



Artículo

Efecto de tres alturas de suspensión para la aireación en tres densidades de trasplante para la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Centro Experimental Cota Cota

Effect of three heights of suspension for aeration in three transplant densities for the hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) at the Cota Cota Experimental Center

Maria Guadalupe Flores Maldonado, Celia María Fernández Chávez

RESUMEN:

El crecimiento demográfico eleva la demanda de hortalizas entre ellas la lechuga, puede ser solventada produciendo de forma intensiva. El objetivo de este trabajo fue evaluar tres alturas de suspensión para la aireación en tres densidades de trasplante de lechuga, cultivadas con la técnica hidropónica raíz flotante (RF), para determinar cuál altura, densidad presentaría el mayor rendimiento en peso fresco. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Los factores estudiados fueron alturas de suspensión (0 cm, 1 cm, 3 cm y 5 cm) y densidades (15 cm, 20 cm y 25 cm). Las variables de respuesta analizadas fueron: Peso Fresco, Altura de Planta, Número de Hojas, Peso de Raíz, Volumen Radicular, Rendimiento y Análisis Económico Parcial. Los resultados indican que el tratamiento (T5) con altura de suspensión a 1 cm por densidad de trasplante a 20 cm (A1*B2) tiene un rendimiento de 157.77 gr/planta (2.840 kg/m²), el tratamiento (T4) con altura de suspensión 1 cm por densidad de trasplante a 15 cm (A1*B1) con 111.6 gr/planta (2.444 kg/m²) y el tratamiento (T3) con altura de suspensión de 1 cm por densidad de trasplante a 25 cm (A1*B3) con 102.6 gr/planta (1.436 kg/m²); los demás tratamientos obtuvieron rendimientos bajos. La lechuga hidropónica se cosechó a los 70 días, mediante este ciclo de producción se puede obtener 9 ciclos productivos por año de lechuga hidropónica. Para la relación beneficio/costo el tratamiento dos (T5) con altura de suspensión a 1 cm por densidad de trasplante de 20 cm (A1*B2) con mayor ganancia B/C de 1.55, el (T4) con altura de suspensión de 1 cm por densidad de trasplante de 15 cm (A1*B1) con B/C 1.30; los demás tratamientos tienen beneficio/costo menor a 1, por lo que no son económicamente rentables.

PALABRAS CLAVE:

Altura de suspensión, densidad de siembra, hidroponía, lechuga.

ABSTRACT:

Population growth increases the demand for vegetables, among them lettuce, it can be solved by producing intensively. The objective of this work was to evaluate three suspension heights for aeration in three lettuce transplant densities, cultivated with the floating root (RF) hydroponic technique, to determine which height, density would present the highest yield in fresh weight. A completely randomized experimental design (DCA) was used, with a divided plot arrangement with three replications. The factors studied were suspension heights (0 cm, 1 cm, 3 cm and 5 cm) and densities (15 cm, 20 cm and 25 cm). The response variables analyzed were: Fresh Weight, Plant Height, Number of Leaves, Root Weight, Root Volume, Yield and Partial Economic Analysis. The results indicate that the treatment (T5) with suspension height at 1 cm per transplant density at 20 cm (A1*B2) has a yield of 157.77 gr/plant (2,840 kg/m²), the treatment (T4) with height 1 cm suspension height per transplant density at 15 cm (A1*B1) with 111.6 gr/plant (2,444 kg/m²) and the treatment (T3) with a suspension height of 1 cm per transplant density at 25 cm (A1* B3) with 102.6 gr/plant (1,436 kg/m²); the other treatments obtained low yields. The hydroponic lettuce was harvested at 70 days, through this production cycle it is possible to obtain 9 productive cycles per year of hydroponic lettuce. For the benefit/cost ratio, treatment two (T5) with a suspension height of 1 cm per transplant density of 20 cm (A1*B2) with the highest B/C gain of 1.55, (T4) with a suspension height of 1 cm by transplant density of 15 cm (A1*B1) with B/C 1.30; the other treatments have benefit/cost less than 1, so they are not economically profitable.

KEYWORDS:

Suspension height, planting density, hydroponics, lettuce.

AUTORES:

Maria Guadalupe Flores Maldonado: Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

Celia María Fernández Chávez: Docente, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

DOI: <https://doi.org/10.53287/mgxd7696er85r>

Recibido: 30/04/2023. Aprobado: 10/08/2023.



INTRODUCCIÓN

El principal país productor de lechuga es China, que concentra el 77% de la producción, seguido de Estados Unidos, India, España e Italia, según la FAO (2014). Los principales cultivos que se cultivan con la técnica de hidroponía son hortalizas de hoja entre ellas y como principal producto lechuga.

El altiplano boliviano presenta condiciones desfavorables para la agricultura, principalmente el clima (baja temperatura) y la disponibilidad de agua, por tal motivo las hortalizas son escasas en la región, provocando deficiencias nutricionales sobre las vitaminas y minerales que aportan las hortalizas como la lechuga.

Hoy en día, la producción hidropónica es el método más intensivo de producción hortícola; suele ser de alta tecnología y de capital intensivo. Los rendimientos por unidad de superficie cultivada son altos debido a la mayor diversidad y altos rendimientos por cosecha y en menor tiempo.

De las diferentes técnicas que presenta la hidroponía el sistema raíz flotante es la técnica más utilizada, consta de recipientes o contenedores, donde se incluye la solución nutritiva y sobre ella flotando una lámina de plastofórmico como soporte para la planta. La técnica de raíz flotante la cual se usó en la investigación, este método requiere una forma de oxigenación ya sea manual o mecanizada (con oxigenadores eléctricos o ingreso de agua externa, siendo este último que varía la fórmula hidropónica), estos representan mayor inversión no solo de adquisición sino de funcionamiento y mantenimiento; esta aireación que es imprescindible para las plantas y el desarrollo de las raíces, se busca entonces formas de mantener o incrementar el rendimiento y reducir los costos de producción, siendo una de las opciones suspender los cultivos unos cuantos centímetros de la solución hidropónica buscando la más adecuada.

OBJETIVOS

Objetivo general

- ✓ Determinar el efecto de tres alturas de suspensión para la aireación en tres densidades de trasplante para la producción hidropónica de

lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Centro Experimental de Cota Cota.

Objetivo específico

- ✓ Establecer la altura adecuada para la aireación de raíz en el desarrollo del cultivo de lechuga.
- ✓ Identificar la densidad adecuada para el desarrollo del cultivo de lechuga.
- ✓ Realizar el análisis económico de la producción hidropónica del cultivo de lechuga.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo de investigación se desarrolló en el Centro Experimental de Cota Cota de la Facultad de Agronomía dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, en el departamento de La Paz, Bolivia, a 16°32'04" latitud sur y 68°03'44" longitud oeste, a una altitud de 3445 m.s.n.m.

Material general

Material para el acondicionamiento del sistema RF: Estacas de fierro, martillo, tubos, alambres, tenaza y plastofórmico de 3 cm.

Material nutritivo líquido: Soluciones concentradas a base de; (16-16-16) NPK, Nitrato de amonio, Nitrato de calcio, Nitrato de potasio, Sulfato de magnesio, Quelato de hierro y micronutrientes.

Material específico

Material Vegetal: Se utilizó la variedad White Boston de lechuga (*Lactuca sativa* L.), la cantidad empleada fue de 0.5 Oz de semilla

Metodología

Acondicionamiento de la piscina

Lo primero que se realizó fue el llenado de 5 cm de agua a la piscina para poder medir al nivel del agua el tamaño de tubo que se cortó, cada tubo estaba a una distancia de 20 cm., a cada lateral de la piscina tenía un fierro para poder hacer agarrar el alambre y que los tubos estén por debajo de él.

Una vez realizado este trabajo se procedió a la limpieza y desinfección de la piscina.

Almácigo de esponja

Se cortó esponjas obteniéndose piezas de 2cm x 2cm x 3cm, se procedió a lavarlas con vinagre, luego se enjuagó con abundante agua.

Se acomodaron las piezas de esponja en 3 bandejas ya perforadas para el encaje de las piezas de esponja.

En el sustrato ya húmedo se realizó la siembra dejando caer 2 semillas en cada hoyo de cada pieza, el sustrato es poliuretano (esponja). Luego se cubrió con nylon negro hasta su emergencia.

Área de piscina

En el área de piscina, las plántulas tienen su raíz flotando en el medio acuoso cual favoreció el crecimiento para la raíz para el trasplante definitivo, las plántulas permanecieron hasta obtener hojas verdaderas y mínimamente una altura de 5 cm.

Trasplante al sistema raíz flotante (SRF)

Una vez limpia y desinfectada la piscina se llenó de agua y con las correspondientes soluciones nutritivas hasta los 5 cm de altura. Para sostener las plantas se utilizó láminas de plastroformo, ya perforadas. Cuando las plántulas tenían de 3 a 4 hojas verdaderas y alcanzaron los 7 cm, se trasplantaron a la piscina, se trasplantó a tres diferentes densidades donde crecen hasta la cosecha.

Cosecha

La etapa de cosecha se realizó cuando la lechuga alcanzó su madurez comercial, es decir cuando cumpla con todas las características demandadas por el consumidor final. Aquí se procedió a la recolección de los datos a ser analizados. Las actividades se agrupan en dos etapas, la primera consistió en el acondicionamiento del sistema hidropónico y la segunda correspondió al manejo del cultivo de lechuga como el almácigo,

preparación de la solución nutritiva, paso a piscina, trasplante al sistema raíz flotante, cosecha y actividades de invernadero.

Diseño experimental

Para el análisis e interpretación de los datos tomados se empleó el Diseño Experimental Completamente al Azar con arreglo Bifactorial en parcelas divididas con 3 repeticiones.

Descripción de factores

Factor A. (Alturas de suspensión)

A0, A1, A2, A3 = Parcelas grandes

Factor B. (Densidades),

B1, B2, B3 = Parcelas pequeñas

En la tabla se explica las interacciones de los factores: alturas de suspensión y densidades de trasplante.

Tabla 1. Combinación de los tratamientos.

Trat	Combinación
T 1	A0*B1
T 2	A0*B2
T 3	A0*B3
T 4	A1*B1
T 5	A1*B2
T 6	A1*B3
T 7	A2*B1
T 8	A2*B2
T 9	A2*B3
T 10	A3*B1
T 11	A3*B2
T 12	A3*B3

RESULTADOS

Comportamiento térmico del invernadero

Las temperaturas registradas en la carpa solar son tomadas constantemente, sin embargo, solo se tomaron en cuenta los datos de temperatura desde la siembra que fue el 3 de enero hasta la cosecha que fue el 17 de febrero de 2022.

En el tiempo de desarrollo del experimento no se observaron efectos negativos por parte de las plantas, es decir que las plantas se mantuvieron totalmente tolerantes a las temperaturas altas y bajas durante todo su ciclo vegetativo.

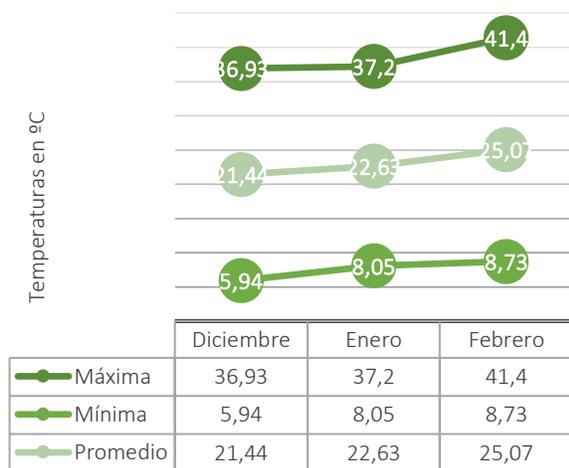


Figura 1. Temperaturas de la carpa.

Según Flores (2005) menciona que la temperatura tiene mucha importancia en el desarrollo de las plantas, afecta a la intensidad y velocidad de los procesos fisiológicos, actúa en forma directa sobre la humedad y la evaporación incidiendo en la morfología vegetal.

Comportamiento de la temperatura de la solución nutritiva

En este experimento los niveles de oxígeno estuvieron entre 9.7 y 8.6 mg/L, considerados adecuados para la especie. Estos resultados concuerdan con Catata (2015), quien explica que la lechuga es la que más tolera la falta de oxígeno, sin embargo, se recomienda que la solución mantenga una concentración de 4 a 8 mg/L.

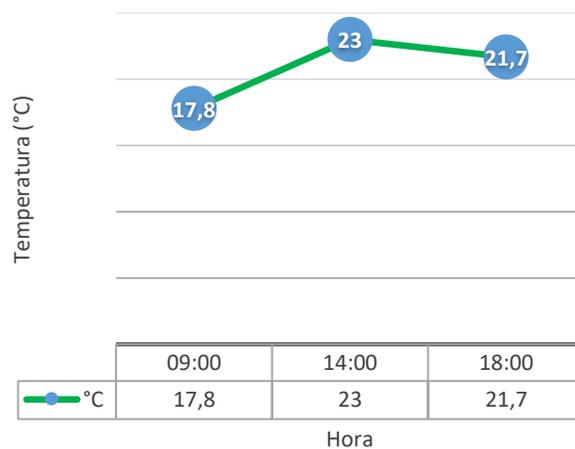
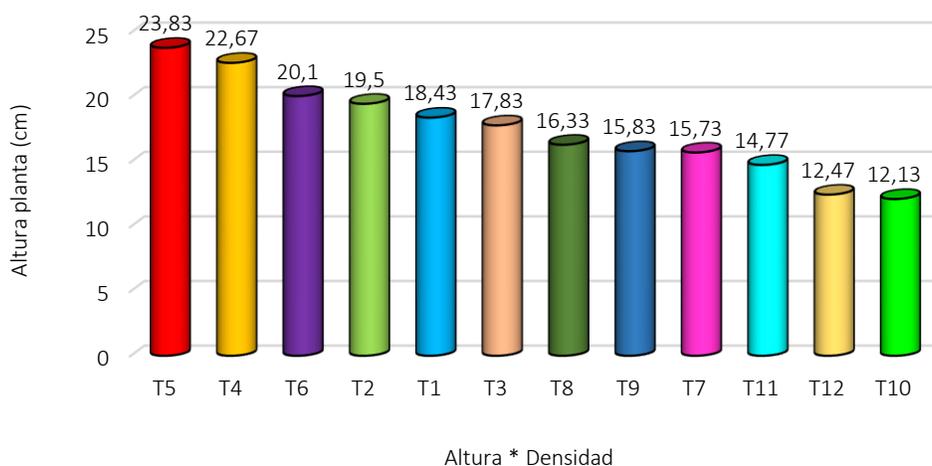


Figura 2. Temperatura de la solución.

La temperatura influye en la capacidad de absorción de agua y nutrientes. Cuando la temperatura es muy alta o baja provoca un decrecimiento de las raíces de las plantas, por encima de 30 °C y debajo de 12 °C la absorción de iones se ve muy limitada (Santos y Ríos, 2016).

Altura de planta (cm)

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias altamente significativas (**) del factor A alturas de suspensión para la variable altura de planta (cm) lo que indica que el comportamiento de las alturas de suspensión aplicadas en el experimento si inciden para esta variable de estudio. También se puede observar que el factor (B) densidades muestra diferencias significativas (*), es decir que las densidades utilizadas en la investigación si inciden en la altura de planta.



Altura * Densidad

Figura 3. Comparación de medias.

El resultado de la interacción de los dos factores (alturas*densidades), el análisis de varianza, indica que hay efectos altamente significativos (**), entonces la acción conjunta factor A y factor B, si incide en la obtención de altura de planta.

La interacción de altura de suspensión de 1 cm por densidad de 20 cm (A1*B2) fue la que obtuvo mayor altura de planta con 23.83 cm, esto nos dice que a una altura de 1 cm con una densidad de 20 cm hubo una buena absorción de agua y nutrientes lo cual facilitó el desarrollo de la planta. La que obtuvo menor altura de planta fue la altura de suspensión de 5 cm por densidad de 15 cm (A3*B1) con 12.13 cm, lo que indica que a una altura de 5 cm con densidad de 15 cm la raíz no absorbe el agua y los nutrientes de manera adecuada lo cual afectó al desarrollo de la planta.

Para el crecimiento y funcionamiento apropiado de las plantas, los niveles adecuados de oxígeno en la raíz son necesarios para su buen desarrollo, su deficiencia tiene efecto en la absorción de agua y de nutrientes, y el rendimiento de los cultivos son afectados (Urrestarazu, 2004).

Número de hojas

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias altamente significativas (**) del factor A alturas de suspensión para la variable peso fresco (cm) lo que indica que el comportamiento de las

alturas de suspensión aplicadas en el experimento si inciden para esta variable de estudio. También se puede observar que el factor (B) densidades muestra diferencias significativas (*), es decir que las densidades utilizadas en la investigación si inciden en el número de hojas por planta.

El resultado de la interacción de los dos factores (alturas*densidades), el análisis de varianza, indica que no hay efectos significativos (NS), esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

Se estima que pudo haber influenciado las características morfológicas y genética del cultivo de lechuga, ya que al haber utilizado una sola variedad son de una sola forma y consistencia. Vega (2013) expresa que la diferencia en el número de hojas está determinada por la morfología y genética vegetal.

Peso de Raíz (g)

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias altamente significativas (**) del factor A alturas de suspensión para la variable peso de raíz (cm) lo que indica que el comportamiento de las alturas de suspensión aplicadas en el experimento si inciden para esta variable de estudio. También se puede observar que el factor (B) densidades muestra diferencias altamente significativas (**), es decir que las densidades utilizadas en la investigación si inciden en el peso de raíz.

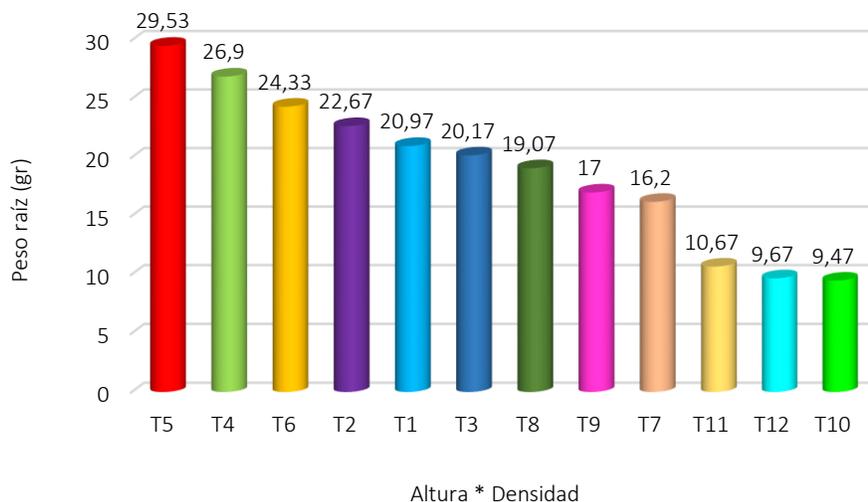


Figura 4. Comparación de medias.

La interacción de altura de suspensión a 1 cm por densidad de 20 cm (A1*B2) fue la que obtuvo mayor peso de raíz con 29.53 gr, esto nos dice que a una altura de 1 cm con una densidad de 20 cm hubo una buena oxigenación en el área radicular de la planta. La que obtuvo menor peso de raíz fue la altura de suspensión de 5 cm por densidad de 15 cm (A3*B1) con 9.47 gr, lo que indica que a una altura de 5 cm con densidad de 15 cm la raíz estaba entre absorber agua y los nutrientes o marchitarse.

Si la aireación no es adecuada para un sistema radicular, gases tales como el etileno y dióxido de carbono que son productos de desecho producidos por las raíces no pueden difundirse y se acumulan en la zona radicular (Morgan, 2001).

Para Agricultura e Hidroponía, (2021) el oxígeno es esencial para el desarrollo de un sistema

radicular saludable, tanto para la respiración aeróbica de las raíces como para mantener una comunidad de bacterias aeróbicas beneficiosas en la zona radicular.

Volumen de raíz (cc)

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias altamente significativas (**) del factor A alturas de suspensión para la variable volumen de raíz (ml) lo que indica que el comportamiento de las alturas de suspensión aplicadas en el experimento si inciden para esta variable de estudio. También se puede observar que el factor (B) densidades muestra diferencias altamente significativas (**), es decir que las densidades utilizadas en la investigación si inciden en el volumen de raíz.

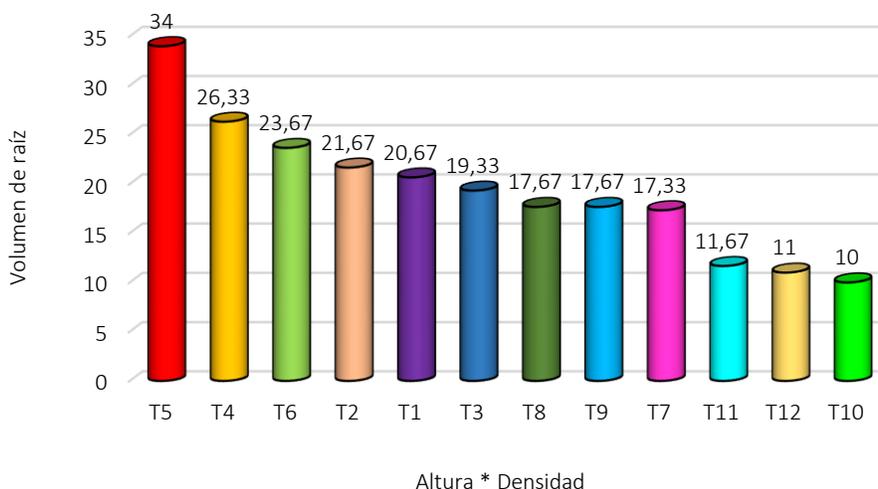


Figura 5. Comparación de medias.

La interacción de altura de suspensión a 1 cm por densidad de 20 cm (A1*B2) fue la que obtuvo mayor volumen de raíz con 34 cc, esto nos dice que, a una altura de 1 cm con una densidad de 20 cm, la raíz puede absorber agua y nutrientes. La que obtuvo menor volumen de raíz fue la altura de suspensión a 5 cm por densidad de 15 cm (A3*B1) con 10 cc, lo que indica que a una altura de 5 cm con densidad de 15 cm la raíz estaba entre absorber agua y los nutrientes o marchitarse.

De acuerdo a Resh (2001), indica que cuando hay un buen suministro de nutrientes las raíces

tienden a ser cortas o están en relación con el área foliar, aunque también una fuerte radiación también provoca una disminución del tamaño de raíces.

Cuando están bien oxigenadas las raíces son capaces de absorber más selectivamente los iones de la solución debido a que requieren energía metabólica para este proceso y la respiración aeróbica es un proceso esencial que produce la energía requerida para el crecimiento radicular (Jackson, citado por Fernández, 2013).

Peso Fresco (g)

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias altamente significativas (**) del factor (A) alturas de suspensión para la variable peso fresco (g) lo que indica que el comportamiento de las alturas

de suspensión aplicadas en el experimento si inciden para esta variable de estudio. También se puede observar que el factor (B) densidades muestra de igual manera diferencias altamente significativas (**), es decir que las densidades utilizadas en la investigación si inciden en el peso fresco.

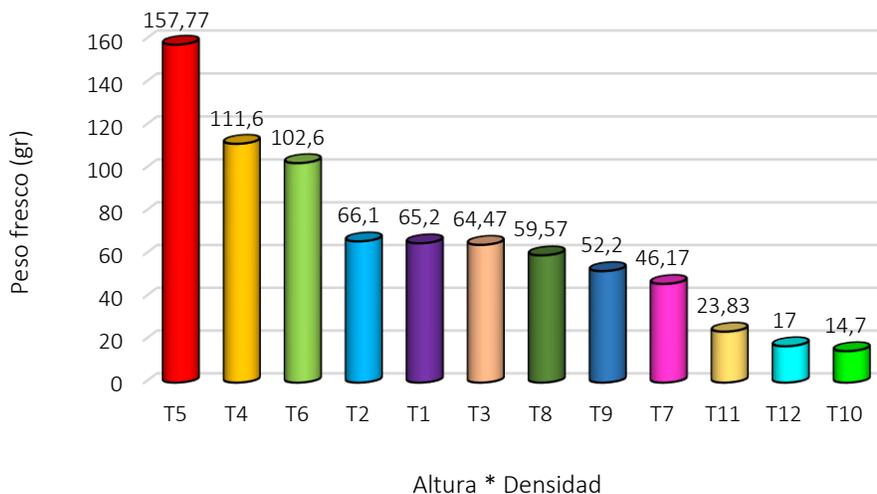


Figura 6. Comparación de medias.

La interacción de altura de suspensión a 1 cm por densidad de 20 cm (A1*B2) fue la que obtuvo mayor peso fresco con 157.77 g, esto nos dice que a una altura de 1 cm con una densidad de 20 cm hubo una buena absorción de agua y nutrientes lo cual facilitó el desarrollo de la planta. La que obtuvo el menor peso fresco fue la interacción de altura de suspensión a 5 cm por densidad de 15 cm (A3*B1) con 14.7 gr, lo que indica que a una altura de 5 cm con densidad de 15 cm la raíz no absorbe el agua y los nutrientes de manera adecuada lo cual afectó al desarrollo de la planta.

La disminución o la falta de oxígeno en la zona radicular puede llegar a provocar hipoxia y producir daños en la planta disminuyendo y retardando su crecimiento y ganancia de peso (Zheng *et al.*, 2007).

Rendimiento (g/m²)

Realizando el cálculo de lechugas hidropónicas por metro cuadrado (Lechugas hidropónicas/m²), se tiene 22 plantas/m² en una densidad de 15 cm, 18 plantas/m² en una densidad de 20 cm y 14 plantas/m² en una densidad de 25 cm.

Tabla 2. Rendimiento

Trat	Peso planta (g)	N°planta s/m ²	Rendimiento g/m ²
T 1	62.20	22	1434.4
T 2	66.10	18	1189.8
T 3	64.47	14	902.6
T 4	111.07	22	2443.5
T 5	157.77	18	2839.9
T 6	102.60	14	1436.4
T 7	46.17	22	1015.8
T 8	59.57	18	1072.3
T 9	52.20	14	730.8
T 10	14.70	14	205.8
T 11	23.86	18	429.5
T 12	17.00	22	374.0

El T5 obtuvo el mejor rendimiento con 2839.9 g/m², seguido del T4 con 2443.5 g/m² y el T10 fue el que obtuvo el rendimiento más bajo con 205.8 g/m².

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos específicos, los resultados obtenidos de las variables de respuesta en

la presente investigación, se tiene las siguientes conclusiones

Para el factor “A” altura de suspensión se demostró tienen influencia en la aireación radicular, ya que la mayor cantidad del volumen radicular esta sumergida así las plantas puedan absorber agua y nutrientes de manera adecuada, la altura de suspensión A1 (1 cm) es la que mejor resultados obtuvo, en cambio la altura de suspensión A3 (5 cm) resultó ser la menos eficiente.

También para el factor “B” densidades de trasplante, se mostró significativo, lo cual indica que el área foliar también está muy influenciada por la distancia entre plantas que permite una mayor recepción de la luz.

Para la variable peso fresco, la altura de suspensión de 1 cm por densidad de 20 cm (A1*B2) tiene el mejor promedio 157.77 gr, en comparación a la altura de suspensión a 5 cm por densidad de 15 cm (A3*B1) con 14.7 gr.

En las variables económicas, se obtuvo una relación beneficio/costo de 1.55 en el T5 (altura de suspensión de 1 cm por densidad de 20 cm) y 1.30 en el T4 (altura de suspensión de 1 cm por densidad de 15 cm), lo cual indica que el experimento fue rentable en el tiempo de evaluación, sin embargo, en los demás tratamientos la relación beneficio/costo fue menor a 1 lo que indica que no fueron rentables.

BIBLIOGRAFÍA

- Agricultura e hidroponía. (2021) Oxígeno disuelto en hidroponía. Disponible en: <https://hannainst.ec/blog/agricultura-e-hidroponia-boletines/oxigeno-disuelto-en-hidroponia/>
- Catata, L. (2015) Tres Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) y Dos Soluciones Nutritivas en Cultivo Hidropónico, en Sistema NFT Tipo Piramidal, bajo Condiciones de Invernadero en Arequipa. Tesis. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/384/M21592.pdf?sequence=1>. Consultado: 08/09/2022.
- FAO, (2014). Anuario estadístico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe. Vol. 1, No 4, pp. 107- 108.
- Fernández, M. (2013). Efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canónigos y berros cultivados en bandejas flotantes. Tesis. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Flores, J. (2005). Carpas Solares. Técnicas de Construcción. Editorial Huellas La Paz, Bolivia. 10-28 p.
- Morgan, L. (2021). Nutrient temperature, Oxygen and Pythium in Hydroponics. (en línea). Consultado 2 diciembre 2022. Disponible en: http://www.hydromall.com/grower/pythium_in_hydroponics.html
- Resh, H. (2001). Cultivos Hidropónicos, Nuevas Técnicas de Producción. Barcelona, España: Mundi – Prensa. pp. 509.
- Santos, B. and Ríos, D. (2016). Cálculos de soluciones nutritivas. En suelos y sin suelo. Primera edición: Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. Chile.
- Urrestarazu, M. [2004]. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo. In: M. Urrestarazu (Ed.), Tratado de cultivo sin suelo. 3º Ed. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 3-37.
- Vega, A. (2013). Efecto del Ácido salicílico y estrés hídrico en la calidad de lechugas (*Lactuca sativa* L.) producidas en invernadero. Tesis Lic. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Zheng, Y., Wang, L. and Dixon, M. (2007). An upper limit for elevated root zone dissolved oxygen concentration for tomato. *Sci. Hort.* 113: 162-165.