

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
**Evaluación de la calidad de plántulas de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) en
invernadero bajo diferente fertilización e intensidad lumínica**

Estudiante

Mateo Mantilla Compte

Asesoras

Cinthya Martínez, MAE

María Alexandra Bravo, M.Sc

Honduras, Julio 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	4
Índice de Figuras	5
Índice de Anexos.....	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos.....	14
Material Vegetal y Pre-siembra	16
Tratamientos.....	16
Variables Evaluadas	18
Longitud del Tallo.....	18
Diámetro del Tallo.....	18
Volumen Radicular y Diámetro Radicular Promedio	18
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	19
Resultados y Discusión.....	20
Ensayo # 1	20
Ensayo # 2	22
Conclusiones	27
Recomendaciones.....	28
Referencias.....	29
Anexos.....	32

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Dosificación de los tratamientos aplicados a plántulas de lechuga var. Tropicana y su porcentaje de nitrógeno correspondiente.	17
Cuadro 2 Significancia de los factores; tratamiento, invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica y la combinación de ambos para cada variable del ensayo #1.....	20
Cuadro 3 Tratamientos de fertilización evaluados en variables de parámetros de calidad del ensayo #1.	21
Cuadro 4 Factor del Invernadero en las variables de parámetros de calidad en el ensayo #1.	22
Cuadro 5 Significancia de los factores; tratamiento, invernadero y la interacción de ambos para cada variable del ensayo #2.	23
Cuadro 6 Tratamientos de fertilización evaluados en variables de parámetros de calidad del ensayo #2.	24
Cuadro 7 Factor del Invernadero en las variables de parámetros de calidad en el ensayo #2.	25

Índice de Figuras

Figura 1 Distribución de temperatura del día promedio de invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica.	15
Figura 2 Distribución de intensidad lumínica del día promedio de invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica.....	15
Figura 3 Distribución de la intensidad lumínica del invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica en el ensayo #1.	22
Figura 4 Distribución de la intensidad lumínica en invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica en el ensayo #2.....	25

Índice de Anexos

Anexo A Distribución de intensidad lumínica del Invernadero #2 y #3 durante los dos ensayos.	32
Anexo B Distribución de temperatura del Invernadero #2 y #3 durante los dos ensayos.	33
Anexo C Promedios de porcentajes de germinación de lechuga var. Tropicana durante el estudio. .	34

Resumen

La producción de plántulas en viveros da ventajas productivas al otorgar las condiciones ambientales y nutricionales óptimas a la planta sus primeros días de vida, donde se mejora su calidad y por ende también su comportamiento en campo. La calidad de las plántulas se ve influenciada por la nutrición y las condiciones ambientales durante su germinación y desarrollo. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de plántulas de lechuga bajo condiciones ambientales diferentes y tres tipos de fertilización. Se utilizó lechuga de hoja tipo escarola variedad Tropicana, con los siguientes tratamientos: 1 g/L de Triple 20, 1.29 g/L de Nitrato de Calcio, 1.48 g/L de Nitrato de Potasio y un control de agua solamente. Se utilizó un diseño de parcelas divididas con un Diseño Completamente al Azar (DCA) y un arreglo factorial 2×4, que se analizó mediante un ANOVA y separación de medias por el método de Duncan. Las variables, altura de la planta, diámetro de tallo, volumen y diámetro radicular fueron analizadas al día de trasplante. Las plantas aplicadas con Nitrato de Potasio tuvieron mayor longitud y diámetro de los tallos. Por otro lado, las plántulas fueron mayores en longitud y diámetro a menor intensidad lumínica. Al contrario, plántulas expuestas a mayor intensidad lumínica fueron mayores en las características radiculares; volumen y diámetro promedio de raíz.

Palabras clave: Alveolo, Germinación, Sistema radicular, Solución nutritiva.

Abstract

The production of seedlings in nurseries gives productive advantages; by granting optimal environmental and nutritional conditions to the plant during its first days of life, its quality is improved and therefore its behavior in the field is enhanced. Seedling quality is influenced by nutrition and environmental conditions during germination and development. The objective of this study was to evaluate the quality of lettuce seedlings under different environmental conditions and three types of fertilization. Endive type leaf lettuces, Tropicana variety, were changed with the following treatments: 1 gr/Lt of Triple 20, 1.29 gr/Lt of Calcium Nitrate, 1.48 gr/Lt of Potassium Nitrate and a control treatment of water only. A statistical factorial design was obtained with a Completely Random Design (CDR) that was analyzed by ANDEVA and Duncan's test for separation of means. The variables of plant height, stem diameter, root volume and diameter were analyzed on the day of transplantation. The plants applied with the Potassium Nitrate treatment had greater length and diameter of the stems. On the other hand, the seedlings were larger in length and diameter under lower light intensity. On the contrary, seedlings exposed to higher light intensity had higher root characteristics; average root volume and diameter.

Keywords: Alveolus, Germination, Nutrient solution, Root system.

Introducción

En la actualidad, existe la tendencia del mercado hacia el consumo de hortalizas debido a sus bondades alimenticias que contribuyen a la salud del consumidor. Las verduras y hortalizas son alimentos bajos en calorías, ricos en agua, fibra, vitaminas y minerales. Su acción antioxidante los hace indispensables en nuestra alimentación (Vilaplana Batalla 2004). La lechuga *Lactuca sativa L.* de la familia de las Asteráceas es una de las especies de hortalizas más conocidas y consumidas a nivel nacional y mundial. Su consumo cada día es más popular. El crecimiento en el número de restaurantes de comida rápida ha sido un factor determinante para un mayor consumo de este producto (Theodoracopoulos et al. 2009). De esta manera, es un reto para los agricultores igualar la demanda del mercado proporcionando un producto de calidad.

La producción de plántulas en semilleros mejora el establecimiento del cultivo, produce crecimientos uniformes en la plantación con plántulas vigorosas y sanas, resultando una cosecha con el mismo estándar de calidad y se aprovecha la semilla de manera eficiente (Encalada Granda 2018). Así es como los viveros se han desarrollado, buscando el uso de nuevas técnicas y tecnologías para mejorar la calidad de su producto. Gomez y Vázquez (2011) mencionan que el manejo de plántulas en invernadero mejora el establecimiento del cultivo, reduciendo el estrés después del trasplante bajando la mortalidad hasta en un 90%, hay trasplante de plántulas uniformes, crecimiento similar de las plantas en el campo, reducción en los costos de mano de obra, menor exposición a plagas y enfermedades, un mayor aprovechamiento de las semillas y reducción de la incidencia de malezas luego del trasplante.

La agricultura protegida maneja la combinación de las condiciones ambientales, la fertilización y el medio de crecimiento; en los viveros han recurrido a implementar esta tecnología para obtener una plántula de calidad. Bajo este sistema agrícola especializado se lleva a cabo el control del medio edafoclimático alterando sus condiciones, lo que permite modificar el ambiente en el que se desarrollan los cultivos (temperatura, radiación solar, viento, humedad, etc.), con el propósito de

alcanzar adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos y mejorar la calidad de los productos (Santos et al. 2010). Asimismo, un objetivo de los viveros es proveer las condiciones nutritivas para garantizar un buen producto para el trasplante. La fertilización al sustrato de viveros se debe realizar por medio de programas de fertilización que favorezcan la nutrición de las plantas, garantizando con ello un buen crecimiento de los diferentes órganos (Irigoyen y Cruz Vela 2005). Se busca que los tejidos principales tengan una buena formación y estructura desde sus primeros días de vida y deben contar con las condiciones necesarias para hacerlo. El sustrato representa uno de los componentes más importantes de un sistema de producción debido a que cumple la función de soporte, reservorio de agua y nutrientes para la planta (Castillo Arauz y Sánchez Barahona 2018). Es indispensable la selección de un sustrato apropiado para el desarrollo y mantenimiento de un extenso sistema radicular funcional.

El suministro de nutrientes debe de variar según las características morfológicas deseadas por el productor y se deben evaluar constantemente; lo que puede sustentarse por Cortina et al. (2013). Según menciona Encalada Granda (2018), la plántula ideal que queremos producir debe ser compacta, de tallo robusto, color verde oscuro, con buen sistema radicular y con un pilón que resista la manipulación al trasplante. Los nutrientes más utilizados en la agricultura son los macronutrientes, estos corresponden a: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S); siendo NPK los principales entre estos. El nitrógeno cumple un rol en la formación de tejidos, absorción de luz y el metabolismo, el fósforo posee una función energética para llevar a cabo los procesos metabólicos y el potasio actúa en el metabolismo y mantiene la turgencia en los tejidos.

En ciertos manuales para viveros se puede encontrar que la fertilización habitual propagación de plantas suele ser de manera balanceada y enfocada en los principales macronutrientes NPK (Michelon et al. 2021; Dumroese et al. 2012); estos benefician fuertemente parámetros de calidad antes mencionados por Encalada Granda (2018). Aun así, otros autores sustentan la idea de selección de los fertilizantes acorde a la intención del productor; como emplear fertilizantes fosforados para

promover el desarrollo radicular, fertilizantes potásicos para engrosamiento del tallo y resistencia al estrés (factores abióticos y bióticos) y fuentes nitrogenadas para promover el desarrollo y producción de biomasa (Irigoyen y Cruz Vela 2005; Cortina et al. 2013).

Las condiciones ambientales son determinantes en la vida de las plantas, cada especie requiere de temperatura, intensidad lumínica, humedad relativa, disponibilidad de agua y concentración de dióxido de carbono óptimos para su apropiado desarrollo. La lechuga es una especie de clima templado que obtiene su óptimo desarrollo alrededor de los 20°C aunque es indispensable mencionar que existen variedades que pueden resistir temperaturas muy bajas o muy altas. En lo que respecta a la intensidad lumínica, se estima que la reducción del 1% en intensidad lumínica disminuirá un 1% en la producción de biomasa (Dorais 2003). La disponibilidad de agua y humedad relativa son dos factores relacionados a la cantidad de agua en el ambiente (aire y suelo), el agua es utilizada como conducto de nutrientes y procesos metabólicos. Debido a las características morfológicas de la lechuga esta tiene poca tolerancia a la sequía, se recomienda alrededor de 60-70% de la humedad relativa y el exceso de esta puede promover enfermedades fúngicas. El dióxido de carbono es la materia prima para la síntesis de azúcares, de esta manera un incremento en el porcentaje de CO₂ en el aire aumenta la tasa de fotosíntesis en las hojas. Consecuentemente, la producción de biomasa y volumen en las plantas aumentan hasta cierto límite; una vez sobrepasado un punto de saturación, no tiene ningún efecto el incremento de CO₂ (Hartwell Allen y Vara Prasad 2004).

Existen varios métodos para el control de la intensidad lumínica y la temperatura, dentro de estos están el uso de aisladores como las pantallas térmicas, estas mallas consisten en cintas de aluminio y cintas transparentes sintéticas o hilos de policarbonato. Estas pantallas extendidas no dejan entrar calor de radiación o convección (Raposo Llobet 2022). Se utilizan principalmente en países con estaciones climáticas muy marcadas como en Europa o Norteamérica para mantener la temperatura y modificar la intensidad lumínica. Diversos estudios demuestran que el aumento en la intensidad lumínica aumenta la producción de biomasa (Dorais 2003; Kang et al. 2013; Paz et al. 2019;

Walter y Nagel 2006; Weiguo et al. 2012). Aunque cabe recalcar, los requisitos de luz de las plantas están sujetos a la especie, el cultivo, el crecimiento y las etapas de desarrollo de la planta, las condiciones ambientales y el objetivo de manipulación del rendimiento y la calidad (Kang et al. 2013). En específico, el requerimiento de intensidad lumínica de lechuga oscila entre 400 y 600 $\mu\text{mol} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ (Paz et al. 2019).

Otra alternativa para modificar las condiciones ambientales son las mallas sarán o sombreado con malla. El material de las mallas absorbe preferentemente la banda luminosa del espectro solar correspondiente a su color complementario, modificando las propiedades de reflexión, absorción y transmitancia de la luz que pasa a través de ellas, además de su función protectora (Shahak 2008). Este sistema de sombreado artificial se ha vuelto muy popular los últimos 40 años para diferentes tipos de producción agrícola donde se lo utiliza para disminuir la intensidad lumínica y por ende también la temperatura.

La luz solar es un recurso indispensable para la existencia de las plantas, esta provee energía bruta que es captada mediante la clorofila y utilizada para la transformación de nutrientes en azúcares. Según la intensidad de esta se pueden dar diferentes reacciones morfológicas en las plantas como elongación por fototropismo y clorosis u oxidación de los tejidos. En presencia de demasiada sombra, el tallo se alarga orientándose hacia a una fuente luminosa (fototaxis) lo que genera un tallo débil, alargado y se presenta palidez en las hojas (Walle 2003). Al contrario, el exceso de la intensidad lumínica puede generar la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) las cuales llegan a causar daños por oxidación de los lípidos y proteínas que conforman la membrana celular (Weiguo et al. 2012). De esta manera es importante proporcionar la correcta cantidad de intensidad lumínica para su desarrollo.

Existen diferentes medidas para cuantificar intensidad lumínica, estas funcionan la cantidad (fotones o quantum emitidos) y la calidad (longitud de onda) en una sola unidad de medida. Las plantas captan una calidad específica de luz llamada radiación fotosintéticamente activa o en sus siglas

en inglés, PAR; esta es la cantidad de energía luminosa, dentro del intervalo de longitud de onda de los 400 y 700 nm, que usan las plantas para la fotosíntesis (Buechel 2021). De esta manera, las medidas más utilizadas en la agricultura para luz son los pies candela y la medición cuántica expresada en $\mu\text{mol} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$; para la aplicación en campo, estos son transformados a intensidad lumínica diaria (DLI) que mide el total de PAR recibido en un día. Los productores de cultivos bajo invernadero pueden usar medidores de luz para calcular el número de fotones de luz que se acumulan en un metro cuadrado durante un periodo de 24 horas (Torres y Lopez 2010).

Los objetivos de este estudio fueron evaluar la calidad de las plántulas de lechuga utilizando diferentes tipos de fertilización y, evaluar la influencia de invernaderos con diferentes condiciones climáticas en la calidad de la plántula.

Materiales y Métodos

Localización del Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Unidad de Producción de Plántulas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el Valle de Yeguaré departamento Francisco Morazán a 30 kilómetros en la vía Tegucigalpa a Danlí, Honduras. Se realizaron dos siembras (ensayos): la primera se realizó el 9 de marzo y la segunda el 17 de marzo, ambas con un ciclo de 24 días.

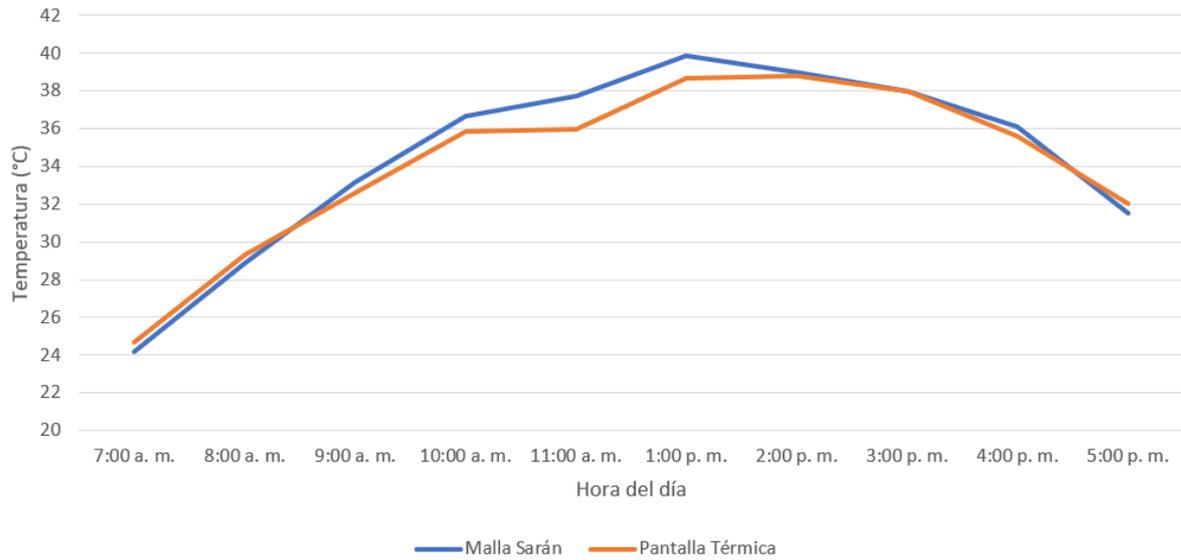
Se utilizaron dos invernaderos tipo macro túnel con las siguientes características: el Invernadero #2 contaba con techo de plástico para invernadero; debajo del plástico, una malla sarán del 50% y paredes con malla anti-insectos de 50 mesh. En este invernadero se obtuvo temperatura promedio de 34.5°C e intensidad lumínica promedio de 193.83 pies candela con un DLI de $3.35 \text{ mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día}^{-1}$; además, hubo un porcentaje de germinación de 94.5%.

El Invernadero #3 de tipo macro túnel cubierto con techo de plástico para invernadero; encima del plástico, una pantalla térmica Harmony 3915 OE de poliolefina con 39% de sombra y con paredes anti-insectos de 50 mesh. Se obtuvo temperatura promedio de 34.2°C e intensidad lumínica promedio de 275.90 pies candela con un DLI de $4.77 \text{ mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día}^{-1}$; además, hubo un porcentaje de germinación de 92.8%.

En las Figura 1 y 2 se observa la temperatura e intensidad lumínica de los invernaderos con diferente tipo de cobertura en un día promedio. Estas demuestran que existe una similitud en la temperatura con entre ambas coberturas, por el otro lado, la intensidad lumínica recibida es mayor en bajo la pantalla térmica en comparación con la malla sarán.

Figura 1

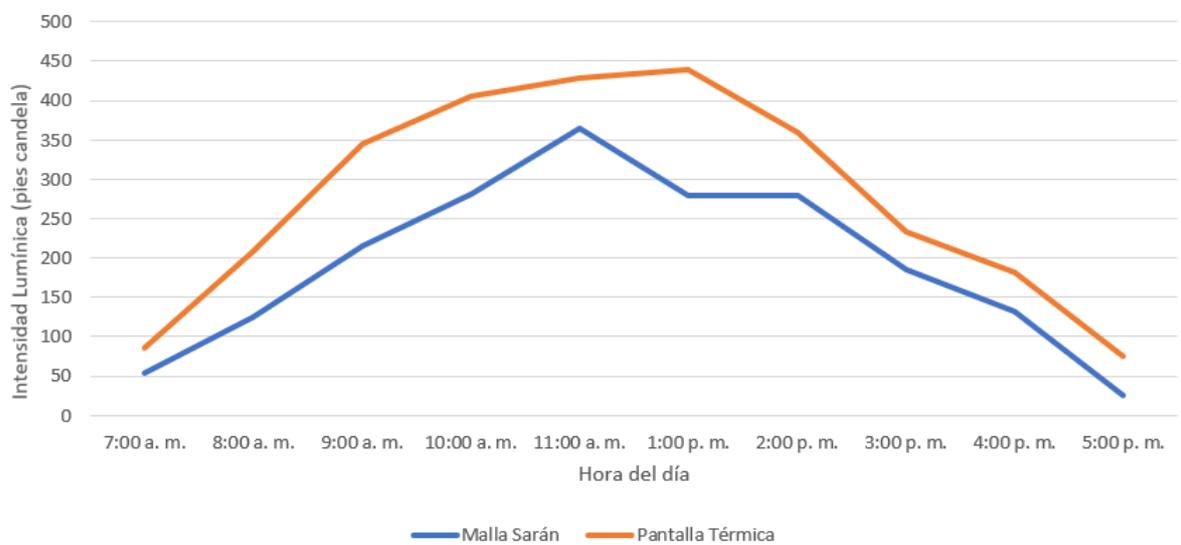
Distribución de temperatura del día promedio de invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica.



Nota. Invernadero #2 con malla sarán e Invernadero #3 con pantalla térmica

Figura 2

Distribución de intensidad lumínica del día promedio de invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica.



Nota. Invernadero #2 con malla sarán e Invernadero #3 con pantalla térmica

Material Vegetal y Pre-siembra

Se utilizó lechuga tipo escarola variedad Tropicana de la casa comercial Johnny's Selected Seeds, las semillas estaban paletizadas para ayudar a conservar su viabilidad. Esta variedad posee un desarrollo óptimo de entre 16-18°C, aunque es tolerante a altas temperaturas; su ciclo total es de 52 días y un periodo de 14 días de siembra al trasplante en vivero con condiciones óptimas. Posee una temperatura de germinación óptima a los 21°C y tiene un porcentaje de germinación mayor al 80%. La información específica de la variedad es referente a la etapa de cultivo en campo, no hay información sobre el cultivar en vivero disponible.

Para la siembra se utilizaron bandejas plásticas de 200 alveolos, las bandejas fueron lavadas con agua a presión y se desinfectaron utilizando una solución de 0.2 mL/L de Cloro sumergiéndola por un periodo de 2 minutos. Se utilizó sustrato Pindsstrup Pluss Orange de 55 kg con un pH de 5.5-6, su composición consistía en: 1 kg de fertilizante NPK, 70 g de Nitrógeno, 50 g de Amonio, 140 g de Fósforo (P_2O_5), 240 g de Potasio (K_2O) y 23 g de Magnesio (MgO). Previo a llenar las bandejas el sustrato se humedeció a capacidad de campo, llenaron las bandejas a mano y se realizaron los hoyos.

Se sembró una semilla por alveolo procurando colocarla en el centro de la celda. Las bandejas ya sembradas se colocaron en el cuarto de pre-germinación durante 24 horas, éste tiene como función promover y homogenizar la germinación proporcionando temperatura, humedad y luz homogéneas. Una vez concluyó el tiempo en el cuarto oscuro, se llevaron las bandejas a los diferentes invernaderos.

Tratamientos

Se evaluaron dos localidades siendo estos dos invernaderos con cubiertas diferentes, uno con una malla sarán (Invernadero #2) y otro con una pantalla térmica (Invernadero #3). Se aplicaron tres tratamientos de fertilización más el control que fue solo agua. La fertilización inició cuando las plántulas tenían visibles las primeras hojas verdaderas, se fertilizó tres veces por semana con un día de por medio.

En el Cuadro 1 se puede observar los diferentes tratamientos de fertilización y la dosis utilizada para cada uno. Estas dosis se calcularon mediante el uso de la ecuación 1 utilizando una dosis estándar de 20 mg/L de Nitrógeno en todos los tratamientos.

Cuadro 1

Dosificación de los tratamientos aplicados a plántulas de lechuga var. Tropicana y su porcentaje de nitrógeno correspondiente.

Tratamiento	% de Nitrógeno	g/L
Control (solo agua)	----	----
Triple 20	20.0	1
Nitrato de Calcio - Ca(NO ₃) ₂	15.5	1.29
Nitrato de Potasio – KNO ₃ -	13.5	1.48

Para la dosificación de las aplicaciones se utilizó la siguiente fórmula de conversión:

$$Dosis\ de\ Fertilizante = \frac{ppm(\text{expresado en gramos}) \times (\text{peso saco de fertilizante})}{\% \text{ de nitrógeno}} \quad [1]$$

Para estimar la cantidad de solución para cada alveolo se aforó utilizando un volumen de agua conocido, se aplicó agua paulatinamente en cada alveolo hasta que el agua empezara a gotear por el drenaje y, se midió nuevamente el volumen de agua utilizado hasta el momento. Después de la calibración se obtuvo un valor aproximado de 6 mL por alveolo y 150 mL por bandeja de 25 alveolos. Se ajustó utilizando la ecuación 2:

$$Volumen\ de\ aplicación = Volumen\ inicial - Volumen\ final \quad [2]$$

Durante el estudio se midió diariamente los valores de temperatura (grados Celsius) e intensidad lumínica (Pies Candela) cada hora desde las 7 am hasta las 5 pm. Se utilizó un termómetro de registro de temperatura máxima y mínima, y un espectrofotómetro LightScout. Debido a que existe fluctuaciones de la intensidad lumínica a través del día existen limitaciones en el uso de los Pies Candela como medida de luz al ser una medida instantánea. De esta manera, las mediciones en Pies

Candela se convirtieron luego a la luz integrada diaria (DLI- $\mu\text{mol} * \text{m}^2 * \text{d}^{-1}$) utilizando un factor de conversión desarrollado por Torres y Lopez (2010). Esta nos proporcionó un valor acumulado de luz durante los ensayos.

$$DLI = \bar{x} \text{ de intensidad del día} \times 0.2 \times 0.0864 \quad [3]$$

Donde:

0.2: (*factor conversión de pies candela a $\mu\text{mol} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$*)

0.0846: (*factor de conversión de $\mu\text{mol} * \text{m}^2 * \text{s}^{-1}$ a DLI*)

Variables Evaluadas

Se tomaron las mediciones 24 días después de siembra, que es el tiempo estimado a día de trasplante.

Longitud del Tallo

Se midió con una regla en centímetros desde la base del tallo en el punto de crecimiento de las hojas cotiledóneas hasta la punta de la hoja más alta.

Diámetro del Tallo

Para determinar esta variable, se utilizó un pie de rey graduado en milímetros colocándolo de uno a tres milímetros por encima de la base del tallo, sobre el punto de crecimiento de las hojas cotiledóneas.

Volumen Radicular y Diámetro Radicular Promedio

Esta variable se determinó mediante el uso de un escáner EPSON PERFECTION V700 PHOTO, se preparó la muestra colocando la raíz desnuda dentro del escáner con agua destilada y con ayuda de pinzas de plástico se extendieron las raíces para evitar que se sobrepongan. Una vez preparada la muestra, se escaneó a alta resolución en blanco y negro cada raíz y se analizaron utilizando el software WinRHIZO™. Para el volumen radicular se utilizó la medida de cm^2 , mientras que el diámetro de raíz promedio se midió en milímetros con exponencial a la menos tres (E-0.3).

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial 2x4. Se evaluaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones y se utilizaron 10 unidades observacionales. El estudio fue repetido dos veces, el ensayo #1 tuvo un periodo entre el 10 de marzo y el 4 de abril, y el ensayo #2 del 18 de marzo al 9 de abril. Se analizaron los datos mediante un Análisis de Varianza y la separación de medias usando el método de Duncan, se usó el programa estadístico SAS® versión 9.4.

Resultados y Discusión

Se evaluaron independientemente los ensayos ya que no fueron iniciados al mismo momento. En el ciclo fenológico de las plántulas de lechuga, las diferentes etapas se dieron bajo diferentes condiciones climáticas a lo largo de cada ensayo.

Ensayo # 1

Para los resultados se analizaron dos factores principales: los tratamientos, el tipo de cobertura de invernadero y la interacción del tratamiento con el tipo de cobertura. Se puede observar en el Cuadro 2 que en los resultados se obtuvieron diferencias significativas solamente en la variable de la longitud del tallo en el caso de los tratamientos de fertilización; y en las variables de longitud del tallo y diámetro del tallo en el caso de la cobertura.

Cuadro 2

Significancia de los factores; tratamiento, invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica y la combinación de ambos para cada variable del ensayo #1.

	Longitud del tallo	Diámetro del tallo	Volumen radicular	Diámetro promedio de raíz
Fertilización	0.0004	0.8614	0.9353	0.4874
Invernadero	0.0062	0.0328	0.1135	0.1261
INV*FRT	0.0903	0.5752	0.5942	0.8863

Nota. INV*TRT: Combinación de efecto de la fertilización y el invernadero.

Para la variable longitud del tallo se encontró diferencia significativa entre tratamientos, destacando las plantas más altas aplicadas con el tratamiento de Nitrato de Potasio, 12.160 cm; mientras que las más pequeñas fueron el Control con longitud de tallo de 8.580 cm (Cuadro 3.). Estos resultados se asemejan con Michelon et al. (2021) y Nicola et al. (2004), donde una solución nutritiva aumento la biomasa de lechuga y su altura. Asimismo, De Grazia et al. (2011), encontró diferencias significativas en la longitud de tallo con diferentes niveles de fertilización en plántulas de pimiento.

El resto de las variables diámetro del tallo, volumen radicular y diámetro promedio de raíz no mostraron diferencias significativas en el ensayo. Esto último contrasta con el estudio de Nicola et al.

(2004), donde se presentaron diferencias significativa en parámetros de la arquitectura radicular de la raíz de lechuga bajo diferentes niveles de fertilización.

Cuadro 3

Tratamientos de fertilización evaluados en variables de parámetros de calidad del ensayo #1.

Tratamiento	Cobertura del Invernadero	Longitud del tallo (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Volumen radicular (cm ²)	Diámetro promedio de raíz (mm) E-0.3
Control	Malla Sarán	10.045 b	2.83 a	0.090 a	181.03 a
Triple 20		11.640 a	2.85 ab	0.101 a	156.45 a
Nitrato de Calcio		11.870 a	2.75 a	0.075 a	172.00 a
Nitrato de Potasio		12.160 a	2.93 a	0.102 a	231.75 a
Control	Pantalla Térmica	8.580 c	2.72 a	0.123 a	230.18 a
Triple 20		11.885 a	2.70 ab	0.104 a	196.03 a
Nitrato de Calcio		10.290 b	2.71 a	0.160 a	274.37 a
Nitrato de Potasio		11.375 ab	2.67 b	0.133 a	270.40 a
Coeficiente de Variación		4.2341	3.9282	37.5127	30.9095
R ²		0.9368	0.7363	0.4491	0.4760

Acerca del tipo de cobertura la variable Longitud del tallo demostró diferencias significativas, las plántulas en el invernadero con malla sarán presentaron mayor longitud de 11.4288 cm diferente al de pantalla térmica con 10.5325 cm (Cuadro 4.). Estos resultados coinciden con los estudios Alarcon (2006) y Amaro de Sales R et al. (2021) ; donde se encontró que en condiciones de menor intensidad lumínica ocurre mayor alargamiento del tallo. Así es como, se pueden analizar los resultados basándose en la intensidad lumínica entre cada invernadero donde, bajo el sarán se observó menor intensidad lumínica que la pantalla térmica (Figura 3.). Kang et al. (2013) difiere de los resultados, este argumenta que obtuvo aumento del tamaño de la planta bajo mayor intensidad lumínica. La variable Diámetro del tallo también tuvo diferencia significativa donde; el mayor calibre fue bajo la malla sarán con 2.8413 mm, mientras que el menor diámetro se presentó bajo la pantalla térmica con 2.7025 mm (Cuadro 4.). Algunos estudios difieren con los resultados como Amaro de Sales R et al. (2021), donde el cultivo de lechuga morada no tuvo diferencias en el diámetro al igual que Cui et al. (2021) en pepino.

En el resto de las variables; Volumen radicular y Diámetro promedio de raíz no mostraron diferencias significativas en el ensayo.

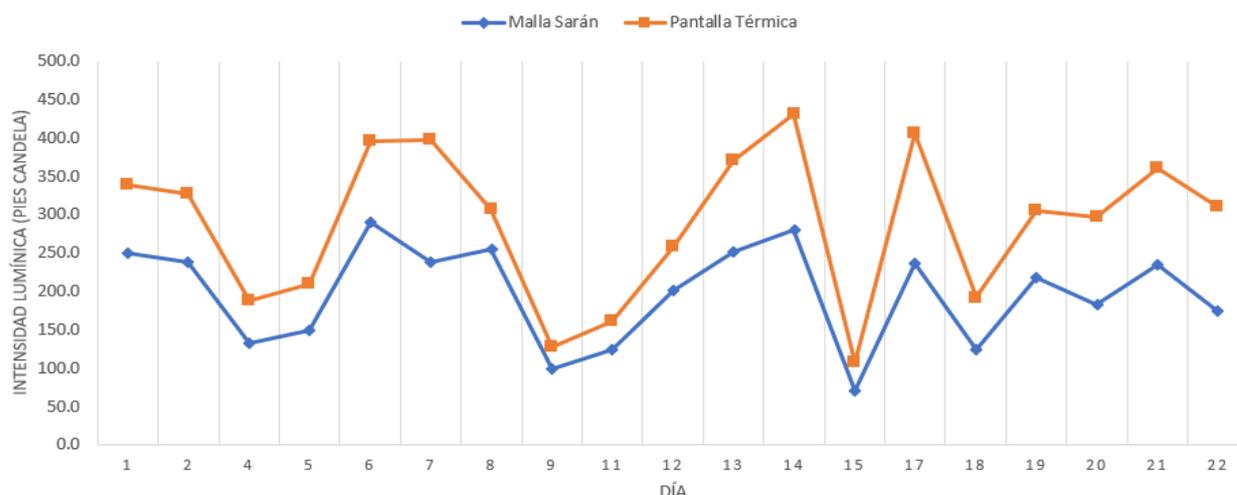
Cuadro 4

Factor del Invernadero en las variables de parámetros de calidad en el ensayo #1.

Cobertura de Invernadero	Longitud del tallo (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Volumen radicular (cm ³)	Diámetro promedio de raíz (mm) E-0.3
Malla Sarán	11.4288 a	2.8413 a	0.0926 a	185.32 a
Pantalla térmica	10.5325 b	2.7025 b	0.1305 a	242.75 a

Figura 3

Distribución de la intensidad lumínica del invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica en el ensayo #1.



Nota. Invernadero con malla sarán e Invernadero con pantalla térmica

En el caso de la interacción entre el tratamiento y el tipo de invernadero no hubo diferencias significativas en ninguna de las variables.

Ensayo # 2

Para los resultados se analizó dos factores principales siendo estos los tratamientos, el tipo de invernadero y la interacción del tratamiento con el tipo de invernadero. Dentro del Cuadro 5 se puede observar los resultados donde existe diferencia significativa en las variables de longitud del

tallo y diámetro del tallo en el factor de la fertilización. Además, también ocurre en el diámetro del tallo, volumen y diámetro radicales promedio en el factor del tipo de obertura. Finalmente, en el diámetro del tallo en la interacción entre ambos factores se obtuvo una diferencia significativa.

Cuadro 5

Significancia de los factores; tratamiento, invernadero y la interacción de ambos para cada variable del ensayo #2.

	Longitud del tallo	Diámetro del tallo	Volumen radicular	Diámetro promedio de raíz
Fertilización	0.0234	<.0001	0.9627	0.7485
Invernadero	0.3845	0.0114	0.0003	0.0056
INV*FRT	0.3788	<.0001	0.1082	0.524

Nota. INV*TRT: Combinación de efecto de la fertilización y el invernadero.

Para la variable Longitud del tallo, la plántulas más altas fueron las aplicadas con Nitrato de Potasio con 14.255 cm, mientras que las plántulas del tratamiento Control fueron las más pequeñas con 10.07 cm. En el caso del Diámetro del tallo también se demostró una diferencia significativa entre los tratamientos, las plántulas con tallos más gruesos fueron aplicadas con Nitrato de Potasio con 3.89 mm y el más delgado ocurrió dentro del Control con 2.72 mm. Ambos resultados son debatidos por Alarcon (2006), que ilustra que una relación N/K muy alta nos lleva a plantas vegetativas, es decir, de tallo delgado, suculentas, flexibles, muy alargadas, etc. Por el otro lado, Martinez y Garces (2010) concuerdan con los resultados; donde se realizó la aplicación de 360 mg/L de potasio en lechuga donde se demostró un efecto directo sobre el desarrollo de la planta incluyendo el área foliar.

Finalmente, las variables Volumen radicular y Diámetro Promedio de raíz no demostraron ninguna diferencia significativa.

Cuadro 6

Tratamientos de fertilización evaluados en variables de parámetros de calidad del ensayo #2.

Tratamiento	Cobertura del Invernadero	Longitud del tallo (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Volumen radicular (cm ²)	Diámetro promedio de raíz (mm) E-0.3
Control	Malla Sarán	10.94 bc	2.72 c	0.114 bc	206.53 abc
Triple 20		12.84 ab	2.86 bc	0.081 c	148.16 c
Nitrato de Calcio		11.70 bc	3.10 b	0.111 bc	197.52 abc
Nitrato de Potasio		12.73 ab	3.09 b	0.084 c	166.90 bc
Control	Pantalla Térmica	10.07 c	2.38 d	0.150 ab	256.54 a
Triple 20		12.80 ab	2.34 d	0.189 a	266.48 a
Nitrato de Calcio		13.01 ab	2.45 d	0.154 ab	242.90 ab
Nitrato de Potasio		14.25 a	3.89 a	0.171 a	245.74 ab
Coeficiente de Variación		8.4627	3.6013	15.2959	17.1567
R ²		0.7639	0.9804	0.8868	0.7401

En el factor del tipo de cobertura la variable de Diámetro del tallo demostró diferencias significativas; las plántulas bajo la malla sarán obtuvieron el mayor diámetro con 2.9425 mm, a diferencia de las plántulas con pantalla térmica con un valor de 2.7675 mm. Los resultados anteriores difieren de los de Amaro de Sales R et al. (2021); donde el diámetro del tallo en lechuga morada no tuvo diferencias significativas bajo diferentes condiciones de sombra. También difieren de los de Cui et al. (2021), que al incrementar la intensidad lumínica obtuvo plantas más compactas y por ende con mayor diámetro. Igualmente, se encontraron diferencias significativas en el Volumen radicular, plántulas bajo la pantalla térmica obtuvieron mayor volumen con 0.1661 cm² a comparación con las de la malla sarán con un menor valor de 0.09785 cm². Igualmente, el Diámetro promedio de raíz tuvo diferencias significativas donde aquellas plántulas bajo la pantalla térmica obtuvieron un mayor diámetro con 252.92E-0.3 mm y la malla sarán obtuvieron resultados menores con 179.78E-0.3 mm. Estos últimos resultados concuerdan con Kang et al. (2013) en lechuga, Cui et al. (2021) en pepino y Walter y Nagel (2006) en tabaco, donde se manifestaron incrementos en el tamaño radicular en plántulas al aumentar intensidad lumínica. Así es como los resultados del Volumen radicular y

Diámetro promedio de la raíz pueden deberse a las condiciones de mayor intensidad lumínica que otorga la pantalla térmica (Figura 4.).

Únicamente la variable de Longitud del tallo no demostró tener ninguna diferencia significativa.

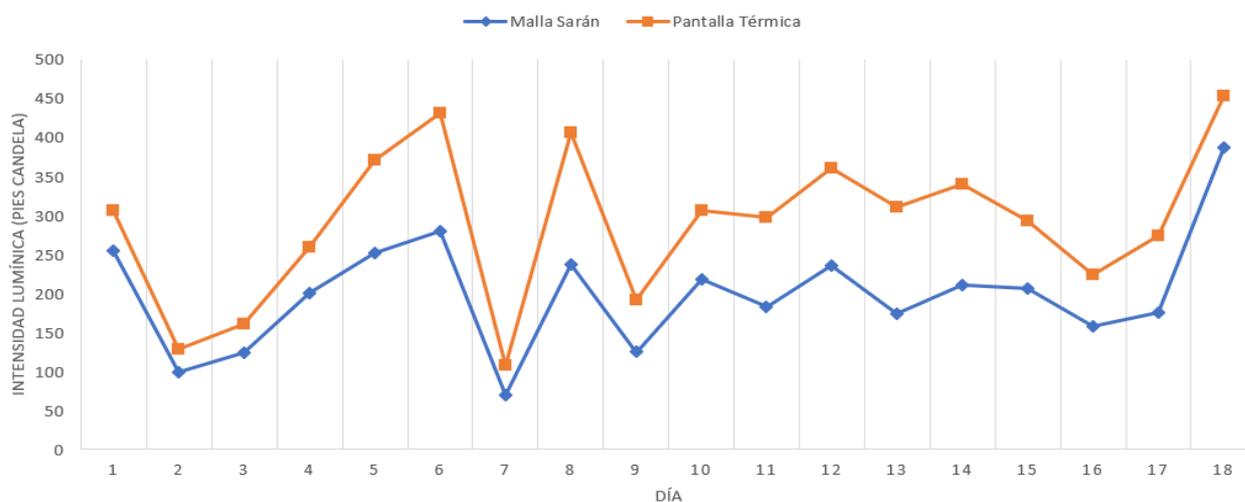
Cuadro 7

Factor del Invernadero en las variables de parámetros de calidad en el ensayo #2.

Cobertura del Invernadero	Longitud del tallo (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Volumen radicular (cm ²)	Diámetro promedio de raíz (mm) E-0.3
Sarán	12.0525 a	2.9425 a	0.09785 b	179.78 b
Pantalla térmica	12.5350 a	2.7675 b	0.1661 a	252.92 a

Figura 4

Distribución de la intensidad lumínica en invernadero con malla sarán e invernadero con pantalla térmica en el ensayo #2.



Nota. Invernadero2 con malla sarán e Invernadero con pantalla térmica

En el caso de la interacción entre el tratamiento y el tipo de cobertura, únicamente la variable Diámetro del tallo presentó diferencias significativas. La relación entre el invernadero con pantalla térmica y el tratamiento de Nitrato de Potasio fue la combinación que obtuvieron plántulas más gruesas con 3.89 mm y los valores menores lo presentaron las plántulas fertilizadas con Triple 20 con

2.354 mm de diámetro. Estos resultados concuerdan con los de Martínez y Garces (2010) donde el potasio aumentó las cualidades de la plántula; aun así, Amaro de Sales R et al. (2021) difiere de esto debido que en su estudio el diámetro del tallo en lechuga morada no tuvo diferencias significativas bajo diferentes condiciones de sombra.

Finalmente, no hubo ninguna diferencia significativa en las variables evaluadas longitud del tallo, volumen radicular y diámetro promedio de raíz.

Conclusiones

Las pantallas térmicas utilizadas en invernaderos mantienen una misma temperatura que una malla sarán permitiendo que haya mayor cantidad de luminosidad.

Una mayor intensidad lumínica en la producción de lechuga en vivero promueve la formación del sistema radicular de la planta.

La fertilización de Nitrato de Potasio a 1.48 g/L en plántulas de lechuga aumenta la altura y diámetro del tallo.

Recomendaciones

Reemplazar el uso del sarán por la pantalla térmica para obtener mejor calidad de plántula.

Evaluar el efecto de las condiciones climáticas utilizando un solo tipo de fertilización.

Implementar sensores que midan la temperatura, intensidad lumínica y humedad relativa dentro de los invernaderos para futuras investigación y manejo de estos.

Realizar el estudio en diferentes épocas del año.

Realizar el estudio continuándolo en campo para observar el efecto de los tratamientos.

Evaluar los dos conceptos de fertilización en viveros; una fertilización balanceada y una fertilización enfocada.

Referencias

- Alarcon AL. 2006. Nutricion y riego en los Viveros. Extra 2006; [consultado el 18 de may. de 2022]. http://www.horticom.com/revistasonline/revistas/viveros06/a_alarcon.pdf.
- Amaro de Sales R, Chaves de Oliveira E, Buzatto E, Ferreira de Almeida R, Alves de Lima MJ, Silva Berilli S, Aguilar RL, Lovo M, Prucoli Posse R, Casagrande dos Santos J, et al. 2021. Photo-selective shading screens as a cover for production of purple lettuce. Scientific Reports; [consultado el 16 de jun. de 2022]. 11. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-94437-5>.
- Buechel T. 2021. Cómo medir la calidad y la Cantidad de Luz. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 26 de may. de 2022]. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-medir-la-calidad-y-la-cantidad-de-luz/>.
- Castillo Arauz DM, Sánchez Barahona GM. nov. 2018. Evaluación de tres sustratos y tres recipientes para la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) cultivar Kristine [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 27 de may. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6337/1/CPA-2018-T020.pdf>.
- Cortina J, Vilagrosa A, Trubat R. 2013. The role of nutrients for improving seedling quality in drylands. New Forests; [consultado el 26 de may. de 2022]. https://www.researchgate.net/publication/256316176_The_role_of_nutrients_for_improving_seedling_quality_in_drylands.
- Cui J, Song S, Yu J, Liu H. 2021. Effect of Daily Light Integral on Cucumber Plug Seedlings in Artificial Light Plant Factory. Horticulturae. 7(139). https://www.researchgate.net/publication/352204402_Effect_of_Daily_Light_Integral_on_Cucumber_Plug_Seedlings_in_Artificial_Light_Plant_Factory.
- De Grazia J, Tiftonell PA, Chiesa Á. 2011. Fertilizacion nitrogenada en plantines de pimiento (*Capsicum Annuum* L.) cultivados en sustratos con diferentes proporciones de materiales compostados:efectos sobre los parametros de calidad del plantin. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo; [consultado el 14 de jun. de 2022]. 43(1):175–186. <http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v43n1/v43n1a12.pdf>.
- Dorais M, editor. 2003. Use of supplemental lighting for vegetable crop production. Canadian Greenhouse Conference; 9/10/2003; Quebec. Laval University: Agri Reseau. ; [consultado el 4 de jun. de 2022]. <https://www.agrireseau.net/legumesdeserre/documents/cgc-dorais2003fin2.pdf>.
- Dumroese KR, Jacobs DF, Wilkinson KM. 2012. Fases de cultivo: Establecimiento y crecimiento rápido. Producción de Plantas en Viveros Forestales. Produccion de Plantulas en Viveros Forestales; [consultado el 18 de may. de 2022]. https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2012_dumroese_k004.pdf.
- Encalada Granda SA. 2018. Efecto de los reguladores de crecimiento Chloromequat (Cycocel®) y Damizone (B-nine®) en el cultivo de lechuga cv. Tropicana [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 10 de may. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/>.
- Gomez D, Vázquez M. 2011. Producción Organica de Hortalizas de Clima Templado: Plántulas de Invernadero. Produccion Organica de Hortalizas en Clima Templado; [consultado el 10 de may. de 2022]. <https://metrocert.com/files/plantulas%20de%20invernadero.pdf>.

- Hartwell Allen L, Vara Prasad PV. 2004. Crop responses to elevated carbon dioxide. Encyclopedia of Plant and Crop Science; [consultado el 4 de jun. de 2022]. 346–348. https://www.researchgate.net/publication/260392290_Crop_Responses_to_Elevated_Carbon_Dioxide.
- Irigoyen JN, Cruz Vela MA. 2005. Guía técnica de semilleros y viveros frutales. Guía Técnica de Semilleros y Viveros Frutales; [consultado el 10 de may. de 2022]. 1(1). <http://repiica.iica.int/DOCS/B0507E/B0507E.PDF>.
- Kang JH, KrishnaKumar S, Sua Atulba SL, Jeong BR, Hwang SJ. 2013. Light Intensity and Photoperiod Influence the Growth and Development of Hydroponically Grown Leaf Lettuce in a Closed-type Plant Factory System. Horticulture Environment and Biotechnology; [consultado el 17 de may. de 2022]. 54. https://www.researchgate.net/publication/263209737_Light_intensity_and_photoperiod_influence_the_growth_and_development_of_hydroponically_grown_leaf_lettuce_in_a_closed-type_plant_factory_system.
- Martinez FE, Garces GA. 2010. Crecimiento y producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.var. romana) bajo diferentes niveles de potasio. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas; [consultado el 26 de may. de 2022]. 4(2):185–198. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1239/1236.
- Michelon N, Pennisi G, Myint NO, Orsni F, Gianquinto G. 2021. Optimization of Substrate and Nutrient Solution Strength for Lettuce and Chinese Cabbage Seedling Production in the Semi-Arid Environment of Central Myanmar. Horticulturae; [consultado el 26 de may. de 2022]. 7(64). <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/4/64>.
- Nicola S, Hoeberechts J, Saglietti D, Fontana E. 2004. Nitrogen Fertilization Regime and Lettuce Romaine Types Influence Seedling Growth, Root Architecture and Transplant Quality. Acta Horticulturae; [consultado el 14 de jun. de 2022]. https://www.researchgate.net/publication/280610410_Nitrogen_Fertilization_Regime_and_Lettuce_Romaine_Types_Influence_Seedling_Growth_Root_Architecture_and_Transplant_Quality.
- Paz M, Fisher PR, Gomez C. 2019. Minimum light requirements for indoor gardening of lettuce. Urban Agriculture and Regional Food Systems; [consultado el 4 de jun. de 2022]. 4. https://www.researchgate.net/publication/336076588_Minimum_Light_Requirements_for_Indoor_Gardening_of_Lettuce.
- Raposo Llobet C. 2022. Evaluación Experimental y Modelización del Control de la Pantalla Térmica en Invernadero [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; [consultado el 16 de may. de 2022]. <http://oa.upm.es/36/1/02200427.pdf>.
- Santos BM, Obregon-Olivas HA, Salamé-Donoso TP. 2010. Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida. [sin lugar]: Horticulture Innovation Lab., UC Davis; [consultado el 9 de may. de 2022]. https://horticulture.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk1816/files/extension_material_files/Santos_academic_paper_estructuras_para_la_agricultura_protegida.pdf.
- Shahak Y. 2008. A Review of Ornamental and Vegetable Studies Carried Out in Israel: Photo-Selective Netting for Improved Performance of Horticultural Crops. A Review of Ornamental and Vegetable Studies Carried Out in Israel. Acta Horticulturae; [consultado el 18 de may. de 2022]. 770. https://www.researchgate.net/publication/237786951_Photo-Selective_Netting_for_Improved

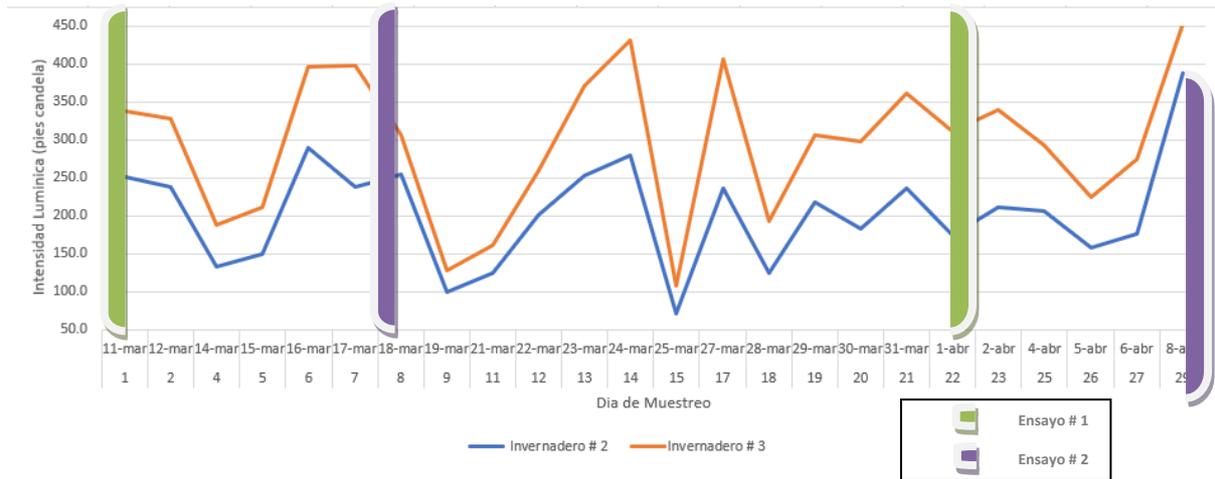
Performance_of_Horticultural_Crops_A_Review_of_Ornamental_and_Vegetable_Studies_Carried_Out_in_Israel.

- Theodoracopoulos M, Lardizabal R, Arias S. 2009. Manual de Producción: Produccion de Lechuga. MCA-Honduras; [consultado el 10 de may. de 2022]. http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/72/EDA_Manual_Produccion_Lechuga_02_09.pdf.
- Torres AP, Lopez RG. 2010. Medición de Luz Diaria Integrada en Invernadero. Indiana, EE. UU.: Purdue University; [consultado el 17 de may. de 2022]. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/HO/HO-238-SW.pdf>.
- Vilaplana Batalla M. 2004. Verduras y hortalizas. Offarm; [consultado el 12 de jun. de 2022]. 23(2):120–132. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-verduras-hortalizas-13057699>.
- Walle R. 2003. Modulo de Viveros. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 4 de jun. de 2022]. https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2573/1/211602_0344%20modulo%20de%20viveros.pdf.
- Walter A, Nagel KA. 2006. Root Growth Reacts Rapidly and More Pronounced Than Shoot Growth Towards Increasing Light Intensity in Tobacco Seedlings. Plant Signaling Behavior; [consultado 16/6/22]. 1(5):225–226. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.4161/psb.1.5.3447>.
- Weiguo F, Pingping L, Yanyou W, Jianjian t. 2012. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. Horticultural Science; [consultado el 16 de may. de 2022]. 39:129–134. https://www.agriculturejournals.cz/web/hortsci.htm?type=article&id=192_2011-HORTSCI.

Anexos

Anexo A

Distribución de intensidad lumínica del Invernadero #2 y #3 durante los dos ensayos.



Anexo B

Distribución de temperatura del Invernadero #2 y #3 durante los dos ensayos.



Anexo C

Promedios de porcentajes de germinación de lechuga var. Tropicana durante el estudio.

Ensayo	Malla Sarán	Pantalla Térmica
Ensayo #1	90.25 %	88.75%
Ensayo #2	98.75%	97%