

TÍTULO DEL PROYECTO

Efecto de la intensidad de Diodos Emisores de Luz y fotoperiodo controlado automáticamente en la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y consumo de agua

SIGLAS

HIDRO

TIPO DE PROYECTO

Aplicada

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

LINCAP

DURACIÓN ESTIMADA

Fecha de inicio: 03/07/2017 Fecha de término: 31/05/2018

PARTICIPANTES

- VASQUEZ VILLALOBOS VICTOR JAVIER (COORDINADOR(INV. PRINCIPAL)) — 000000772
- CHIA CHAPA LAURA SOFIA (ESTUDIANTE) — 000136040

INSTITUCIÓN O LUGAR A EJECUCARSE

- UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO - UPAO (Ciencias Agrarias: Industrias Alimentarias)

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál será el efecto de la intensidad de Diodos Emisores de Luz y fotoperiodo controlado automáticamente en la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y consumo de agua?

II. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza de hoja típica de ensaladas, la mayoría de las variedades de lechuga que se cultivan comercialmente son producto de la hibridación. Su valor en el mercado se da por el alto contenido de vitaminas, dado que se maneja como un producto de la cuarta gama. Algunos usos menos comunes para las lechugas, incluyen cigarrillos sin nicotina a partir de hojas de lechuga, aceite comestible extraído de las semillas de lechugas, sedante de látex que se obtiene a partir de tallos y otros tejidos de lechuga que se utiliza para fabricar medicamento inductor del sueño (Gutierrez, 2011).

Producción de hortalizas como la lechuga bajo iluminación artificial, podría ayudar a resolver los problemas como el uso ineficiente de la energía, impacto ambiental y seguridad alimentaria en sistemas de producción agrícola (Pinho *et al.*, 2012). Iluminación de alta intensidad de descarga

halogenuros metálicos como alta presión del sodio (Domurath *et al.*, 2012) se han utilizado pero desprenden demasiado calor y aumenta la temperatura de las hojas. Diodos emisores de luz (LEDs) ofrecen las ventajas de un estrecho espectro de luz, bajo consumo y poca producción de calor (Goto, 2012; Kobayashi *et al.*, 2013). Las longitudes de onda específicas de luz para la fotosíntesis y otros procesos fisiológicos de cultivos pueden controlarse por el agricultor.

Diodos emisores de luz (LEDs) poseen propiedades únicas que son altamente convenientes para varias operaciones en la industria alimentaria. Tales propiedades incluyen las emisiones radiantes de bajo calor, alta emisión de luz monocromática, larga esperanza de vida, flexibilidad y robustez mecánica. Por lo tanto, reducen el daño térmico y la degradación en cultivos y alimentos. Su control sobre la composición espectral de la luz emitida, resulta en mayores rendimientos y contenido nutritivo de los productos hortícolas o agrícolas. Recientemente, los LEDs han demostrado propiedades para preservar o mejorar la calidad nutritiva de los alimentos en la etapa poscosecha, así como manipular la maduración de los frutos y reducir las infecciones por hongos. Los LEDs pueden utilizarse como fotosensitivos o fotocatalizadores para inactivar las bacterias patógenas en alimentos. Por lo tanto, proporcionan un medio no térmico para mantener alimentos seguros sin utilizar desinfectantes químicos o aditivos y sin acelerar la resistencia bacteriana (D'Souza *et al.* 2015). Al respecto Lee y Park (2013) investigaron el uso de tecnología con luz artificial bajo en contexto de ahorro de energía, mediante el control de LEDs según la intensidad de la radiación del sol usando un fotosensor 260 PPFD (*Photosynthesis Photon Flux Density*), manteniéndolo constante sin importar el cambio foto-medioambiental. Para el crecimiento óptimo y eficiente del cultivo, decidieron la combinación de colores LED. El porcentaje de ahorro de energía entre un cultivo con luz artificial y un cultivo con luz solar fue del 43%. Optimización de crecimiento de plantas con luz de LED se ha realizado para estudiar el mejor método para reducir el consumo de energía. Harum *et al.* (2015) han reportado la realización en cultivos hidropónicos de *Brassica chinensis* con dos experimentos (a) un tratamiento con combinación de LEDs Rojo/Azul/Blanco (RAB) en proporción 16:4:2, como fuente de luz para un fotoperiodo de 12 horas, (b) Tratamiento con LEDs Rojo/Azul/Rojo lejano (RARL) en proporción 16:4:16 como fuente de luz para un fotoperiodo de 12 horas. El tratamiento con RL retraso el proceso de floración, afectando la elongación del tallo, comparado con plantas que no tuvieron este tratamiento.

Los recientes desarrollos conseguidos en el área de la iluminación con diodos emisores de luz (LEDs, cuando son inorgánicos, y OLEDs, cuando son orgánicos) resultan de gran interés en horticultura, al permitir manipular el espectro radiante que va a incidir sobre las plantas, con el objetivo de aumentar su producción o de generar determinados efectos fisiológicos, sobre todo en invernaderos (Martín-Ramos *et al.*, 2017). Según los autores, estos dispositivos son más eficientes que las lámparas incandescentes (consumen mucha menor energía eléctrica y poseen una vida media de uso mucho más larga, no generan exceso de calor y por tanto no dañan a plantas térmicamente sensibles), e incluso, en el caso de los LEDs rojos, repelen insectos, por lo que contribuyen a la disminución en el uso de agrotóxicos. Se ha experimentado en cultivos de crisantemos con iluminación LEDs de color rojo de 150 W en invernaderos, el cual produjo el

mismo efecto que 50 lámparas incandescentes de 3750 W. Como resultado se tuvo una disminución del coste de la energía eléctrica consumida en 25 veces. En la Universidad *Southern Denmark*, determinaron que la utilización de LEDs rojos y azules, resultaba más eficiente en invernaderos industriales, que la iluminación fluorescente de alta potencia, concluyendo que los gastos de instalación (tres veces superiores para LEDs que para sistemas fluorescentes) resultan compensadas por las reducciones de coste de funcionamiento (un 80% de ahorro en energía eléctrica). En la Universidad *St. Andrews*, en el Reino Unido, concluyeron que bastan intensidades LED del orden de 1 W/m^2 , para conseguir efectos claros en la precocidad y calidad de la floración de *Cineraria*. Las compañías Philips u Osram, disponen de aplicaciones comerciales de LEDs para irradiación de plantas, en color rojo, azul y rojo-lejano (Martín-Ramos *et al.*, 2017).

Chang *et al.* (2013) han propuesto una iluminación suplementaria con luz LED y esquema regulatorio para su aplicación en sistemas de producción de cultivo semi-cerrados. Basada en un módulo de control de iluminación suplementaria, que funciona con inferencias de lógica difusa y una base de datos de expertos. Bajo la hipótesis de que las condiciones de temperatura y humedad son consistentes, el sistema puede implementarse con iluminación suplementaria de diferentes longitudes de onda, de acuerdo a las condiciones de distribución espectral solar y patrones de crecimiento de la planta. Sostienen que simulaciones han demostrado que, bajo la condición de plena luz solar, el sistema todavía puede proveer luz suplementaria para compensar el insuficiente espectro de la luz. Comparada a las lámparas tradicionales que necesitan activarse durante largos períodos de tiempo, este sistema puede ajustar el espectro de luz e intensidad para lograr ahorro de energía y por lo tanto es conveniente para el uso en sistemas de control de iluminación en los invernaderos futuros.

Fernandes y Bhavani (2016) determinaron que los diodos de emisión de luz orgánica (OLED) son dispositivos de estado sólido con un gran potencial para aplicaciones de iluminación comercial e industrial. Son flexibles y tienen una ventaja adicional de no contener ningún material tóxico y por lo tanto son altamente sostenibles. Realizaron una evaluación comparativa del rendimiento del OLED con su contraparte popular diodos emisores de luz (LED), en términos de emisión luminosa, eficacia, así como coeficiente de utilización (CU), sobre la base de similar tamaño y potencia de entrada; utilizando el software MATLAB. Determinaron que OLED con respecto al LED, es menor en cuanto a la magnitud de la intensidad luminosa y eficacia y tiene un mejor CU, así como puede cubrir un área más amplia para la iluminación, lo que es adecuado para sistemas de luminarias cerca del plano de trabajo o incluso en sistemas de iluminación de emergencia.

Mahajan y Markande (2016) han propuesto un sistema de control de iluminación de LED inteligente, basado en controlador de lógica difusa. En modo automático, las luces son cambiadas con presencia humana y controles de intensidad de luz, dependiendo de la luz natural disponible. En modo manual, intensidad de la luz fue ajustada usando *bluetooth* con aplicación de *smartphone*. Consumo de energía y un sensor de base de datos fueron, registrados en un dispositivo de almacenamiento. Se consiguió la reducción del consumo de energía por las luces y

sistema de control asociado, sin comprometer la comodidad de visión del usuario

La Clorofila no absorbe igualmente todas las longitudes de onda de luz visible. La clorofila a, el pigmento más importante de absorción de luz en las plantas, no absorben la luz en la parte verde del espectro. La luz en este rango de longitudes de onda de la luz se refleja. Esta es la razón por la clorofila es verde y también, por qué las plantas (que contienen una gran cantidad de clorofila) son también verdes. La absorción de luz por la clorofila a es máximo en dos puntos, a 430 y 662 nm. La tasa de fotosíntesis a diferentes longitudes de onda de luz visible, muestran dos picos que corresponden aproximadamente a los picos de absorción de la clorofila a. las plantas no dependen sólo de clorofila a, también tienen otros pigmentos (pigmentos accesorios) que absorben la luz de diferentes longitudes de onda. Los Grow LEDs pueden combinar luz roja, azul y blanca de acuerdo al espectro de cada planta. Los LEDs blanco tienen la mayor parte de su energía focalizada en el extremo azul del espectro. La principal razón de incluirse es porque proporcionan un mínimo de frecuencias adecuadas en el espectro de luz, estas frecuencias no son usadas extensivamente por la la planta, pero para algunas plantas pueden ser como elementos traza, que son necesarias en pequeñas cantidades (Mills y Dunn, 2016).

Con respecto a la lechuga (*Lactuca sativa* L.), Kobayashi *et al.* (2013) determinaron el efecto de diferentes fuentes de luz en el crecimiento de la lechuga francesa de miniatura "Tom Thumb", en un sistema hidropónico no circulante. La lechuga se cultivó bajo tres tratamientos de luz, LEDs azul, LEDs rojos y luces fluorescentes. Al final del estudio, con las luces azules se obtuvieron un mayor peso seco de la raíz, que LEDs azules y rojos. El peso seco total de la planta bajo luces fluorescentes, fue mayor que en LEDs rojos. No existió diferencias significativas en brote seco, peso y altura de planta entre los tratamientos.

Se estudiaron los efectos de la calidad de la luz en el crecimiento y calidad de un cultivo hidropónico de lechuga. Se realizaron 3 tratamientos, con: LED blanco como control (CK), (T1) LED rojo-blanco (R:W = 1:4), (T2) LED rojo-blanco (R:W = 1:1). Las lechugas se cultivaron 35 días bajo diferentes tratamientos de luz diferentes. Los resultados, mostraron que el crecimiento y la calidad de la lechuga fueron afectados significativamente por el tratamiento de la calidad de la luz. El crecimiento de brote y raíz en lechuga hidropónica, fueron enriquecidos por luz roja el que incremento por el aumento del coeficiente de luz. El contenido de azúcares solubles y vitamina C, aumentó bajo luz roja e incrementó con el aumento de intensidad. Las concentraciones de nitrato disminuyeron bajo luz roja, disminuyendo su coeficiente cuando la luz roja aumentó. Por lo que resulta más beneficioso para el crecimiento y calidad de lechuga, en cultivos hidropónicos (Chen *et al.*, 2015).

Junto con el potencial de alta eficiencia energética, el diodo electroluminoso (LED) proporciona la posibilidad de un control de espectro. Al respecto se han presentado datos originales sobre la influencia de la calidad del espectro de luz de LED en el crecimiento y la captación de macro y micro nutrientes de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. Frillice) cultivadas en condiciones de interior y sin luz del día. Cuatro combinaciones espectrales de luz LED fueron investigados, usando la

iluminación convencional de sodio de alta presión (HPS) como control. En general, los espectros de luz de LED fueron más favorables, que el espectro de luz de HPS para promover el crecimiento y absorción de las plantas. En particular, el espectro de luz proporcionada por la combinación de LEDs rojo lejano, rojo intenso y azul, tuvieron el mayor crecimiento e índices de absorción de nutrientes. Esta combinación espectral particular, mejora la absorción de potasio, calcio y magnesio, en comparación con las plantas control, cultivadas con lámparas HPS convencionales. La absorción de hierro y zinc fue significativamente influenciada por los cambios espectrales de la luz roja y azul (Pinho *et al.*, 2016).

Por otro lado se ha estudiado la degradación de la materia orgánica presente en aguas hospitalarias aplicando ozono (O_3) en diferentes condiciones de pH (3, 10). Para esto se analizaron los valores de la UV_{254} , la relación de biodegradabilidad DQO/DBO₅ y el color (VIS₄₃₆). Adicional a esto, se realizó un ensayo de toxicidad aguda, utilizando bulbos de cebolla común (*Allium cepa* L). Los resultados mostraron que con una dosis aplicada de 187 mg O_3 /h y valores de pH=10, la biodegradabilidad aumentó en un 70% y la toxicidad aguda se redujo en 62%, mientras que para valores de pH =3,0, se favoreció la remoción de la UV_{254} y el color. La aplicación de ozono demostró ser una alternativa viable para tratar efluentes hospitalarios como pretratamiento de un proceso biológico (Grisales, 2017)

Se estudiaron los efectos del tratamiento con microburbujas de ozono (OMCB), con diferentes temperaturas de agua, en la remoción residual del pesticida fenitrothion (FT) y en las propiedades físicas de lechuga y tomates cherry. El porcentaje residual de FT en lechuga y tomates cherry mostró disminución mediante el uso de temperaturas de agua, especialmente en los 30 °C, resultando en una disminución de 32 a 52%, después de 20 min de tratamiento. Asimismo, el tratamiento OMCB no alteró el color y fuerza de tracción de lechuga y tomates cherry. Estos resultados indicaron que el tratamiento OMCB a 30°C, es un método altamente eficaz para la eliminación de residuos FT en lechuga y tomates cherry, sin alterar calidad de los cultivos (Ikeura *et al.*, 2013)

Se investigó el efecto de la ozonización en las actividades microbianas de agua potable, y la influencia de las condiciones de tratamiento, tales como pH, temperatura, dosis de ozono y tiempo de contacto, dilucidándose la eficiencia de su eliminación. Los resultados revelaron que la desinfección de los microorganismos, estuvo relacionada con un aumento del tiempo de contacto con ozono. Dosis más altas de ozono, produce elevada inactivación microbiana. La adición de hidróxido e iones hidronio, contribuyó en gran medida a la destrucción de cualquier microorganismo en medios ácidos y básicos, logrando eficiencias 25 a 88% (Demir y Atguden, 2015).

Dongsheng *et al.* (2015) sostienen que la ozonización, es una de las más importantes etapas en las plantas de tratamiento de agua potable. La eficiencia de la ozonización, está directamente relacionada con la calidad del agua tratada. Sin embargo, el proceso de dosificación de ozono, es muy difícil de controlar, debido a su complicado comportamiento no lineal. Los autores

propusieron un sistema avanzado de control, basado en control predictivo del modelo (MPC) del proceso de dosificación de ozono. Con el esquema de control propuesto, se estableció un modelo de red neuronal RBF, que podría ser utilizado para MPC. La estrategia de control de mantener una exposición constante de ozono, fue adoptada para los requerimientos de desinfección eficaz. Los resultados experimentales a gran escala, demostraron la eficacia de este método de control avanzado.

Heleno *et al.* (2016) sostienen que la presencia de residuos de plaguicidas en papa, constituye motivo de preocupación debido al impacto potencial para la salud humana, debido al alto consumo de este vegetal. Analizaron soluciones acuosas con y sin saturación de ozono como tratamiento postcosecha, lavado a pH 4.0, 7.0 y 9.0, para remover clorotalonil. Validaron el método de análisis de pesticidas; encontrando valores de recuperación de 94 a 103%. Independientemente del pH, tratamiento con soluciones acuosas de ozono, removieron de 70 a 76% de los plaguicidas presentes en la papa. En los tratamientos sin ozono, la eliminación promedio del porcentaje de residuos de clorotalonil, fue solamente de 36%. En más de 24 días de almacenamiento, la calidad de papas lavadas con soluciones acuosas de ozono, no fue significativamente diferente de las lavados con agua pura.

Luo *et al.* (2014), considerando que el maíz es propenso a la contaminación por aflatoxinas (AFs), evaluaron los efectos del ozono en la desintoxicación de AFs en harina de maíz (HM) y su contenido de humedad (CH). Encontraron un efecto desintoxicante del ozono en HM en función del tiempo de exposición y aumento de concentración de ozono. Trataron la MH con 15, 30, 45 y 75 mg L⁻¹ de ozono durante 60 min, llegando a CH menor a 15%, lo que permite cumplir con los requisitos de almacenamiento de la HM a largo plazo. Concluyeron que el ozono es potencialmente aplicable en degradar efectivamente el AFs en HM, disminuyendo fuertemente el CH del HM.

III. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO (IMPORTANCIA, BENEFICIARIOS, RESULTADOS ESPERADOS)

Importancia:

La lechuga es una hortalizas de importancia en la alimentación por su aporte de vitaminas y fibra, actualmente una gran cantidad de hortalizas incluida la lechuga se cultivan con agua servidas, por esta razón ya muchos negocios y supermercados comercializan las lechugas de origen hidropónico, cuyo sistema resultaría interesante por las ventajas que los diferentes especialistas reportan en la literatura. El empleo de LEDs Grow, representa de acuerdo a los antecedentes la posibilidad de obtener una mayor producción de lechuga y en menor tiempo, modificando las condiciones de su fotoperiodo, asimismo el empleo de ozono puede mejorar las condiciones sanitarias de las lechugas, considerando que estas se consumen frescas y sin tratamiento térmico, así como y procedimientos de control automático ayudan a mejorar el proceso productivo

con la posibilidad de consumir menos agua y disminuir los costos de producción, cuando los cultivos se escalen a un nivel comercial

Beneficiarios:

Los beneficiarios constituyen el segmento de población mayoritaria, pues la lechuga es una hortaliza de consumo masivo y consumo continuo. El ahorro en el consumo de agua, disminución de su periodo vegetativo, costos y buena calidad microbiológica, pueden permitir mejores condiciones de competencia a los productores y un alejamiento de las afecciones gastrointestinales de los consumidores, por consumo de hortalizas de dudosa procedencia y que actualmente no solamente pueden desencadenar en disturbios estomacales sino en el riesgo de adquirir *Helicobacter pylori* así como cáncer al estómago y colon.

Resultados esperados:

Obtener lechuga hidropónica en menor tiempo, con bajo consumo de agua, en condiciones de control automático y de óptima calidad y salubridad.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general (propósito del proyecto)	Resultados finales	Medios de verificación
Evaluar el efecto de la intensidad de Diodos Emisores de Luz y fotoperiodo controlado automáticamente en la producción hidropónica de lechuga y consumo de agua.	Producción de lechuga (kilos) y consumo de agua (Litros) de acuerdo a diferentes intensidades de Diodos Emisores de Luz y fotoperiodo.	Modulos hidropónicos automáticos y protocolos de los pesos de lechuga y consumo de agua obtenidos en todos los tratamientos.
Objetivos específicos (componentes)	Resultados intermedios	Medios de verificación

<ul style="list-style-type: none"> - Construir dos módulos hidropónicos NFT controlados automáticamente con software libre ARDUINO. - Evaluar utilizando Diseño Compuesto Central Rotable y Metodología de Superficie de Respuesta en los módulos automáticos, el efecto la intensidad de Diodos Emisores de Luz y fotoperiodo en la producción hidropónica de la lechuga y consumo de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prueba de los módulos hidropónicos NFT controlados automáticamente. - Producción de lechuga (kilos) y consumo de agua (litros) obtenidos en diferentes tratamientos con cultivo hidropónico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Módulos hidropónicos NFT operativos controlados automáticamente. - Protocolo de los pesos de lechuga y consumo de agua obtenidos en los diferentes tratamientos experimentales.
--	---	--

V. MARCO TEÓRICO

Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

La lechuga es considerada una hortaliza de hoja por excelencia y dada su alta calidad culinaria, es utilizada como ensalada fresca. Se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas, al aire libre, bajo invernadero, en suelo y también en hidroponía. Es la principal especie de hoja cultivada en hidroponía en el sistema NFT, ya que es posible obtener lechugas de alta calidad en varias cosechas al año. Entre los diferentes tipos de lechuga, las "*butterhead*" o "mantecosas" son las más cultivadas por sistema hidropónico, ya que destaca su mejor calidad en relación a las cultivadas en suelo y al aire libre. Las lechugas "mantecosas" forman una cabeza central, sus hojas son de textura suave de alta palatabilidad; son precoces en relación a otros tipos de lechuga, existiendo variedades de otoño-invierno y primavera-verano. Las lechugas tipo "cos" o "romana" se caracterizan por sus hojas de mayor altura y forma oblonga. Se cultivan en menor escala en NFT, por la dificultosa sujeción de las plantas en los días previos a la cosecha, debido a su gran altura. Las lechugas de hoja arrepollada mal denominadas "escarolas", presentan grandes cabezas de hojas crespas, mayor resistencia a la emisión del tallo floral (florecimiento o subida) comparada a las "mantecosas". Cuando se cultivan este tipo de lechugas en NFT, se deben cuidar las condiciones de temperatura, humedad y luminosidad del invernadero, para así obtener una lechuga de cabeza firme y alto valor comercial. La temperatura óptima para la formación de la cabeza es de alrededor de 20°C. Para la obtención de lechugas de mayor

cabeza, se requiere un mayor número de hojas por lo que se debe mantener mayor tiempo el cultivo, lo que debiera ser analizado económicamente. Dentro de las lechugas de hoja suelta aptas para NFT, existen cultivares que tradicionalmente se han cultivado en el suelo, como lo son Milanese y Parker. Sin embargo, es necesario tener presente que, este tipo de lechuga es de menor precio de venta y por lo tanto hace menos rentable la inversión. Algunos productores tradicionales les amarran las hojas, sin embargo al cultivarlas en el sistema NFT no se hace necesario esta práctica. También existe la posibilidad de comercializar las hojas de éstas u otras lechugas en bolsas como ensaladas de "cuarta generación". Además, existen nuevos cultivares de hoja suelta que generalmente son conocidos y consumidos principalmente en países desarrollados, como elementos decorativos para platos junto a mariscos y pescados. Otras de hojas con bordes crespos, las cuales son conocidas como "oakleaf", de color de hoja verde o rojizo, se presentan como una alternativa atractiva como producto "gourmet" (Carrasco e Izquierdo, 1996).

Hidroponía

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin Suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes, es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Se puede ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas, que incluyen turbas o materiales orgánicos, como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas. El vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas *HYDRO* que significa agua y *PONOS* que significa trabajo. Se concibe a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición. La utilización de la hidroponía tiene como ventajas: Menor número de horas de trabajo y más livianas, no es necesaria la rotación de cultivos, no existe la competencia por nutrientes, las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento, mínima pérdida de agua, mínimo problema con las malezas, reducción en aplicación de agroquímicos, el sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales. Asimismo tiene ciertas desventajas: Costo inicial alto, se requieren conocimientos de fisiología y nutrición, desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo, Se requiere agua de buena calidad. Existen diferentes sistemas utilizados en hidroponía: Sistema flotante, sistema NFT (*Nutrient Flow Technic*), sistema DFT (*Deep Flow Technique*), sistema estático y otras variantes (Gilsanz, 2007).

Sistema de Hidroponía NFT

Utiliza el sistema de recirculación de solución nutritiva, se desarrolló en el *Glasshouse Crop Research Institute*, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico, consiste en la circulación constante de una película delgada de solución nutritiva,

que pasa a través de las raíces de las plantas, sin pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye como un sistema cerrado. La densidad de plantas en el caso de cultivo de lechuga, bajo este sistema es de 22 a 24 plantas por metro cuadrado según el cultivar. El tiempo aproximado de trasplante a cosecha es de 25 a 40 días. La solución nutritiva se debe tener en un rango de conductividad de 1.5 a 2.5 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-2}$ y un pH de 5.5 a 6, siendo el consumo de solución de aproximadamente 0.25 Litros/planta. En este cultivo el canal es de porte bajo y con un ancho de 6 cm. En la técnica NFT, la solución nutritiva es bombeada hacia el extremo más alto de cada canal y fluye por gravedad, pasa por las raíces de las plantas hacia las tuberías de desagüe pero va irrigando la parte inferior de las raíces, hasta que finalmente cae de regreso al depósito. Una ventaja principal del sistema NFT en comparación con otros sistemas, es que requiere menos solución nutritiva. Se debe mantener un volumen constante en el depósito, lo cual se puede lograr mediante un mecanismo de flotador, en sistemas comerciales o con adiciones diarias de solución. Se deben realizar análisis químicos periódicos a la solución, para ir sustituyendo las sales que se van agotando o se puede renovar periódicamente (cada 8 a 15 días). Aunque las plantas pueden aguantar varias horas sin recibir solución, debido a que las raíces permanecen húmedas durante algún tiempo, lo más conveniente es contar con dos bombas para tener una de repuesto, en caso de que la otra se descomponga (Gutierrez, 2011). Como ventajas del sistema se mencionan, entre otras, las siguientes:

- Un sistema pequeño puede soportar plantas muy grandes.
- No hay pérdida de agua por drenaje, evaporación o filtraciones, sólo se pierde el agua transpirada. Además, como las plantas crecen en una película delgada de solución, la capacidad de almacenamiento es mínima. Ambas condiciones son de valor en zonas áridas.
- No requiere esterilizaciones.
- Se logra gran control sobre el agua y los nutrientes.
- Las plantas cosechadas se remueven fácilmente.
- Los costos de instalación son comparativamente bajos.
- Puede operar casi automáticamente.

Esta técnica está en constante evolución y permite desarrollar la inventiva personal para crear nuevos y mejores diseños. La instalación es tan ligera que se puede utilizar ventajosamente en las azoteas de casas y edificios de grandes ciudades (Gutierrez, 2011).

Fotoperiodo

Se denomina fotoperiodo al conjunto de procesos de las especies vegetales mediante los cuales

regulan sus funciones biológicas (como por ejemplo su reproducción y crecimiento), usando como parámetros la alternancia de los días y las noches del año y su duración según las estaciones y el ciclo solar. El control del crecimiento vegetativo por fotoperiodo no se ha examinado tanto como la de estudios y la inducción floral, concernientes con la elongación del tallo, inducción de la dormancia e iniciación de la tuberización. Los efectos de la duración del día en intensidades de luz baja en el crecimiento de la planta, han sido estudiados extensivamente, pero pocos detalles de información se han publicado sobre los efectos del fotoperiodo en cultivos hortícolas, de cereales, pastos y fresas. La remolacha azucarera exhibe grandes respuestas vegetativas a los cambios en el fotoperiodo, pero las respuestas son diferentes dependiendo, de la calidad espectral y de luz utilizada por la duración del día. Extendiendo el fotoperiodo con baja intensidad de luz incandescente, rico en energía en longitudes de onda roja y rojo lejano, aumentó el peso seco de la planta en 25%, pero mediante la activación fotomorfogénica aumenta la expansión foliar y crecimiento peciolar. La extensión de la duración del día con una mezcla de luz roja y rojo lejano, induce cambios fotomorfogénicos en el área foliar específica en todas las especies examinadas, e incrementa el área y peso seco de lechuga, apio, remolacha y espinaca, pero no de las crucíferas rábano y oleaginosas de colza (Soffe *et al.* 1977)

Diodos Emisores de Luz (*light-emitting-diodes*, LEDs)

Los LEDs son dispositivos en estado sólido que generan luz de manera diferente a otras fuentes convencionales de luz. En los LEDs, un bajo voltaje de corriente continua (CC) circula a través de dos capas de material semiconductor. Esto resulta en la generación de fotones de luz de un reducido rango de frecuencias. El color de la luz depende del material semiconductor utilizado y del tipo de dopante (impurezas) que se le agregue. El semiconductor se aloja en una caja epoxi que además funciona como un sistema óptico (lente), que enfoca la luz producida. En la última década, se ha alcanzado un desarrollo espectacular de los LEDs y su optimización ha permitido que resulten económicos como fuentes de irradiación para el crecimiento de las plantas, tanto en invernaderos como en cámaras de crecimiento controlado, para aplicaciones de cultivos hidropónicos, aeropónicos o de cultivo en suelo o sustrato. La mayor parte de la luz solar que captan las plantas es convertida en calor y solamente la luz roja y azul son esenciales para su crecimiento (iluminación o irradiación de crecimiento). Cuando, para estimular el crecimiento se utiliza un suplemento de luz artificial, esta debe cumplir la condición de que la irradiación de crecimiento resulte eficiente. Las fuentes de luz más revolucionarias para cumplir este objetivo son los LEDs. Para agricultores e investigadores, la gran ventaja de los LEDs es que permiten eliminar aquellas longitudes de onda de la luz normal que son inactivas para la fotosíntesis, consiguiendo, entre otros efectos, un ahorro energético respecto a las lámparas tradicionales para el crecimiento de las plantas. Ultimamente en España se ha observado un aumento espectacular de la utilización de LEDs en iluminación de plantas de interior, aplicaciones en las que se vienen precisando 1000 W de potencia para lámparas de sodio de alta presión, 1300 W para lámparas fluorescentes compactas (CFL) o 400 W para LEDs. Se suelen utilizar combinaciones de solo bulbos (CFL para el azul y LEDs para el rojo) o de bulbos (CFL o LED) y pantallas LED. Aunque algunas casas comercial preconiza la utilización de iluminación LED de 45 W/m^2 , existe consenso

en admitir que para que la floración vaya bien hay que proporcionar alrededor de 160 W/m^2 en tecnología LED. Un ejemplo de combinación sería 110 W de CFL (dos lámparas CFL de 55 W) y unos 60 W de LED (4 bulbos LEDs de 15 W). Otra posible combinación serían dos bulbos LEDs de 15 W con una pantalla LED de 120 W. Estas pantallas, fabricadas en *Shenzhen* y comercializadas por *Changtian Technology HK Co Ltd*, vienen equipadas con 112 LEDs (72 rojos de 660 nm, 12 rojos de 630 nm, 26 azules de 430 nm y 8 amarillos de 590 nm). Una tercera combinación podría ser una luminaria LEDs Grow de 90 LEDs de 1 W (rojos de 630 nm y azules de 455 nm, en relación 8:1; o mezcla 652 nm) y 4 bulbos LEDs de 15 W (Martin-Ramos *et al.*, 2017).

ARDUINO

Es tres cosas:

Una placa hardware libre, que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores. La placa Arduino no es más que una PCB (del inglés "*printed circuit board*", o sea, placa de circuito impreso) que implementa un determinado diseño de circuitería interna. No obstante, cuando se habla de "placa Arduino", se debe especificar el modelo concreto, ya que existen varias placas Arduino oficiales, cada una con diferentes características (como el tamaño físico, el número de pines-hembra ofrecidos, el modelo de microcontrolador incorporado –y como consecuencia, entre otras cosas, la cantidad de memoria utilizable–, etc.). Conviene conocer estas características para identificar qué placa Arduino es la que conviene más en cada proyecto. El diseño hardware de la placa Arduino está inspirado originalmente en el de otra placa de hardware libre preexistente, la placa Wiring (<http://www.wiring.co>). Esta placa surgió en 2003 como proyecto personal de Hernando Barragán, estudiante por aquel entonces del Instituto de Diseño de Ivrea (lugar donde surgió en 2005 precisamente la placa Arduino).

Un software (más en concreto, un "entorno de desarrollo") gratis, libre y multiplataforma (ya que funciona en Linux, MacOS y Windows) que se debe instalar en el ordenador y que permite escribir, verificar y guardar ("cargar") en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino, el conjunto de instrucciones que se desea que empiece a ejecutar. Es decir: permite programarlo. La manera estándar de conectar el computador con la placa Arduino para poder enviarle y grabarle dichas instrucciones, es mediante un simple cable USB, gracias a que la mayoría de placas Arduino incorporan un conector de este tipo. Los proyectos Arduino pueden ser autónomos o no. En el primer caso, una vez programado su microcontrolador, la placa no necesita estar conectada a ningún computador y puede funcionar autónomamente si dispone de alguna fuente de alimentación. En el segundo caso, la placa debe estar conectada de alguna forma permanente (por cable USB, por cable de red Ethernet, etc.) a un computador, ejecutando algún software específico, que permita la comunicación entre este y la placa y el intercambio de datos entre ambos dispositivos. Este software específico se debe programar generalmente, mediante algún

lenguaje de programación estándar como Python, C, Java, Php, etc., y será independiente completamente, del entorno de desarrollo Arduino, el cual no se necesitará más, una vez que la placa ya haya sido programada y esté en funcionamiento.

Un lenguaje de programación libre. Por “lenguaje de programación” se entiende cualquier idioma artificial diseñado para expresar instrucciones (siguiendo unas determinadas reglas sintácticas), que pueden ser llevadas a cabo por máquinas. Concretamente dentro del lenguaje Arduino, se encuentran elementos parecidos a muchos otros lenguajes de programación existentes (como los bloques condicionales, los bloques repetitivos, las variables, etc.), así como también diferentes comandos –asimismo llamados “órdenes” o “funciones” – que permiten especificar de una forma coherente y sin errores, las instrucciones exactas que se quiere programar en el microcontrolador de la placa. Estos comandos se escriben mediante el entorno de desarrollo Arduino. Tanto el entorno de desarrollo como el lenguaje de programación Arduino están inspirado en otro entorno y lenguaje libre preexistente: *Processing* (<http://www.processing.org>), desarrollado inicialmente por Ben Fry y Casey Reas. Que el software Arduino se parezca tanto a *Processing* no es casualidad, ya que este está especializado en facilitar la generación de imágenes en tiempo real, de animaciones y de interacciones visuales, por lo que muchos profesores del Instituto de Diseño de Ivrea lo utilizaban en sus clases. Como fue en ese centro donde precisamente se inventó Arduino es natural que ambos entornos y lenguajes guarden bastante similitud. No obstante, hay que aclarar que el lenguaje *Processing* está construido internamente con código escrito en lenguaje Java, mientras que el lenguaje Arduino se basa internamente en código C/C++. Con Arduino se pueden realizar multitud de proyectos de rango muy variado: desde robótica hasta domótica, pasando por monitorización de sensores ambientales, sistemas de navegación, telemática, etc. Realmente, las posibilidades de esta plataforma para el desarrollo de productos electrónicos son prácticamente infinitas y tan solo están limitadas por la imaginación (Torrente, 2013).

VI. HIPÓTESIS

La intensidad de Diodos Emisores de Luz (*LEDs Grow*) obtenida con 20 *Kilo-ohmios* y fotoperiodo de 2.6 horas de luz artificial adicional a partir de 6 pm, controlado automáticamente, permitirá una mayor producción de lechuga expresada en peso fresco, diámetro de cabeza, largo de las hojas y menor consumo de agua.

VII. METODOLOGÍA

Materiales y equipos:

Material de PVC: Tubería de 4 pulgadas, tapones de 4 pulgadas, codos 1 pulgadas, llave de

globo de 1 pulgada, tubería de 1 pulgada, llaves de ½ pulgada, Tes de 1 pulgada, reducciones de 1 a ½ pulgada, pegamento para PVC, tanque de fibra de vidrio de 250L, bomba centrífuga ½ HP, check de 1 pulgada, maguera de 1/8 de pulgada, manguera de ½ pugada,

500 g de semilla de lechuga suave

Solucion para cultivos hidropónicos A y B

Probeta de 500 mL

Balanza semianalitica

Modulo hidropónico con control automatico: Sensor de temperatura, sensor de temperatura-humedad relativa, sensor de conductividad eléctrica, sensor de pH, placa Arduino 1, buzzer, reloj, equipo de producción de ozono, LED Grow, sensor de nivel, reles, potenciómetro, pantalla LCD, resistencias, protoboard, cableado eléctrico, software de control automatico

Metodología Experimental:

Se construirá dos modulo hidroponónico NFT controlados automáticamente, segun el esquema mostrado en el archivo adjunto. Los modulos permitirán controlar: la temperatura, pH, conductividad eléctrica, nivel por sonido (buzzer)y ozonización de la solución nutritiva, tiempo de operación de los procesos, tiempo de fotoperiodo, intensidad de luz del LED Grow mediante el potenciómetro.

Para el desarrollo experimental se utilizará un planteamiento factorial: $2n + 2^n + 4$ puntos centrales. La amplitud y los puntos centrales de las variables X1 y X2 se determinaran a través de un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) con un valor $\alpha = \pm 1,4142$ de acuerdo a los valores de la Tabla 1. Estos datos permitirán elaborar la matriz para Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) del desarrollo experimental con 8 tratamientos y cuatro (03 repeticiones en el punto central, totalizando doce (11) ensayos (Tabla 2).

Tabla 1. Valores utilizados en el DCCR para los factores intensidad lumínica y fotoperiodo

Variables	-2	-1	0	+1	+2
X1: intensidad lumínica de Grow LED regulada con potenciómetro (1 a 20 Kilo-Ohmios)	1 <i>Kilo-Ohmio</i>	3.8 <i>Kilo-Ohmios</i>	10.5 <i>Kilo-Ohmios</i>	17.2 <i>Kilo-Ohmios</i>	20 <i>kilo-Ohmios</i>

X2: fotoperiodo (horas de luz artificial adicional a partir de 6 pm)	1 (7:00 pm)	2.6 (8:36 pm)	6.5 (12:30 am)	10.4 (4:24 am)	12 (6:00 am)
--	----------------	------------------	-------------------	-------------------	-----------------

Tabla 2. Matriz experimental para evaluar por MSR el efecto la intensidad de LEDs y fotoperiodo controlado automáticamente en la producción hidropónica de lechuga y consumo de agua

Tratamientos	Kilo-Ohmios del potenciómetro		Fotoperiodo (Corte luz <i>Grow LED</i>)		Peso fresco (g)	Diámetro cabeza (cm)	Largo hojas (cm)	Consumo de agua (L)
	X1	(Kohmios)	X2	Hora				
1	-1		-1	8:36 pm	p1	d1	l1	c1
2	1	3.8	-1	8:36 pm	p2	d2	l2	c2
3	-1	17.2	1	4:24 am	p3	d3	l3	c3
4	1	3.8	1	4:24 am	p4	d4	l4	c4
5	-2	17.2	0	12:30 am	p5	d5	l5	c5
6	2	1.0	0	12:30 am	p6	d6	l6	c6
7	0	20.0	-2	7:00 pm	p7	d7	l7	c7
8	0	10.5	2	6:00 am	p8	d8	l8	c8
9	0	10.5	0	12:30 am	p9	d9	l9	c9
10	0	10.5	0	12:30 am	p10	d10	l10	c10
11	0	10.5	0	12:30 am	p11	d11	l11	c11

		10.5						

Se realizará un ensayo control con iluminación difusa proveniente de plástico PVC opaco desde las 6 de la mañana a las 6 de la tarde, es decir no será sometida a iluminación con luz LED Grow. Los cultivos de los tratamientos experimentales y de manera paralela igualmente se desarrollarán bajo cubierta con luz difusa, desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde (12 horas de iluminación). La iluminación artificial proveniente de LEDs variará de acuerdo a los niveles de resistencia indicados en la Tabla 2. Por lo que aplicará iluminación LED desde las 6 de la tarde hasta las 6 de mañana, evaluándose el efecto de la intensidad lumínica y fotoperiodo en la producción de lechuga hidropónica expresada en peso fresco, diámetro de cabeza, largo de hojas y consumo de agua.

En el Sistema recirculante se aplicará ozono en el tanque de almacenamiento con la solución nutritiva cada hora por espacio de 10 minutos.

Utilizando en parte las metodologías reportadas por Gutierrez (2011) se realizará el procedimiento de la obtención de plántulas a partir de las semillas, luego se realizará el trasplante, realizándose la fertilización, los riegos y finalmente las mediciones y evaluación, de acuerdo a:

Obtención de plántulas

Se colocará en una charola de poliestireno de 200 cavidades una mezcla de grava limpia y desinfectada con hipoclorito al 10%, la que se humedecerá con agua y que servirá como sustrato; después se colocará una semilla de lechuga en cada cavidad a una profundidad de 0.3 cm, y se cubrirá con una capa muy fina de 0.5 cm de espesor. Al finalizar la siembra de las semillas en las charolas, serán regadas por aspersión con agua en la mañana y en la tarde durante 3 días hasta la emergencia.

Trasplante

Se realizará cuando las plántulas tengan una altura promedio de 15 cm y 4 hojas verdaderas. La lechuga será trasplantada bajo el sistema de recirculación (NFT), el cual se basa en el flujo permanente de una pequeña cantidad de solución nutritiva a través de caños de los que el cultivo toma para su nutrición. El suministro de un volumen de agua será constante a través de un sistema de bombeo. La altura de la solución no debe ser mayor a 4-5 mm. El flujo de la solución nutritiva recirculante, debe ser de aproximadamente 2 litros por minuto.

Fertilización

Se aplicaron los riegos con la solución nutritiva, las fuentes de fertilizantes usadas tendrán:

Solución A:

Fosfato de Amonio	492 g
Nitrato de Calcio	2100 g
Nitrato de Potasio	1100 g

Solución B

Sulfato de Magnesio	492 g
Sulfato de Cobre	0.48 g
Sulfato de Manganeso	2.5 g
Sulfato de Zinc	1.2 g
Ácido Bórico	6.2 g
Molibdato de Amonio	0.02 g
Nitrato de Magnesio	920 cc
Quelato Hierro	8.5 g

Mediciones

Peso Fresco: A cada una de las muestras que se le medirá el largo y ancho de la hoja, y se obtendrá el peso fresco con el apoyo de una balanza digital con sensibilidad de 0.1 g.

Diámetro de cabeza en planta: Se tomaran 2 muestras de cada tratamiento. Esta variable se registrara cada 10 días hasta llegar a cosecha.

Número de hojas: De cada planta en que se le medirá el ancho, se contará el número de hojas.

Largo y ancho de hojas: A cada una de las hojas que se cuantificará en las variables anteriores, se le determinará el largo y ancho tomando el ancho en la parte media de la hoja y el largo desde el ápice de la hoja hacia el punto donde se une con el tallo.

El consumo de agua de medira de acuerdo al agua de reposición que demandan los cultivos hidropónicos.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Carrasco, G.; Izquierdo, J. 1996. la empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Edit. Universidad de Talca, Chile. Pp. 61. Disponible en: <https://goo.gl/JYFvPA>

Chang, C.; Hong, G.; Li, Y. 2014. A supplementary lighting and regulatory scheme using a multi-wavelength light emitting diode module for greenhouse application. *Lighting Research & Technology* 46(5): 548–566.

Chen, R.; Liu, H.; Song, S.; Sun, G.; Chen, R. 2015. Effects of light quality on growth and quality of lettuces in hydroponic. 12th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA), Shenzhen. Pp. 154-156.

Demir, F.; Atguden, A. 2015. Experimental investigation on the microbial inactivation of domestic well drinking water using ozone under different treatment conditions. *Ozone: Science & Engineering*. Pp. 11.

D'Souza, C.; Yuk, H.; Khoo, G.; Zhou, W. 2015. Application of Light-Emitting Diodes in Food Production, Postharvest Preservation, and Microbiological Food Safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14: 719-740.

Domurath, N.; Schroeder, F.; Glatzel, S. 2012. Light Response Curves of Selected Plants under Different Light Conditions. *Proceedings of the 7th International Symposium on Light in Horticultural Systems, Wageningen*. pp. 291-298.

Dongsheng, W.; Fuchun, J.; Xingbo, W. 2015. Case Study on the Advanced Control for Ozone Dosing Process of Drinking Water Treatment. 34th Chinese Control Conference (CCC), Hangzhou. Pp. 4091-4094.

Fernandes, L.; Bhavani, G. 2016. Comparative Performance Evaluation and Assessment of Organic Light Emitting Diodes and Light Emitting Diodes. *IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Abu Dhabi, United Arab Emirates*. Pp. 1-4.

Gilsanz, J. 2007. Hidroponia. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. Pp. 32. Disponible en: <https://goo.gl/m8fLCX>

Goto, E. 2012. Plant Production in a Closed Plant Factory with Artificial Lighting. *Proceedings of the 7th International Symposium on Light in Horticultural Systems, Wagenin-gen*. Pp. 37-50.

- Grisales, D. 2017. Implementación de ozono como tratamiento en aguas de origen hospitalario. Universidad Militar Nueva Granada. Pp. 13. Disponible en: <http://nubr.co/IGGO1Q>
- Gutierrez, J. 2011. Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación nutritiva. Tesis Maestría en Ciencias Horticultura. Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 66. Disponible en: <https://goo.gl/uyDO1O>
- Harun, L.; Ahmad, R.; Mohamed, N. 2015. Plant Growth Optimization Using Variable Intensity and Far Red LED Treatment in Indoor Farming. International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Kuala Lumpur. Pp. 92-97.
- Heleno, F.; de Queiroz, M.; Faroni, L.; Neves, A.; de Oliveira, A.; Costa, L.; Pimenta, G. 2016. Aqueous ozone solutions for pesticide removal from potatoes. Food Science and Technology International 22(8): 752 - 758
- Ikeura, H.; Kobayashi, F.; Tamaki, M. 2013. Ozone Microbubble Treatment at Various Water Temperatures for the Removal of Residual Pesticides with Negligible Effects on the Physical Properties of Lettuce and Cherry Tomatoes. Journal of Food Science 78(2): 350-355.
- Kobayashi, K.; Amore, T.; Lazaro, M. 2013. Light-Emitting Diodes (LEDs) for Miniature Hydroponic Lettuce. Optics and Photonics Journal 3: 74-77.
- Lee, S.; Park, S. 2013. Energy Savings of Home Growing Plants by using Daylight and LED. 2013 IEEE Sensors Applications Symposium Proceedings, Galveston, TX. Pp. 202-204.
- Luo, X.; Wang, R.; Wang, L.; Li, Y.; Wang, Y.; Chen, Z. 2014. Detoxification of aflatoxin in corn flour by ozone. Journal of the Science of Food and Agriculture 94(11): 2253–2258.
- Mahajan, S.; Markande, S. 2016. Design of Intelligent System for Indoor Lighting. International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA) Pune, India. Pp. 1-4.
- Martín-Ramos, P.; Navas-Gracia, L.; Hernández-Navarro, S.; Corrêa Guimarães, A.; Martín-Gil, J.; Martín Bravo, E.; Chamorro-Posada, P.; Durán Altisent, J. 2017. Diodos emisores de luz para la irradiación de plantas. Universidad de Valladolid. Disponible en: <http://nubr.co/XNoGC4>
- Mills, T.; Dunn, B. 2016. LED Grow Lights for Plant Production. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University. Pp.4. Disponible en: <https://goo.gl/rZv68K>
- Pinho, P.; Jokinen, K.; Halonen, L. 2012. Horticultural Lighting - Present and Future Challenges. Lighting Research and Technology 44(4): 427-437.
- Pinho, P.; Jokinen, K.; Halonen, L. 2016. The influence of the LED light spectrum on the growth

and nutrient uptake of hydroponically grown lettuce. *Lighting Research and Technology* 0: 1–16.

Soffe, R.; Lenton, J.; Milford, G. 1977. Effects of photoperiod on some vegetable species. *Ann. appl. Biol* 85:411-4151.

Torrente, O. 2013. ARDUINO: Curso Práctico de Formación. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. Pp. 582. Disponible en: <https://goo.gl/kliAbJ>

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	INICIO	FIN
Construcción modulo hidropónico NFT automatizado	04/07/2017	31/07/2017
Ajuste y puesta en marcha del módulo hidropónico NFT	01/08/2017	31/08/2017
Apoyo obtención datos experimentales	01/09/2017	29/12/2017
Obtención de datos experimentales	01/09/2017	30/04/2018
Tratamiento de datos	29/09/2017	30/04/2018
Informe Parcial del Proyecto	31/01/2018	31/01/2018
Informe Final del Proyecto	01/05/2018	31/05/2018

PRESUPUESTO

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO_UNITARIO	PRECIO_PARCIAL
OTROS	3 UNI	32	96
REACTIVOS E INSUMOS	12 UNI	35	420
OTROS	2 UNI	49.90	99.80
Equipo	2 UNI	399	798
Equipo	2 UNI	346.60	693.20
OTROS	1 UNI	39.90	39.90
OTROS	2 UNI	17.90	35.80
OTROS	14 UNI	6.50	91
OTROS	2 UNI	9	18
OTROS	2 UNI	20	40
OTROS	2 UNI	10	20
OTROS	2 UNI	40	80
OTROS	2 UNI	10	20
OTROS	32 UNI	5.90	188.80
OTROS	4 UNI	8.50	34
OTROS	14 UNI	29.25	409.50
OTROS	2 UNI	11	22
OTROS	2 UNI	10	20
OTROS	2 UNI	115.10	230.20
OTROS	2 UNI	100	200
OTROS	2 UNI	10	20
OTROS	2 UNI	14	28
OTROS	2 UNI	33	66
OTROS	2 UNI	50	100
Material biológico (plantas)	4 KG	15	60
Equipo	1 UNI	24.49	24.49
Equipo	2 UNI	1072.50	2145
OTROS	2 UNI	209.90	419.80
OTROS	3 UNI	11.90	35.70
OTROS	22 UNI	30.90	679.80
OTROS	2 UNI	20	40
OTROS	14 UNI	4.50	63
OTROS	2 UNI	8.50	17
Total 7254.99			