análisis fisiológicos.
- Realizar futuras investigaciones en hortalizas bajo iluminación artificial a una altura de 0.50 m.

BIBLIOGRAFIA

- Alabadi, D., Gil, J., Garcia, L., Garcia, J., & Blázquez, M. (2004). Represión de la fotomorfogénesis por giberelinas en *Arabidopsis*. In D. Rodríguez, & C. Rodríguez, *Metabolismo y modo de acción de fitohormonas* (p. 115). Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- Aranda, A., Zabalza, I., Díaz, S., & Llera, E. (2010). *Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Avila, H. (2005). *Lo urbano-rural, ¿nuevas expresiones territoriales?* Cuernavaca: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.
- Camacho. (1999). *Gran consultor Educar Enciclopedia estudiantil*. Educar Cultural y Recreativa S.A.
- Campbell, N., & Reece, J. (2007). *Biología*. Ed. Médica Panamericana.
- Casierra-Posada, F., Nieto, P., & Ulrichs, C. (2012). Crecimiento, producción y calidad de flores en calas (*Zantedeschia aethiopica* (L.) K. Spreng) expuestas a diferente calidad de luz. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 97-105.
- Casseres, E. (1966). *Producción de Hortalizas*. Peru: Instituto Interamericano de Ciencias Agropecuarias.
- Castilla, N., & Prados, N. C. (2007). *Invernaderos de plástico* (2ª edición ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Chavarria, A., Marquez, M., Mendez, M., & Mira, C. (2011). *Ahorro de energía eléctrica en sistemas de iluminación a base de diodos emisores de luz con aplicación en edificios no residenciales de acuerdo con la NOM-007-ENER-2004*. Retrieved Diciembre 20, 2015, from DSpace: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8091/ice%20302.pdf?sequence=1>
- Collazo, M. (2006). *Manual de Practicas de Fotosíntesis*. Mexico: UNAM.
- Curtis, H., & Schnek, A. (2006). *Invitación a la biología*. Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana.

- Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). *Curtis. Biología* (1160 ed.). Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana.
- De la Cruz, N. (2012). *Sistema inteligente para el ahorro de energía en lámpara fluorescentes*. Retrieved Diciembre 16, 2015, from <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/9901/141.pdf?sequence=1>
- De la Rosa, M. (2005). *La luz en Biología*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Dole, J., & Wilkins, H. (1999). *Floriculture: Principles and Species*. New Jersey: Prentice-Hall inc.
- Duran, J., & Quinto, A. (2015). *Ahorro de energía en invernaderos mediante el uso de iluminación led*. Retrieved Diciembre 5, 2015, from DSpace: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14117/AHORRO%20DE%20ENERGIA%20EN%20INVERNADEROS%20MEDIANTE%20EL%20USO%20DE%20ILUMINACION%20LED.pdf?sequence=1>
- Enríquez, G. (2005). *Manual práctico de alumbrado*. México: Limusa.
- FAO. (1999). Cuestiones de la agricultura urbana y periurbana. *Enfoques: Agricultura urbana*. Retrieved from <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp2.htm>
- FAO. (2002). *El Cultivo Protegido en Clima Mediterraneo*. Retrieved Diciembre 18, 2015, from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/s8630S/s8630S00.pdf>
- FAO. (2010). *Agricultura Urbana y Periurbana como Herramienta de la Seguridad Alimentaria y Desarrollo Municipal.*, (p. 106). Santiago de Chile.
- Fontal. (2005). *El espectro electromagnético y sus aplicaciones*. Obtenido de http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16746/1/espectro_electromagnetico.pdf
- Gago, A., & Fraile, J. (2012). *Iluminación con Tecnología LED*. Paraninfo.
- Gago, A., Calderón, A. G., & Fraile, J. (2012). *Iluminación con tecnología LED*. Editorial Paraninfo.

- Garcia, M. (2013). *El cultivo de la lechuga*. Retrieved Noviembre 25, 2015, from https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/446/42109/1/Documento2.pdf
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica: AGRUCO-CATIE.
- Granval. (1989). Elementos de mejoramiento genético de lechuga aplicados en la producción de semilla. *Curso internacional en investigaciones y producción de semilla de hortalizas*, (pág. 20).
- Hall, G., & Rao, K. (1999). *Photosynthesis: Studies in biology*. Cambridge University Press.
- Herrans, C., Olle, J., & Jauregui, F. (2011). *La Iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica*. Retrieved Noviembre 15, 2015, from Celfos: <http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>
- Jordan, M., & Casaretto, J. (2006). Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberalinas y Citoquininas. In F. Saqueo, & L. Cardemil, *Fisiología Vegetal*. Chile: Ediciones Universidad de La Serena,.
- Kim, H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2004). Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities. *Annals of Botany*, 94, 691-697.
- Maroto, J. (2005). *Elementos de horticultura general*. Mundi-Prensa.
- Martín, P., Navas, L., Hernandez, S., Correa, A., Martín, J., Martín, E., . . . Duran, J. (2010). *Diodos emisores de luz para la irradiación de plantas*. Retrieved Diciembre 18, 2015, from http://oa.upm.es/7044/2/INVE_MEM_2010_76665.pdf
- Mougeot, J. A. (2006). *Cultivando Mejores Ciudades: Agricultura Urbana Para El Desarrollo Sostenible*. Canada: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- Nozue, K., & Maloof, J. (2006). Diurnal regulation of plant growth. *Plant, Cell & Environment*, 29, 396-408. Retrieved Noviembre 25, 2015

- Ofiagro. (2012). Aumenta producción y consumo de hortalizas. *El Agro*, 16. Obtenido de <http://www.revistaelagro.com>
- Pérez, E. (2011). Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *REDUCA*, 2-5.
- Pérez, J., & Carlos, J. (2003). El Fototropismo en planas. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 47-52.
- Pérez, M. J., Silva, T. d., & Lao, M. T. (2006). Light Management in Ornamental Crops. In *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology* (pp. 683-695). UK: Global Science.
- Ramos, M., Navas, L., Hernández, S., Correa, A., Martín, J., Martín, E., . . . Duran, J. (2010). Diodos emisores de luz para la irradiación. *Diodos emisores de luz para la irradiación*. España: Scribd.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de liminología neotropical*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roldán, J. (2012). *Estudios de viabilidad de instalaciones solares. Determinación del potencial solar*. España: Paraninfo.
- Salvetti, N., Ludeña, M., Ricci, N., Lorente, J., Gapel, C., & Ortega, H. (2002). Influencia del fotoperíodo sobre la morfología gonadal del ratón (*Mus Musculus*): efecto de la falta de alternancia luz/oscuridad. *FAVE - Sección Ciencias Veterinarias*, 21-29.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal*. Universitat Jaume I.
- Ting. (1982). *Plant Physiology*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Torres, P. (2000). *Sustentabilidad y agricultura urbana*. Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- UNIDO. (2005). *UNIDO ORG*. Retrieved Enero 20, 2016, from Manual de producción más limpia: https://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/CP_ToolKit_spanish/PR-Volume_04/4-Textbook.pdf
- Urban Harvest. (2006). *Memoria y Declaración: "Agricultura urbana y peri-urbana en Lima Metropolitana: una estrategia de lucha contra la pobreza*

y la inseguridad alimentaria. Lima: Centro Internacional de la Papa-Urban Harvest.

Vallejo, F., & Estrada, E. (2005). *Producción de hortalizas de clima calido*. Universidad nacional de Colombia.

Yorio, N. C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 380-383.

ANEXOS

Tabla A1: Cronograma de actividades

N°	Actividades	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
1	Consulta del material bibliográfico	X	X	X	
2	Compra del material para la implementación del invernadero	X	X		
3	Implementación del invernadero urbano	X	X		
4	Instalación eléctrica de lámparas LED y lámparas fluorescente.		X		
5	Instalación del sistema de riego		X		
6	Trasplante de lechugas		X		
7	Toma de datos			X	X
8	Elaboración de Informe Técnico	X	X	X	X

Elaborado por la autora

Tabla A2: Croquis de campo



- T1 = Variedad 1 + Variedad 2 + LED 1**
- T2 = Variedad 1 + Variedad 2 + LED 2**
- T3 = Variedad 1 + Variedad 2 + testigo**

Elaborado por la autora

Tabla A3: Ficha técnica Lámpara GlobalStar 150W

FICHA TECNICA		
	Dimensiones:	11.8 x 6.4 x 2.2 pulgadas
	Peso:	4.6 libras
	Area de Cobertura en vegetación:	6-10 pies cuadrados
	Area de Cobertura en floración:	4-6 pies cuadrados
	Temperatura:	0-131 ° F
	Voltaje:	265V
	Cultivos como:	Plantas medicinales, tomates, lechugas, rosas, col
	Otros usos:	Adecuado para jardín
<p>El Global Star G02-50x6w Plus es un Full Spectrum LED crece la luz que está diseñado con los jardineros de interior y horticultores en mente. Fue lanzado recientemente en el mercado de Amazon como una opción agradable y económico que muchas personas están optando por invertir en. Pero, ¿es tan grande como se supone que debe ser? ¿O es sólo otro barato panel de knock-off que no va a durar más de un par de crece? Tuvimos la oportunidad de probar a fondo por nosotros mismos, así que pudimos averiguar si es adecuado para el cultivo de plantas y flores sanas</p>		
Tipos de módulos		
<p>El modo de verduras es un patrón que utiliza 6 piezas rojas (625-630nm) , 8pcs azul (470 nm) , 4 piezas azul (450 nm) , 2 piezas (3500-4000K) , 2 piezas (6500-7000K) , 2 piezas (13500-14000K) y 1 pieza verde (525-530nm) . Esta mezcla se dice para mejorar la producción vegetal para aumentar follaje, alargar los tallos, y construir un sistema radicular sano.</p> <p>Una vez que quieres un poco más de intensidad o una vez usted se mueve en el modo de flor, te darás cuenta de más diodos iluminados para crear un patrón de luz intensa . Este se compone de 2 piezas rojas (630 nm) , 12 piezas Rojo (660nm) , 4 pedazos de Orange (610-615nm) , 4 piezas Amarillo (585-595nm) , y 3 piezas azul real</p>		

Fuente: Amazon, 2015

Tabla A 4: Especificaciones lámpara HHE UFO LED 135W.

Especificaciones		
	Dimensiones:	317 * 317 * 140mm
	Peso:	5 libras
	Potencia:	135 W
	Espectro de luz:	630-460
	Temperatura:	0-131 ° F
	Voltaje:	85-265 V
	Aplicación:	Estado en fase de crecimiento y floración
	Incluye	Tres piezas ventilador
	<p>Adecuado para todas las etapas de crecimiento. Semilla de la flor de la fruta Emitirá la longitud de onda de la luz que puede ser totalmente absorbida por la fotosíntesis las plantas 2 años de garantía, cero costo de mantenimiento , garantía sin complicaciones El paquete incluye : 1 llevado a crecer de luz , cable de alimentación , 1 - 1 -piezas que cuelgan del gancho</p>	

Fuente: Amazon, 2015

Tabla A 5: Presupuesto

PRESUPUESTO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL				
ACTIVIDADES (Noviembre 2015 - Febrero 2016)	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
Lamparas GlobalStar 150W	unidad	3	\$ 99.00	\$ 297.00
Lamparas HHE UFO 135	unidad	3	\$ 77.00	\$ 231.00
Lámparas Flourescentes	unidad	3	\$ 35.00	\$ 105.00
Cultivar SaladBowl	caja	3	\$ 3.00	\$ 9.00
Cultivar WinterHaven	caja	3	\$ 3.00	\$ 9.00
Plastico Negro	metro	20	\$ 4.00	\$ 80.00
Madera	Piezas	50	\$ 5.00	\$ 250.00
Riego	metro	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Timmer	unidad	1	\$ 65.00	\$ 65.00
Termometro	unidad	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Fertilización	apliación	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Instalación electrica	jornal	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Varios	varios	1	\$ 150.00	\$ 150.00
TOTAL				\$ 1,476.00

Elaborado por la autora

Tabla A 6: Datos de altura de planta a los 8 días de trasplante.

	Datos:		Altura de planta		
	Fecha:	7 de Enero del 2016			
N Tratamientos	Lamparas	Variedad	Repeticion	Altura de planta	
1	L1	V1	1	11.49	
2	L1	V2	1	7.2	
3	L2	V1	1	8.2	
4	L2	V2	1	6	
5	L3	V1	1	7.75	
6	L3	V2	1	5	
1	L1	V1	2	11.49	
2	L1	V2	2	7.2	
3	L2	V1	2	8.2	
4	L2	V2	2	6	
5	L3	V1	2	7.75	
6	L3	V2	2	5	
1	L1	V1	3	11	
2	L1	V2	3	7.4	
3	L2	V1	3	7.5	
4	L2	V2	3	5.5	
5	L3	V1	3	6.75	
6	L3	V2	3	5	

Elaborado por la autora

Tabla A 7: Datos de altura de planta a los 16 días de trasplante.

	Datos:		Altura de planta		
	Fecha:	15 de Enero del 2016			
N Tratamientos	Lamparas	Variedad	Repeticion	Altura de planta	
1	L1	V1	1	19.67	
2	L1	V2	1	13.67	
3	L2	V1	1	12	
4	L2	V2	1	7.5	
5	L3	V1	1	9.5	
6	L3	V2	1	5.33	
1	L1	V1	2	16.67	
2	L1	V2	2	11.67	
3	L2	V1	2	10.5	
4	L2	V2	2	5	
5	L3	V1	2	10.33	
6	L3	V2	2	6.6	
1	L1	V1	3	17.67	
2	L1	V2	3	11.83	
3	L2	V1	3	11.67	
4	L2	V2	3	5.5	
5	L3	V1	3	7	
6	L3	V2	3	7.83	

Elaborado por la autora

Tabla A8: Datos de número de hojas a los 8 días de trasplante.

	Datos:		Numero de hoja		
	Fecha:	07 de Enero del 2016			
N Tratamientos	Lamparas	Variedad	Repeticion	Numero de Hoja	
1	L1	V1	1	4.55	
2	L1	V2	1	4.53	
3	L2	V1	1	3.14	
4	L2	V2	1	3.86	
5	L3	V1	1	3	
6	L3	V2	1	3	
1	L1	V1	2	4.66	
2	L1	V2	2	4.5	
3	L2	V1	2	4.2	
4	L2	V2	2	3.2	
5	L3	V1	2	4.53	
6	L3	V2	2	3.18	
1	L1	V1	3	4.5	
2	L1	V2	3	4.3	
3	L2	V1	3	4.65	
4	L2	V2	3	4	
5	L3	V1	3	3.18	
6	L3	V2	3	3.6	

Elaborado por la autora

Tabla A9: Datos de número de hoja a los 16 días de trasplante.

	Datos:		Numero de hoja		
	Fecha:	15 de Enero del 2016			
N Tratamientos	Lamparas	Variedad	Repeticion	Numero de Hoja	
1	L1	V1	1	7	
2	L1	V2	1	5.67	
3	L2	V1	1	4.83	
4	L2	V2	1	4.83	
5	L3	V1	1	4	
6	L3	V2	1	4	
1	L1	V1	2	6.83	
2	L1	V2	2	6.16	
3	L2	V1	2	6	
4	L2	V2	2	4	
5	L3	V1	2	5.67	
6	L3	V2	2	4.83	
1	L1	V1	3	6	
2	L1	V2	3	5.33	
3	L2	V1	3	5.83	
4	L2	V2	3	5	
5	L3	V1	3	3.67	
6	L3	V2	3	4.5	

Elaborado por la autora

Tabla A10: Datos de longitud de hoja a los 8 días de trasplante.

	Datos:		Longitud de hoja		
	Fecha:		07 de Enero del 2016		
N Tratamientos	Lamparas	Variedad	Repeticion	Longitud de hoja	
1	L1	V1	1	7.58	
2	L1	V2	1	5.2	
3	L2	V1	1	6	
4	L2	V2	1	5.3	
5	L3	V1	1	6	
6	L3	V2	1	4	
1	L1	V1	2	7.15	
2	L1	V2	2	5.1	
3	L2	V1	2	5.5	
4	L2	V2	2	4.9	
5	L3	V1	2	6.5	
6	L3	V2	2	4	
1	L1	V1	3	7.3	
2	L1	V2	3	5.25	
3	L2	V1	3	6	
4	L2	V2	3	4	
5	L3	V1	3	6	
6	L3	V2	3	4	

Elaborado por la autora

Tabla A11. Datos de longitud de hoja a los días de trasplante.

	Datos:		Longitud de hoja		
	Fecha:		15 de Enero del 2016		
N Tratamientos	Lamparas	Variedad	Repeticion	Longitud de hoja	
1	L1	V1	1	11.67	
2	L1	V2	1	6.5	
3	L2	V1	1	9.16	
4	L2	V2	1	6	
5	L3	V1	1	8.16	
6	L3	V2	1	4.16	
1	L1	V1	2	11	
2	L1	V2	2	6.83	
3	L2	V1	2	8.16	
4	L2	V2	2	5.5	
5	L3	V1	2	8	
6	L3	V2	2	6	
1	L1	V1	3	11.83	
2	L1	V2	3	6	
3	L2	V1	3	7.5	
4	L2	V2	3	4.67	
5	L3	V1	3	5.67	
6	L3	V2	3	4.16	

Elaborado por la autora

Foto 1: Elaboración de cajas



Elaborado por la autora

Foto 2: Colocación de cajas



Elaborado por la autora

Foto 3: Implementación de invernadero



Elaborado por la autora

Foto 4: Colocación de plásticos.



Elaborado por la autora

Foto 5: Implementación del sistema de riego



Elaborado por la autora

Foto 6: Timmer para automatización del riego



Elaborado por la autora

Foto 7: Prueba de lámparas LED



Elaborado por la autora

Foto 8: Aplicación de sustrato



Elaborado por la autora

Foto 9: Trasplante de lechuga



Elaborado por la autora

Foto 10: Variedades de lechuga a los 10 días.



Elaborado por la autora

Foto 11: Presencia de mortalidad en los tratamientos bajo lámparas fluorescente.



Elaborado por la autora

Foto 12: Variedades de lechuga a los 11 días después de trasplante.



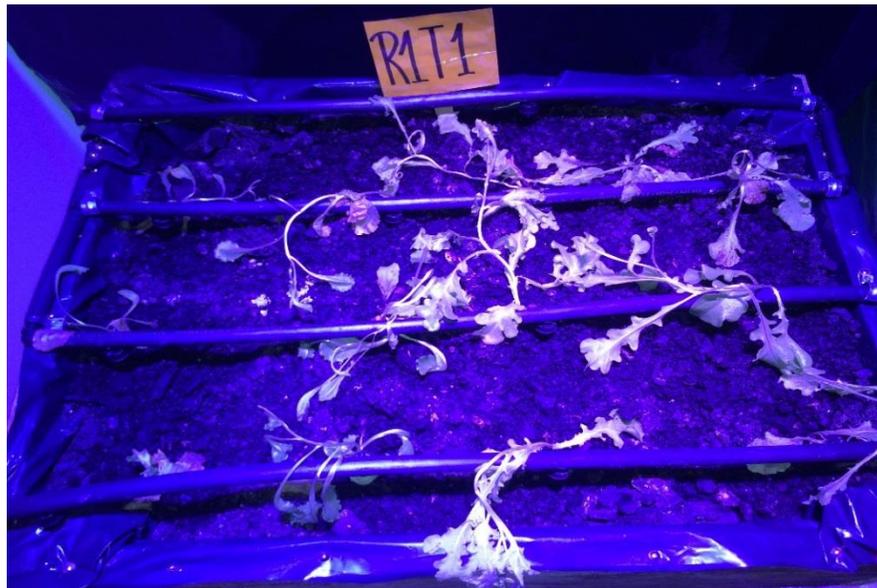
Elaborado por la autora

Foto 13: Día 25 después del trasplante.



Elaborado por la autora

Foto 14: Debilitamiento en las plantas de lechuga



Elaborado por la autora

Tabla A12: Análisis Físico-Químico de suelos.

Dr. Jorge E. Fuentes C.

Laboratorio de Análisis Agrícola / R.U.C.: 1700811134001

Urdesa norte Av. 4ta. #203 y calle 2da.
 Telefono: 2387310 / 088675672
 Guayaquil - Ecuador

Caracterización físico - químico de suelos

Propietario: Suelo para invernadero Cultivo: Lechuga
 Propiedad: Suelo para invernadero Variedad:
 Localidad: Srta. Luz Elena Jimenez Ingreso: 06 de enero/2016
 Solicitado por: Srta. Luz Elena Jimenez Salida: 14 de enero/2016

Prmt.	Unid.	2016001	1
Arena	%	72	
Limo		18	
Arcilla		10	
Clase	-----	FAr organic	
DA	gr/cm3	0,70	
pH	u.	8,56	alc
CE 1:1	mmhos	2,08	N
MO	%	12,1	a
N		0,73	a
CIC	meq /	71,4	a
Na	100 gr	0,50	N
K int.		11,89	a
Ca		48,6	m
Mg		7,9	m
P	ppm	140,9	a
Fe		11,4	b
Mn		12,6	m
Zn		64,3	ma
Cu		1,4	b


 Dr. Jorge E. Fuentes Cerrillo
 QUÍMICO RESPONSABLE
 Análisis Agrícolas y Afines

Fuente: Fuentes, 2015.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Jiménez Pérez Luz Elena, con C.C: # 1722238050 autor del trabajo de titulación: Efecto de la intensidad lumínica de lámparas LED en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) previo a la obtención del título de **INGENIERA AGROPECUARIA con mención en Gestión Empresarial Agropecuaria** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 17 de Marzo de 2016

f. _____
Nombre: Jiménez Pérez Luz Elena
C.C: 1722238050

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Efecto de la intensidad lumínica de lámparas LED en la producción de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Jiménez Pérez, Luz Elena		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Ing. Donoso Bruque, Manuel Enrique		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica Para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Agropecuaria		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera Agropecuaria con mención en Gestión Empresarial Agropecuaria		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de Marzo de 2016	No. DE PÁGINAS:	81
ÁREAS TEMÁTICAS:	Manejo de procesos agroalimentarios		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Lechuga, SaladBowl, WinterHaven, lámparas, LED.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo experimental tuvo los siguientes objetivos: analizar las diferencias significativas entre los tratamientos de distintos fuente de luz utilizados, examinar el desarrollo agronómico de lechuga bajo los efectos de las diferentes lámparas implementadas. Los factores en estudio fueron las dos variedades de lechuga; SaladBowl y WinterHaven, y tres sistemas de iluminación artificial, dos lámparas LED GlobalStar 150 W, LED HHE UFO 135W y tubos fluorescentes 80W.</p> <p>De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo experimental, podemos concluir: los cultivares de lechuga SaladBowl y WinterHaven a los 8 días de trasplante, presentaron alta eficiencia en las variables estudiadas en los tratamientos bajo el efecto de lámpara LED 150W, sin embargo en los tratamientos bajo lámparas LED 135W y lámparas fluorescente 80W, presentó resultados inferiores en cuanto a altura de planta y longitud de hoja.</p> <p>Las plantas de los dos tipos de cultivares de lechuga a los 16 días de trasplante presentaron una etiolación como respuesta de fotomorfogénesis.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-5128721 / 0997963779	E-mail: lu_jiménez23@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Ing. Manuel Enrique Donoso Bruque		
	Teléfono: 0991070554		
	E-mail: manuel.donoso@cu.ucsg.edu.ec		

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	