

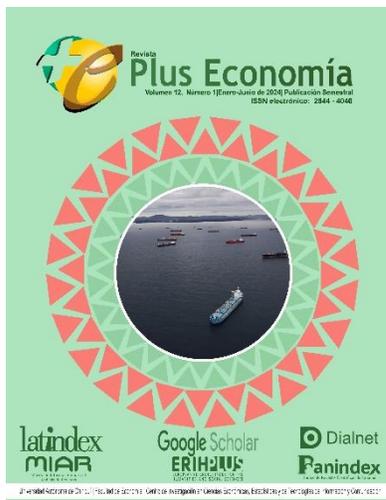


REVISTA PLUS ECONOMÍA

ISSN electrónico: 2644-4046

pluseconomia@unachi.ac.pa

Centro de Investigación en Ciencias Económicas, Estadísticas y de
Tecnologías de Información y Comunicación, CICEETIC
Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI)
República de Panamá



Yamileth Pittí P. ⁽¹⁾
Gerardo González T. ^{(1) (2)}
José L. Brandao Delgado ⁽¹⁾
Victor Guillén Pérez ⁽¹⁾
Jorge Serrano Reyes ⁽¹⁾
Suthisak Saengtharapip ^{(3) (4)}
Wedleys Tejedor E. ⁽¹⁾

Afiliaciones

⁽¹⁾Universidad Tecnológica de Panamá | ⁽²⁾ Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT, Ciudad de Panamá | ⁽³⁾ Chia Tai Co., Ltd., Bangkok, Thailand | ⁽⁴⁾ Interfield Farm Co., Ltd, Pathum Thani, Thailand

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN CULTIVO DE LECHUGA ROMANA BAJO AMBIENTE CONTROLADO, A ESCALA EXPERIMENTAL

Vol. 12, Núm. 1

Enero - Junio de 2024

pp. 18-31



EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN CULTIVO DE LECHUGA ROMANA BAJO AMBIENTE CONTROLADO, A ESCALA EXPERIMENTAL

Fecha de recepción: 16/03/2023

Fecha de aprobación: 30/07/2023

Autores

- Yamileth Pittí P.** ⁽¹⁾
ID 0000-0001-6432-8492
yamileth.pitti@utp.ac.pa
- Gerardo González T.** ^{(1) (2)}
gerardo.gonzalez@utp.ac.pa
- José L. Brandao Delgado** ⁽¹⁾
jose.brandao@utp.ac.pa
- Victor Guillén Pérez** ⁽¹⁾
victor.guillen@utp.ac.pa
- Jorge Serrano Reyes** ⁽¹⁾
jorge.serrano1@utp.ac.pa
- Suthisak Saengtharatip** ^{(3) (4)}
suthisak.sa@yahoo.com
- Wedleys Tejedor E.** ⁽¹⁾
wedleys.tejedor@utp.ac.pa

Afiliaciones

- ⁽¹⁾ Universidad Tecnológica de Panamá
- ⁽²⁾ Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT, Ciudad de Panamá
- ⁽³⁾ Chia Tai Co., Ltd., Bangkok, Thailand
- ⁽⁴⁾ Interfield Farm Co., Ltd, Pathum Thani, Thailand

Resumen

El aumento de la población a nivel mundial, demanda un aumento en la producción de alimentos, que a su vez requiere la necesidad de optar por nuevas tecnologías de producción, que permitan cultivar alimentos sanos y seguros. En este sentido las fábricas de plantas con luz artificial, están resultando ser una gran oportunidad para el cultivo de vegetales y frutas en las áreas urbanas, ya que ofrecen grandes beneficios en comparación con otras técnicas de cultivo tradicionales, sin embargo los temas de evaluación económica sobre estos sistemas no han sido suficientemente abordados, por lo que se considera una limitante que muchas veces impide a productores y empresarios optar por estas nuevas e innovadoras alternativas de producción.

Palabras clave

PFAL, Luces LED, ambiente controlado, indicador beneficio-coste



Economic evaluation of a roman lettuce cultivation under a controlled environment, on an experimental scale

Abstract: The increase in the world population demands an increase in food production, which in turn requires the need to opt for new production technologies that allow the cultivation of healthy and safe food. In this sense, plant factories with artificial light are turning out to be a great opportunity for the cultivation of vegetables and fruits in urban areas, since they offer great benefits compared to other traditional cultivation techniques, however the issues of economic evaluation on these systems have not been sufficiently addressed, which is why it is considered a limitation that often prevents producers and entrepreneurs from opting for these new and innovative production alternatives.

Keywords: PFAL, Luces LED lights, controlled environment, benefit cost-indicator

1. Introducción

La agricultura tradicional consume mucho tiempo y requiere mucha mano de obra, con una baja eficiencia de producción. Tomando en cuenta el aumento de la población, la escasez de agua, los recursos de tierras limitados, los problemas que acarrea el cambio climático y la baja eficiencia de la producción, es urgente regular la agricultura de manera eficiente (Yin, D. & et al., 2018).

Por otro lado, la cadena de suministro para proveer de alimentos a las ciudades en expansión es cada vez más compleja, lo que tendrá un gran impacto en las

áreas urbanas y rurales (Graamans & et al., 2018).

En el caso específico de Panamá, la agricultura enfrenta graves problemas, que se ven reflejados en aspectos tales como: baja productividad y bajo nivel tecnológico, pocos rubros agrícolas, agotamiento de la frontera agrícola, específicamente en el área metropolitana, el uso inadecuado de los suelos, la escasez de agua, la migración de la población rural a los centros urbanos, el envejecimiento de los productores rurales, la baja inversión en I+D+i y las políticas agrícolas erradas (Pittí, 2022).

En consecuencia y dada la aparición de fenómenos climáticos extremos y la



necesidad de mejorar la productividad y rentabilidad de los cultivos, han surgido modelos de producción agrícola a nivel mundial que hacen uso eficiente de los recursos agua, suelo, luz, energía eléctrica, mano de obra y fertilizantes, que han logrado maximizar el rendimiento de los cultivos, aumentar los ciclos de producción anuales, reducir la contaminación ambiental, producir alimentos sanos y seguros y crear nuevas oportunidades de negocios en áreas urbanas mediante la producción de vegetales de alto valor agregado (Pittí, 2022). Uno de estos modelos de producción agrícola es el de fábrica de plantas con luz artificial o PFAL (Plant Factory with artificial lighting, por sus siglas en inglés).

En Panamá se ha desarrollado el modelo de producción hortícola conocido como “agricultura protegida” o “agricultura en ambiente controlado” en espacios conocidos como invernaderos que utilizan tecnologías modernas para mantener un ambiente adecuado para el crecimiento de plantas y que usan luz solar como fuente de energía. El otro modelo de agricultura protegida conocida como PFAL, actualmente está siendo desarrollado por muy pocas empresas.

Con respecto a la estructura de una PFAL, la misma está constituida por los siguientes elementos estructurales: almacén térmicamente aislado y casi hermético, un sistema producción de plantas, en donde se controla artificialmente el entorno de crecimiento (Joo & Jeong, 2017) , con una estructura multinivel, sistema de fuente de luz donde se debe controlar la calidad de luz, cantidad de luz y fotoperíodo de luz, sistema de control de medio ambiente donde se debe controlar la temperatura del aire, humedad del aire y concentración de CO₂ y sistema de alimentación líquida, factores estos que si se diseñan, planifican, construyen y se gestionan adecuadamente, permiten obtener beneficios importantes sobre los sistemas de producción convencionales. (Chen & et al., 2018) (Zhang & et al., 2018), (Baharudin & et al., 2018).

En las PFAL, las plantas a cultivar pueden ser vegetales de hoja, hierbas, tubérculos, plantas medicinales y otros con una altura de 30 cm o menos ya que la distancia entre niveles es de 40 cm aproximadamente, para un uso máximo del espacio (Kozai, 2013). Su demanda aún no es alta debido a su baja rentabilidad como resultado de sus altos



costos de construcción, operación y la falta de estandarización de la tecnología (Joo & Jeong, 2017).

En este sentido, esta investigación se enfocó en realizar una evaluación económica de un cultivo de lechuga romana bajo ambiente controlado, a escala experimental, con los datos generados del proyecto FID16-140 titulado: “Efecto de luces LED en la calidad nutricional, crecimiento y desarrollo de la lechuga en ambientes controlados”. Adicional el análisis se enfocó en el tema luces, ya que en este tipo de sistemas de producción el factor energía y específicamente las luces son las que representan el mayor consumo dentro de los costos de producción (Kozai & et. al, 2016).

2. Materiales y métodos

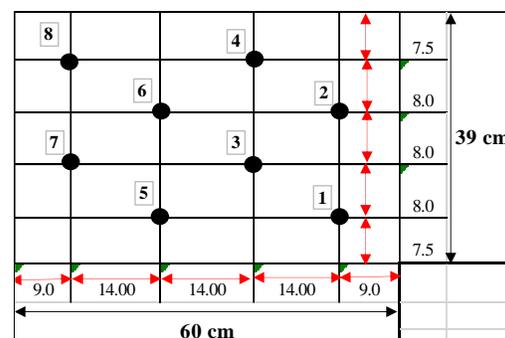
La metodología utilizada consistió en utilizar los resultados del experimento FID16-140, proyecto desarrollado en el Laboratorio de Agricultura Vertical en Ambiente Controlado, ubicado en el Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA), de la Universidad Tecnológica de Panamá, en

donde la fase experimental se desarrolló del 22 de febrero al 11 de abril de 2022.

El diseño experimental fue completamente al azar y estuvo compuesto por cinco (5) tratamientos con 3 repeticiones cada uno, salvo el caso del tratamiento 1 que sólo contó con 2 repeticiones.

Las bandejas plásticas utilizadas para cada nivel en cada una de las torres utilizadas en este experimento tenían una dimensión de 66 cm x 45 cm x 6.5 cm, a las cuales se les colocó una lámina de foam con una dimensión de 60 cm x 39 cm, la cual contaba con 8 orificios en cada uno de los cuales se colocó una planta de lechuga contenida dentro de un sustrato de oasis (2.2 cm x 2.2 cm x 3.8cm), en la figura 1 se observa la distribución de las plantas.

Figura 1. Distribución de plantas de lechuga en lámina de foam (vista de planta)



La solución nutritiva utilizada constaba de una premezcla de



fertilizantes, nitrato de calcio y sulfato de magnesio, la cual se mantuvo recirculante durante todo el proceso de crecimiento y desarrollo.

La variedad de semilla utilizada fue la Parris Island, destacando el hecho de que estas, fueron seleccionadas por comprobación visual y eliminando las semillas de lechuga de baja calidad en función del tamaño, forma, color y peso.

En cuanto a la línea de tiempo experimental, importante señalar, que una vez que las semillas fueron insertadas en los oasis, las mismas fueron cubiertas con un plástico fino para mantener la humedad y evitar la entrada de luz, durante el proceso de germinación que duró 3 días, luego de transcurrido ese tiempo se les retiró el plástico y se dejaron 17 días más creciendo con luz LED y solución nutritiva; luego se procedió a trasplantarlas a las bandejas de cultivo (láminas de foam).

Las condiciones de cultivo fueron las siguientes: Temperatura 21°C, Humedad relativa 60%, CO₂ 1,200 ppm, fotoperíodo que comprendía 16 hrs/día (luz artificial) y 8 hrs/día en oscuridad, pH (solución nutritiva entre 5.5 a 6.5,

conductividad eléctrica entre 1-2.5 mScm⁻¹ y se utilizó una técnica de flujo profundo recirculante para el sistema hidropónico.

La intensidad de luz que recibieron las plantas por tratamiento se determinó utilizando el medidor quantum de espectro completo, marca Apogge. Modelo MQ-500, el cual fue utilizado al inicio y final del experimento para obtener un promedio de la intensidad de luz que recibieron las plantas durante el proceso de cultivo y desarrollo. Para la determinación de la intensidad de rojo lejano se utilizó un espectroradiómetro modelo ST. Los valores para cada tratamiento se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. *Intensidad de luz para cada tratamiento del proyecto FID16-140*

Tratamiento	Detalle
T1	259 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ + 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ de rojo lejano aplicados 8 días antes de la cosecha
T2	193 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
T3	332 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
T4	456 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
T5	599 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$



2.1 Construcción de prototipo de luz LED (T1)

Cabe señalar que el equipo técnico del área eléctrica del proyecto FID16-140 construyó un dispositivo de irradiación de luces LED para el tratamiento 1 (dos unidades) y para los tratamientos 2 al 5 se adquirieron 12 lámparas comerciales de la empresa Vivosun (VS1000) LED GROW LIGHT.

2.2 Análisis morfológico

En cuanto a las mediciones postcosecha de la lechuga, las mismas se realizaron extrayendo el cultivo de cada una de las bandejas y pesando la lechuga con y sin raíz en una balanza digital con capacidad de 5 kg, marca Escali, luego se calcularon los promedios para cada uno de los tratamientos. Para este análisis se utilizaron todas las lechugas, haciendo la observación que las lechugas ubicadas en la posición 2 y 5 sólo se pesaron y se midieron, el resto si fueron contadas la cantidad de hojas de cada lechuga.

Cabe señalar que en el marco del proyecto FID16-140 se realizaron análisis microbiológicos, nutricionales y sensoriales a los productos obtenidos.

2.3 Comparativo de sistemas de producción (campo, invernadero, PFAL)

Se confeccionó una entrevista estructurada, la cual fue aplicada a productores de lechuga romana en campo e invernadero, ubicados en la provincia de Chiriquí y a un directivo de la empresa Urban Farms Coronado Corporation, para captar parámetros técnicos y económicos que permitieron hacer la comparación entre estos sistemas de producción.

Entre los parámetros a evaluar estuvieron: inversión inicial, costos de producción por m², valor de la producción/m², área cultivada en m², densidad de siembra (plantas/m²), gasto en mano de obra, número de ciclos de producción/año, número de cabezas de lechuga por m² por año, peso fresco (cabeza de lechuga), consumo de fertilizante, consumo de pesticidas, consumo de agua, distancia o transporte de producto del área de producción a los centros de consumo, precio de mercado de la lechuga, habilidades-destrezas requeridas, grado de vulnerabilidad del cultivo al clima, emisión de contaminantes. El período para evaluar era de un ciclo de producción del cultivo.



2.4 Análisis beneficio costo

Para el cálculo del estimador B/C, se utilizó la fórmula adaptada del estudio realizado en la Universidad de Chiba, Japón (Saengtharatip & et al, 2017).

$$(B/C)_T = (P_{\text{lechuga}} * PW_{\text{fresco}}) / (P_{\text{electricidad}} * kWh_T + I/VU + i)$$

Donde: $(B/C)_T$, representada por la relación beneficio- costo por tratamiento; P_{lechuga} , representa el precio por kilo de la lechuga romana, cultivada en PFAL, bajo las condiciones del mercado de Panamá valor suministrado por la empresa Urban Farms Coronado Corporation (Broce, 2022); PW_{fresco} , peso fresco promedio de la lechuga por tratamiento por unidad experimental; $P_{\text{electricidad}}$, es el precio de la electricidad en Panamá (kilowatts por hora), según pliego tarifario de la Empresa de Distribución Eléctrica Metro-Oeste, S.A. Vigente al 30 de junio de 2022 (Edemet 2018); kWh_T , representa el consumo de electricidad por unidad experimental por ciclo de cultivo, según tratamiento de luces, el cual se midió utilizando un medidor de potencia, marca Kuman ku47; I , representa la inversión en luces LED por unidad experimental, tomando en cuenta los costos incurridos al momento de la compra de las luces led comerciales y el cálculo de los costos

incurridos durante la construcción del prototipo de luces desarrollado en el CEPIA; LS , corresponde a la vida útil de luces LED, suministrada por el fabricante y el total de días que permaneció el cultivo bajo las luces LED; i , que representa la tasa de interés (mensual) para préstamos en el sector bancario, tomando en cuenta el período desde la siembra hasta la cosecha (48 días).

Adicional y con el objetivo de realizar un análisis más profundo y tomando en cuenta que este mismo autor (Saengtharatip, S. & et al., 2018), actualizó la fórmula y dado que esta investigación se realizó a escala experimental, por lo que sería un tanto difícil estimar los costos totales de producción, se utilizó la fórmula modificada, para realizar el análisis beneficio/costo, el cual incluye un factor que permite ponderar el resto de los costos de producción que intervienen en el sistema.

$$(B/C)_T = (1-\alpha) * (P_{\text{lechuga}} * PW_{\text{fresco}}) / (P_{\text{electricidad}} * kWh_T + I/VU + i)$$

Las variables utilizadas en esta fórmula son las mismas que las utilizadas en la fórmula anterior con la diferencia de la variable α , la cual para esta fórmula representa la participación



porcentual del costo total actual de producción de lechuga, excluyendo el costo de inversión en lámparas LED, el costo de energía eléctrica utilizada para LED, los intereses y la depreciación de las lámparas LED. Estos costos se asumieron que representan un tercio del valor total del peso fresco producido, entonces $\square = 67\%$.

2.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS 9.4. Se realizó análisis de varianza, utilizando un nivel de confianza del 95%, cálculo del coeficiente de variación y prueba de media entre los tratamientos y para las variables de peso fresco sin raíz y watts consumidos por tratamiento, utilizando la prueba de Tukey, para determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y las variables evaluadas.

3. Resultados y discusión

3.1 Comparación de sistemas de producción (campo, invernadero y PFAL)

Se realizó la comparación con una empresa dedicada al cultivo en campo e invernadero (Saldaña,2022) y para el caso de PFAL con la empresa que en ese momento producía lechuga romana bajo ese sistema (Broce, 2022).

En cuanto a los parámetros utilizados para realizar esta comparación podemos indicar que para la PFAL la inversión inicial es de \$60,000.00, con costos de producción \$ 17,068.00/año y un valor de la producción de \$33,960.00/año destacando el hecho de que una PFAL en Panamá tiene un costo de \$10,714.00/m² (área de 5.6 m²). Cabe destacar que estos parámetros no pudieron ser comparados con los otros sistemas de producción, dado que la información no fue suministrada por la persona entrevistada.

El PFAL reporta una densidad de siembra de 30-36 plantas/m², mientras que en campo se reporta 8-9 plantas/m² y 14.4 plantas/m² en el invernadero.

En cuanto al período de siembra se observa que la lechuga cultivada en campo e invernadero requiere de 60 días para su cosecha, mientras que en las PFAL la cosecha se realiza a los 45 días. Esto también se ve reflejado en los ciclos



de cosecha por año en donde para campo e invernadero sólo se realizan 6 ciclos de cosecha, mientras que en el PFAL se pueden realizar hasta 32 ciclos de cosecha, tomando en cuenta que las PFAL se pueden ir intercalando las etapas de siembra, trasplante y cosecha, lo cual permite obtener una mayor cantidad de cabezas de lechuga al año entre 960-1152 cabezas/año.m², para las PFAL; en el caso del cultivo en campo se obtiene entre 48-54 cabezas/año.m² y 86.4 cabezas/año.m² para el cultivo en invernadero.

Otro detalle importante para mencionar es que si las PFAL son ubicadas cerca de los sitios de consumo el recorrido que tiene que hacer el producto es menor y se evidencia en la entrevista realizada al Gerente de Urban Farms Corporation (Broce, 2022), en donde para el cultivo en campo e invernadero el producto le toma recorrer 539 kms (Tierras Altas, Chiriquí hasta la ciudad de Panamá) hasta el sitio de consumo, mientras que las lechugas cultivadas en PFAL, específicamente las de la empresa Urban Farms Coronado Corporation sólo recorren 42 kms hasta el consumidor final. Por lo que se puede destacar que al estar estas fábricas de

plantas cerca de los sitios de consumo, el recorrido que tiene que hacer el producto final es menor.

3.2 Análisis beneficio-costos para los tratamientos de luces LED

Tomando en cuenta, que el indicador beneficio-costos plantea que si $B/C > 1$, la actividad es rentable, y que para nuestro análisis todos los tratamientos evaluados tienen un resultado mayor que 1; se puede inferir para este caso y según los cálculos realizados, que el tratamiento 3 es el más rentable, dado que según la tabla 2 es el que presenta el mayor valor en cuanto al indicador beneficio-costos al compararlo con todos los tratamientos bajo estudio.

Tabla 2. Resultados análisis beneficio-costos

Detalle	T1	T2	T3	T4	T5	Unidad es
(B/C) _T	1.354	4.939	5.730	5.182	5.177	
P _{lechuga}	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	(\$/kg)
P _{fresco}	1.80	1.33	2.18	2.52	3.10	(kg/unidad experimental)
P _{electricidad}	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	(\$/Kwh)
kWh _T	92.09	18.16	29.24	39.90	51.23	(Kwh/unidad experimental)
I	411.33	157.13	157.13	157.13	157.13	(\$/unidad experimental)
VU	42	75	75	75	75	Nº ciclos de cultivo
i	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	%



Es importante destacar que el tratamiento 1, presenta una relación beneficio-costo bastante baja, debido al alto valor que presenta el costo de construcción de las lámparas a diferencia de las luces comerciales, adicional a que el consumo de watts/hr es mucho más alto que el resto de las luces.

Adicional se puede mencionar que el tratamiento 1, presenta una menor cantidad de números de ciclos que las luces comerciales y esto se debe a que las luces de rojo lejano que están incorporadas en la lámpara tienen una vida útil en horas mucho menor al resto de las luces que componen el sistema completo, por lo que esto reduce la vida útil de la lámpara prototipo. También se destaca el hecho de que la lámpara prototipo permitió una mejor uniformidad en cuanto a la cantidad de luz que recibieron las plantas, lo que se pudo evidenciar al momento de calcular el coeficiente de variación inicial y final en cada uno de los tratamientos y sus respectivas repeticiones, para lo cual el tratamiento 1 fue el que presentó los valores más bajos.

Otro dato interesante es que la lechuga cultivada bajo el tratamiento 5, a

pesar de que fue el que produjo la lechuga con más peso, no fue el tratamiento más rentable, ya que el consumo en watt/hr era el segundo más alto de los tratamientos evaluados; sin embargo, la relación beneficio-costo fue bastante favorable. Además, se pudo observar que durante la evaluación visual que se realizó al cultivo bajo este tratamiento, el mismo presentó algunas quemaduras en las hojas superiores, lo que se conoce como tip burn en inglés y que en la literatura consultada (Franchetti & Pirri, 2022) (Castañares, 2022) (Kumazaki, 2022), se señala como una de las causas que produce la incidencia de una alta intensidad sobre las plantas.

En cuanto a los resultados obtenidos utilizando la fórmula modificada, en la tabla 3 se presentan los resultados.

Tabla 3. Resultados análisis beneficio-costo, utilizando la fórmula modificada

Detalle	T1	T2	T3	T4	T5
(B/C) _T	0.45	1.63	1.89	1.71	1.71



Con los resultados que muestra la tabla 3, se puede observar que los tratamientos con luces comerciales siguen presentando una relación beneficio-costo mayor que 1.

También se realizó un análisis de sensibilidad de ± 10 y 20% para el precio de la lechuga y precio de la electricidad y así poder determinar que tanto influyen estos valores en el indicador beneficio-costo. Los resultados para este análisis mostraron que al aplicar entre ± 10 -20%, al precio de la lechuga, el indicador B/C mantiene un valor mayor que 1 para todas las luces comerciales, lo mismo ocurre cuando el precio de la electricidad se le aplica este mismo análisis bajo el mismo rango.

También para el caso de que el precio de la electricidad aumente entre 10 y 20%, la diferencia del indicador B/C para el tratamiento 3 en relación con el resultado de la fórmula modificada es una disminución de entre 6 y 14%, respectivamente.

3.3 Análisis estadístico

Al comparar los tratamientos de luces con el peso fresco sin raíz y los watts/hr consumidos, se encontraron diferencias significativas al aplicarle la

prueba de Tukey, a la variable peso fresco sin raíz en donde se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos 2 y 5; sin embargo, para los tratamientos (1 y 2), (3 y 4) y (4 y 5) no existen diferencias significativas.

El coeficiente de variación reportó que para todos los tratamientos la variabilidad es moderadamente baja, ya que la misma oscila en un rango de 25-40%.

En tanto para la variable consumo de watts, se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos 1, 2 y 5. En tanto para los tratamientos (2 y 3), (3 y 4) y (4 y 5) no existen diferencias significativas.

Por otro lado, el coeficiente de variación para todos los tratamientos presentó una variabilidad baja, ya que la misma se encuentra en el rango de 0.99 – 14%.

4. Conclusiones

Esta investigación ha permitido comprobar que, tal y como lo señala la literatura, la luz tiene una influencia crucial en el crecimiento y desarrollo de las plantas y para el caso específico de las PFAL, el uso adecuado de una buena cantidad, calidad e intensidad de luz



permitió obtener resultados importantes en los cultivos que se desarrollan bajo este sistema de producción.

Existen diferencias importantes entre los sistemas de producción de cultivo en campo e invernadero, si se les compara con la producción en PFAL, permitiendo este último sistema una mayor producción, ya que se puede aumentar los ciclos de cosecha en un área más pequeña, solo que, hasta el momento, el inconveniente mayor de la producción en PFAL es la gran inversión inicial que debe hacerse.

Los costos de producción por área son mayores en el sistema PFAL que en cultivo en campo o invernadero, sin embargo, la calidad del producto obtenido en el sistema PFAL es muy buena, además de que el mismo está totalmente libre de residuos de plaguicidas y que el consumidor está dispuesto a pagar por esto.

Los resultados del experimento indican que las luces comerciales utilizadas, son económicamente viables para la producción de lechuga romana en ambiente controlado ya que todas presentaron una relación beneficio-costo mayor que 1.

El tratamiento T3, cuya intensidad de luz fue de $332\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}$ fue el que reportó el valor más alto para el indicador beneficio costo.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), el cual permitió desarrollar el proyecto FID16-140, que a su vez facilitó los datos para los análisis realizados en esta investigación.

También agradecemos el apoyo del Dr. Humberto Alvarez y Mgtr Bolívar Bernal, por la orientación brindada durante el desarrollo de la tesis de maestría de la Ing. Pittí.

6. Referencias

Baharudin, M., Ibrahim R., Abdan, K., & Rashidi, A. (2018) "Feasibility of green commercial vertical system for climbing food plant in urban area," *Alam Cipta*, vol. 11, no. 2, pp. 12–18, 2018.



- Broce, F. (Julio, 2022). CEO Urban Farms Coronado Corporation. (Entrevistado por Yamileth Pittí).
- Castañares, JL. (2022, 6 de abril). Tip burn en hortalizas de hoja en hidroponía. Revista de investigaciones Agropecuarias RIA. Vol 48, N°1, pp 3-9.
- Chen, W., Lin, Y., Liu, K., Chang, H., Wang, L., & Tai, P. (2018) "A Complete MCDM Model for NPD Performance Assessment in an LED-Based Lighting Plant Factory," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2018, no. February 2005, 2018, doi: 10.1155/2018/7049208.
- Empresa de Distribución Eléctrica Metro-Oeste, S.A. (EDEMET) (2018) Pliego Tarifario – Anexo A.
- Franchetti, B., & Pirri, F. (2022, 12 mayo). Detection and Localization of Tip-Burn on Large Lettuce Canopies. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.874035>.
- Graamans L., Baeza E, Dobbelsteen, A., Tsafaras I & Stanghellini C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. Elsevier, *Agricultural Systems* 160, 31-43.
- Joo, H. & Jeong, H. "Growth analysis system for IT-based plant factory. (2017)" *Multimed. Tools Appl.*, vol. 76, no. 17, pp. 17785–17799, 2017, doi: 10.1007/s11042-015-3092-5.
- Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (2016). Role of PFAL's in Urban Areas. En T. Kozai, G. Niu & M. Takagaki, *Plant Factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production.* (pág. 22-23) Japón: Elsevier.
- Kozai, T. (2013) "Plant factory in Japan - current situation and perspectives plant factory in Japan - current situation and perspectives," *Chron. Hortic.*, vol. 53, no. January 2013, pp. 8–11, 2013.
- Kumazaki, T. (2021). Effects of Temperature Variations during Light Period on Growth and Tipburn Incidence of Hydroponic Leaf Lettuce Grown under Artificial Lighting. J-Stage. <https://doi.org/10.2525/ecb.60.53>



- Pitti-Pinzón Y. (2022). Evaluación económica de un cultivo de lechuga romana bajo ambiente controlado, a escala experimental. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de Panamá
- Saengtharutip S., Na L. & Takagaki M. (2017). Supplemental upward LED lighting for growing romaine lettuce (*Lactuca sativa*) in a plant factory: cost performance by light intensity and different light spectra. *ISHS Acta Horticulturae*, 1227. 623-630.
- Saengtharutip, S. N. Lu, M. Takagaki and M. Kikuchi. (2018) "Productivity and cost performance of lettuce production in a plant factory using various light-emitting-diodes of different spectra," *J. Int. Soc. Southeast Asian Agric. Sci.*, vol. 24, no. 1, pp. 1–9, 2018.
- Saldaña, E. (Abril, 2022) Encargado de Producción Cultivos Selectos, S.A. (Entrevistado por Victor Guillén).
- Ying, D., Ling, W., Wongwei L. & Daoliang, Li. (2018). Model predictive control and its application in agriculture. A review. Elsevier, *Computers and Electronics in Agriculture* 151, 104-117.
- Zhang, He, X., Niu, G., Yan, Z., & Song, J. (2018) "Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 33–40, 2018, doi: 10.25165/j.ijabe.20181102.