

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Evaluación de dietas nutricionales de origen orgánico en el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*)

Kevin Ismael Robayo Cuenca

Ingeniería en Agronomía

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo

Quito, 24 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Evaluación de dietas nutricionales de origen orgánico en el cultivo
hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*)**

Kevin Ismael Robayo Cuenca

Nombre del profesor, Título académico

Antonio León, PhD

Quito, 24 de mayo de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Kevin Ismael Robayo Cuenca

Código: 00208803

Cédula de identidad: 0104927413

Lugar y fecha: Quito, 16 de mayo de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

La lechuga es una de las hortalizas de hoja más demandadas a nivel mundial. Sin embargo, los métodos de producción de este cultivo son escasos para la demanda futura del producto con el crecimiento demográfico y el agotamiento de fuentes fertilizantes de origen nitrogenados. Como consecuencia, la ineficiencia de los sistemas convencionales de producción ha llegado a producir contaminación en suelos y fuentes de agua por el uso de fertilizantes de origen sintético. En base a esto, la investigación agrícola se está enfocando en utilizar sistemas de producción más eficientes como la hidroponía y la búsqueda de fuentes orgánicas para la fertilización de los cultivos. Es por esto, el estudio tiene como objetivo determinar el efecto de la fertilización orgánica sobre la productividad en cultivo de lechuga bajo un sistema NFT. En el experimento se realizaron tres bioensayos con un diseño experimental completamente al azar donde se probó diferentes fuentes de fertilización de origen orgánico en comparación a una fertilización sintética (Hoagland). En el primer bioensayo se analizó 4 tratamientos de fuentes orgánicas simples (Dieta comercial orgánica [DCO], harina de lenteja [HL], café y agua de coco) cuantificando las variables altura de planta, número de hojas, peso fresco y tamaño radicular. Para el segundo bioensayo, se analizó 6 tratamientos de fuentes orgánicas simples (DCO, HL, ceniza con café, cal con café, café con roca fosfórica y café con sulpomag), cuantificando las variables anteriormente mencionadas más peso seco. Mientras el tercer bioensayo, se analizó 6 tratamientos compuestos de la unión de las mejores fuentes orgánicas simples de los anteriores bioensayos. Los resultados obtenidos se analizaron con ANOVA y Tukey mostrando diferencia significativa. Los datos de crecimiento y peso de la lechuga indican que las soluciones compuestas de varias fuentes orgánicas como harina de lenteja con sulpomag, roca fosfórica y café (LSRC) llegan a ser iguales a un fertilizante sintético; no obstante, con

la fertilización sintética se llega a obtener inferiores parámetros fisiológicos en contenidos de clorofila.

Palabras clave: Hidroponía, NFT, fuentes orgánicas, fuentes sintéticas.

ABSTRACT

Lettuce is one of the most demanded leafy vegetables worldwide. However, the methods of production of this crop are scarce for the future demand of the product with the demographic growth and the exhaustion of fertilizer sources of nitrogenous origin. As a consequence, the inefficiency of conventional production systems has led to contamination of soils and water sources by the use of synthetic fertilizers. Based on this, agricultural research is focusing on using more efficient production systems such as hydroponics and the search for organic sources for crop fertilization. Therefore, this study aims to determine the effect of organic fertilization on the productivity of lettuce cultivation under a NFT system. In the experiment, three bioassays were carried out with a completely randomized experimental design where different sources of organic fertilization were tested in comparison to a synthetic fertilization (Hoagland). In the first bioassay, four treatments of simple organic sources (commercial organic diet [DCO], lentil flour [HL], coffee and coconut water) were analyzed, quantifying the variables plant height, number of leaves, fresh weight and root size. For the second bioassay, 6 treatments of simple organic sources (DCO, HL, ash with coffee, lime with coffee, coffee with phosphoric rock and coffee with sulphomag) were analyzed, quantifying the variables mentioned above plus dry weight. In the third bioassay, 6 treatments composed of the union of the best simple organic sources from the previous bioassays were analyzed. The results obtained were analyzed with ANOVA and Tukey showing significant differences. The growth and weight data of lettuce indicate that the solutions composed of various organic sources such as lentil flour with sulphomag, phosphoric rock and coffee (LSRC) are equal to a synthetic fertilizer; however, with the synthetic fertilization, lower physiological parameters in chlorophyll content are obtained.

Key words: Hydroponia, NFT, organic sources, synthetic sources.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Justificación.....	13
II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Cultivo de lechuga.....	15
2.1.1. Taxonomía y fisiología.....	15
2.1.2. Manejo agronómico.....	15
2.2. Sistema hidropónico (NFT).....	16
2.3. Nutrición vegetal en hidroponía	18
2.3.1. Fertilización de origen sintético	19
2.3.2. Fertilización de origen orgánico.....	20
III. OBJETIVOS.....	22
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1. Material biológico	23
4.1.1. Lechuga de hoja (var. Bionda)	23
4.2. Manejo del experimento	23
4.2.1. Nutrient Film Technique (NFT)	23
4.2.2. Agua	24
4.2.3. Fuentes orgánicas	24
4.2.4. Soluciones orgánicas hidropónicas.....	25
4.2.4.1. Concentración de solución.....	25
4.2.4.2. Soluciones simples	25
4.2.4.3. Soluciones compuestas	25
4.2.4.4. Siembra, cultivo y condiciones de bioensayo.....	26
4.2. Métodos estadísticos	27
4.2.1. Diseño experimental y tratamientos orgánicos.....	27
V. RESULTADOS	30
5.1. Saturación de soluciones y descripción de los contenidos nutricionales.....	30
5.2. Bioensayo 1 en producción hidropónica orgánica.....	30
5.2.1. Altura de planta	31
5.2.2. Número de hojas.....	32
5.2.3. Peso fresco.....	33
5.2.4. Longitud radicular	34
5.3. Bioensayo 2 en producción hidropónica orgánica.....	35
5.3.1. Altura del cultivo.....	36
5.3.2. Número de hojas.....	37

5.3.3. Peso fresco	38
5.3.4. Peso seco	39
5.3.5. Longitud radicular	40
5.4. Bioensayo 3 en producción hidropónica orgánica.....	41
5.4.1. Altura de la planta.....	42
5.4.2. Número de hojas	43
5.4.3. Peso fresco	44
5.4.4. Peso seco	45
5.4.5. Contenido de clorofila	46
5.4.6. Longitud radicular	47
VI. DISCUSIÓN	49
VII. CONCLUSIONES	55
VIII. RECOMENDACIONES.....	56
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
X. ANEXOS.....	62
Anexo N°1 – Análisis de la varianza de la altura media de las plantas en el bioensayo 1	62
Anexo N°2 – Análisis de la varianza del número de hojas promedio en el bioensayo 1	62
Anexo N°3 – Análisis de la varianza del peso fresco promedio en el bioensayo 1	62
Anexo N°4 – Análisis de la varianza del largo de la raíz promedio en el bioensayo 1	62
Anexo N°5 - Análisis de la varianza de la altura media de las plantas en el bioensayo 2	62
Anexo N°6 – Análisis de la varianza del número de hojas promedio en el bioensayo 2	62
Anexo N°7 – Análisis de la varianza del peso fresco promedio en el bioensayo 2	62
Anexo N°8 – Análisis de la varianza del peso seco promedio en el bioensayo 2.....	63
Anexo N°9 – Análisis de la varianza del largo de la raíz promedio en el bioensayo 2	63
Anexo N°10 - Análisis de la varianza de la altura media de las plantas en el bioensayo 3	63
Anexo N°11 – Análisis de la varianza del numero de hojas promedio en el bioensayo 3	63
Anexo N°12 – Análisis de la varianza del peso fresco promedio en el bioensayo 3..	63
Anexo N°13 – Análisis de la varianza del peso seco promedio en el bioensayo 3....	63
Anexo N°14 – Análisis de la varianza del contenido SPAD promedio en el bioensayo 3	63
Anexo N°15 – Análisis de la varianza del largo de la raíz promedio en el bioensayo 3	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. – Tratamientos usados en experimentación.....	28
Tabla 2. – Contenido nutricional, conductividad y pH de soluciones.....	30
Tabla 3. – Toxicidad de los tratamientos del bioensayo 1.....	31
Tabla 4. – Toxicidad de los tratamientos del bioensayo 2.....	36
Tabla 4. – Toxicidad de los tratamientos del bioensayo 3.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de un sistema hidropónico Nutrient Film Technique	18
Figura 2. Sistema hidropónico Nutrient Film Technique	23
Figura 3. Zona foliar del cultivo de lechuga en el bioensayo 1. *DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja*	31
Figura 4. Altura de planta promedio de los tratamientos del bioensayo 1	32
Figura 5. Número de hojas promedio de los tratamientos del bioensayo 1	33
Figura 6. Peso fresco promedio de los tratamientos del bioensayo 1	34
Figura 7. Longitud de la raíz promedio de los tratamientos del bioensayo 1	35
Figura 8. Altura de planta promedio de los tratamientos del bioensayo 2	37
Figura 9. Número de hojas promedio de los tratamientos del bioensayo 2	38
Figura 10. Peso fresco promedio de los tratamientos del bioensayo 2	39
Figura 11. Peso seco promedio de los tratamientos del bioensayo 2	40
Figura 12. Longitud radicular de los tratamientos en el bioensayo 2. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja	40
Figura 13. Longitud de la raíz promedio de los tratamientos del bioensayo 2	41
Figura 14. Zona foliar de los tratamientos en el bioensayo 3. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja, RF: Roca fosfórica, LSRC: Harina de lenteja, sulphomag, roca fosfórica y café	42
Figura 15. Altura de planta promedio de los tratamientos del bioensayo 3	43
Figura 16. Número de hojas promedio de los tratamientos del bioensayo 3	44
Figura 17. Peso fresco promedio de los tratamientos del bioensayo 3	45
Figura 18. Peso seco promedio de los tratamientos del bioensayo 3	46
Figura 19. SPAD promedio de los tratamientos del bioensayo 3	47
Figura 20. Longitud de la raíz promedio de los tratamientos del bioensayo 3	48

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una hortaliza que pertenece a la familia Asteraceae. La producción mundial de esta hortaliza se enfoca en países como China y Estados Unidos. Por otra parte, los países exportadores son España, Estados Unidos y México con una productividad de 31.09, 32.38 y 23.78 ton/ha⁻¹ respectivamente. Así mismo, Ecuador tiene un total de producción de 16820,51 toneladas con un rendimiento de 7,36 ton/t/ha⁻¹ (FAO, 2023) (Saavedra, 2017). La lechuga crepa es uno de los cultivares que posee un peso fresco estimado de 300 gramos siendo un periodo vegetativo desde el trasplante a cosecha, de 100 a 105 días.

En el Ecuador no se han llegado a manejar sistemas de producción de alta precisión. Dichos sistemas se basan en la hidroponía que permite brindar a la planta un medio nutritivo sin necesidad de sustrato. Resultando en ciclos de cultivo cortos entre los 50 a 60 días para su cosecha. Considerando un ahorro de tiempo del 40% en comparación a sistemas convencionales. Además, al manejarse con una densidad de 23 plantas por metro cuadrado se obtiene un mayor rendimiento por hectárea (Sandoya y Bosques, 2020).

No obstante, una gran limitación de la producción hidropónica es el uso de agroquímicos de origen sintético como la solución madre para las plantas. Sin embargo, el cultivo de lechuga bajo este sistema es mucho más propensa a infecciones por enfermedades y plagas, lo que requiere un mayor cuidado y uso preventivo de agro insumos.

Por otro lado, el uso de fertilizantes de origen sintético es el causante principal para que este sistema no sea considerado para la producción orgánica. Esto se debe, a que la hidroponía NFT, se basa en una solución con disponibilidad total de nutrientes para el

aprovechamiento de la planta. Sin embargo, los productos orgánicos no suelen tener gran disponibilidad de nutrientes para las plantas. Cuando se usan fuentes sintéticas; da como resultado que elementos sintéticos residuales suelen ser causales de contaminación de fuentes de agua subterráneas y medios edáficos (Gilmour y Bazzani, 2019).

Además, existe un alza del precio de fertilizantes debido a la guerra entre Rusia y Ucrania. El incremento en los precios de los fertilizantes se debe a que Rusia representa el 20% de las exportaciones en este rubro nivel mundial, siendo el número uno en nitrogenados y segundo en potásicos y fosfóricos (Orozco, 2022) (TradeMap, 2021).

Por otro lado, la producción orgánica que utiliza hidroponía es un tema no suficientemente investigado. Por lo anteriormente mencionado, existe la necesidad de plantear soluciones alternativas para la nutrición vegetal en la hidroponía, basados en fuentes orgánicas disponibles para los agricultores de las diferentes regiones.

1.2. Justificación

El sector agrícola del Ecuador representa el 7,81% del PIB, mostrando un equivalente a 8410.8 millones de dólares (INEC, 2021) (Hidalgo, 2017). Siendo un sector importante en la economía del país, aunque presenta importantes pérdidas de productividad por sistemas poco eficientes. El uso de cultivares bajo sistema hidropónico es una alternativa al sistema convencional, ya que puede incrementar los rendimientos en un 45% de peso fresco. No obstante, este tipo de tecnología al poder aumentar la productividad por hectárea del cultivo también conlleva a tener un mayor uso de agro insumos como pesticidas y fertilizantes de origen sintético (Rosado, 2013).

Por otra parte, el sistema NFT puede desarrollar una mejor calidad comercial en diferentes cultivos que en sistema convencional debido a su sanidad, control total en solución y manejo adecuado del cultivo. Considerando esto, el aumento en volumen de

producción y productividad del cultivo señalan a la hidroponía como el sistema idóneo para la producción de hortalizas para consumo humano (Neocleous, Nikolaou, Ntatsi y Savvas, 2021). Considerando que los productos con enfoque de agricultura orgánica tienen un valor agregado en el mercado y que el consumo de productos en base a dicho sistema tienen una tendencia de crecimiento anual entre 5 y 10%; su implementación en el país permitiría obtener un mayor ingreso para el agricultor (Martínez, Bello, y Castellanos, 2012).

Por las razones indicadas, la producción orgánica en sistemas hidropónicos permitiría el desarrollo de sistemas sustentables y amigables con el ambiente, además de obtener un mayor beneficio al agricultor y a la salud del consumidor.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Cultivo de lechuga

2.1.1. Taxonomía y fisiología

La lechuga pertenece al orden Asterales y clase Magnoliopsida y familia Asteraceae, género *Lactuca* y especie sativa (Tropicos, 2023); emparentada estrechamente con la lechuga silvestre *Lactuca serriola*. Posee una raíz pivotante con varias ramificaciones y su longitud llega ser dentro 20 a 30 cm; su tallo es corto para la formación de hojas que llega a desarrollarse en tiempos óptimos de 70 a 80 días para completa maduración. Las hojas poseen en etapa anual una forma de roseta y su madurez le permite elaborar un abultamiento de hojas en forma de cogollo dependiendo de las variedades, las cuales pueden ser descritas como lanceoladas, oblongas, abobadas o redondas. Poseen una textura plana y rugosa con variedades de colores entre verde oscuro hasta purpura. La formación de su flor no se la puede visualizar, debido a que, se presenta una vez pasado el producto su estado comercial. Sin embargo, es una flor compuesta entre 10 a 20 floretes (Japon, 1977) (VELÁSQUEZ, 2019).

2.1.2. Manejo agronómico

El inicio de su producción empieza en vivero, donde se suele tener un porcentaje de germinación de 92% en bandejas. El periodo puede durar entre 2 a 3 semanas para la formación de raíz y primeras hojas antes del trasplante. La mezcla de los componentes de sustrato está elaborada por turba y cascajo; elementos que permiten la movilización de la zona radicular durante la germinación. (Martínez B. , 2019)

Antes de realizar trasplante, se procede a una preparación de suelo con un arado y una rastra con una incorporación de materia orgánica en campo. Dichas prácticas permiten obtener una soltura del suelo dentro de los primeros 20 y 30 cm. En este proceso se realiza surcos y la formación de hoyos para trasplante con profundidad de 4cm, con distancia de 20 o 25cm entre planta y 50cm entre surco (Saavedra, 2017). Siguiendo el

trasplante se lo realiza de forma manual o mecánica con la inserción de las plántulas en campo junto con una fertilización química.

Para el cultivo convencional de lechuga en suelo se maneja un sistema de riego por goteo, donde se colocan cintas o mangueras con goteros incluidos en líneas expuestas en campo. Su distanciamiento entre gotero se lo suele presentar cada 20 cm con una especificidad de caudal de 2 o 4 litros/hora. Los tiempos de riego bajo este sistema permiten obtener una eficiencia del uso del agua entre 95 al 100% (Liotta, 2015). Lo que permite tener un riego de precisión y reducir la formación de malezas y la competencia por el recurso hídrico.

La fertilización del cultivo se basa en un requerimiento nutricional de 203 kg de N, 57 kg de P₂O₅, 370 kg de K₂O, 176 kg de Ca, y 51 kg de Mg, valores respectivos para una hectárea de producción. Según Blanco et al, 2019; la fertilización recomendada para una producción de 45 ton/ha⁻¹, utilizando una fertilización sintética en un periodo de 10 semanas a partir del trasplante en campo.

Finalmente, su cosecha se la realiza a las 10 semanas después de trasplante tomando en cuenta los siguientes factores: altura, inocuidad del producto ante daños mecánicos, incidencia de plagas y enfermedades. Se debe considerar la suficiente madurez fisiológica para su cosecha (González & Zepeda, 2013).

2.2. Sistema hidropónico (NFT)

Un sistema hidropónico es un sistema de producción agrícola donde se tiene a la planta en crecimiento, desarrollo y producción sin necesidad de un sustrato, teniendo como tal el uso de soluciones de nutrientes minerales en agua a través de pulsos de riego (González, 2021). En sí, este es un sistema de recirculación de las soluciones que no son absorbidas por las plantas, lo cual le permite que estas retornen a un tanque de

almacenamiento y se pueda tener ahorro de recurso hídrico y fertilizantes en comparación a sistemas tradicionales.

Un sistema NFT (Nutrient Film Technique) es un sistema recirculante cerrado que brinda solución nutritiva a través de una lámina fina a la zona radicular del cultivo. Siendo así, consta de los siguientes elementos: Tanque de solución nutritiva, bomba, sistema de tuberías de recirculación y canales de crecimiento del cultivo. En primera estancia, el tamaño del tanque dependerá del número de plantas en cultivo. Así mismo, se realizarán las correcciones de conductividad eléctrica y pH ya sea de forma manual o automática. La bomba de agua será el elemento impulsador de la solución nutritiva a través del sistema de los canales del cultivo (Son J. E., 2016). Pueden ocuparse dos tipos de bombas, una con instalación sumergible que permitirá ahorrar espacio dentro de la instalación o un equipo de bombeo externo al tanque de forma terrestre. Tanto el tanque como la bomba son elementos que deben encontrarse en un nivel inferior a los canales de cultivo lo que permitirá tener una recirculación de los elementos nutritivos por la gravedad (CAJO, 2016). Otro componente es el sistema de tuberías conformado por tubos PVC y dan la unión entre tanque y canales de cultivo. Finalmente, los canales, son el lugar donde estarán sujetas las plantas a su crecimiento, desarrollo y producción. Estas estarán ubicadas en una estructura adecuada para la inserción de las plántulas en canastillas hidropónicas; donde la planta estará suspendida en una canastilla y su raíz se encuentre en contacto con la solución nutritiva. Dicha estructura de canales debe manejar una pendiente del 2% de su longitud para que la corriente de agua se maneje con una dirección de caída y se tenga un flujo a tanque del elemento hídrico no usado (Ahmed Z. , 2021).

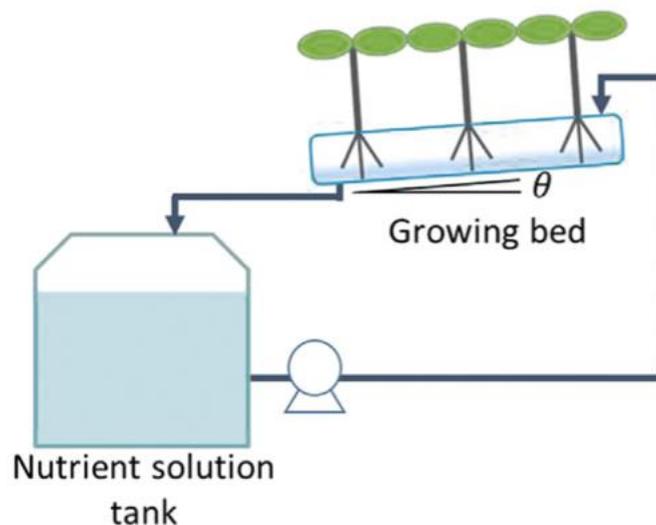


Figura 1. Diagrama de un sistema hidropónico Nutrient Film Technique

(Son, Kim, & Ahn, 2020)

2.3. Nutrición vegetal en hidroponía

La nutrición vegetal en hidroponía al realizarse a través de una solución nutritiva, se la suele preparar en base elementos solubles y de fácil absorción para el cultivo.

Basándose primordialmente en el control de macro y microelementos esenciales. Por lo tanto, se debe tener en cuenta que cada nutriente tiene una concentración y proporción adecuada para el crecimiento de la lechuga (Singh, 2018). No obstante, el cultivo durante su desarrollo llega a cambiar la solución nutritiva por el consumo de nutrientes y conduce a un desequilibrio en el sistema hidropónico recirculante.

Al considerar que la concentración de nutrientes se basa en 13 elementos y lograr una nutrición total esta es limitada por la tecnología y su coste. En sí, los sistemas hidropónicos NFT se basan en el uso de componentes reguladores como soluciones madres comerciales como Hoagland, Arnon, etc. Estas permiten mantener una regulación de los macro y microelementos en solución, al agregarlas en los tanques y poder medirlas por su conductividad eléctrica. Siendo el caso, se usa de manera mucho

más amplia un sistema de sensor de conductividad eléctrica (EC) y de nivel de agua, para controlar las concentraciones de aniones y cationes en solución en el sistema cerrado (Rosado, 2013) (Espinoza y García, 2009).

El uso de una solución madre, permite trabajar en el sistema hidropónico cerrado bajo los estándares de una cierta conductividad eléctrica para el cultivo. En el caso de la lechuga, la conductividad eléctrica de la solución nutritiva no debe superar el 1,5 dS/m (decisiemens por metro) (Carrasco y Ramírez, 2007).

2.3.1. Fertilización de origen sintético

Los fertilizantes de origen sintético son aquellos manufacturados bajo un proceso industrial, que proviene de reacciones químicas que utilizan rocas, sales y sustancias no orgánicas. En base a esto, las fuentes de comercialización de los fertilizantes se dan por medio de compuestos simples como la urea, superfosfatos, nitratos y en mezclas físicas que contengan más de un solo elemento (Ríos, Gómez, & Gutiérrez, 2019). Las mezclas físicas de nutrientes consisten en una combinación de varios fertilizantes en un solo producto, que pueda satisfacer las necesidades específicas de un cultivo (International Plan Nutrition Institute, 2012). Por lo tanto, las mezclas son modificadas con diferentes proporciones de nutrientes para condiciones particulares de cultivo, suelo y solución. En sí, los fertilizantes de origen sintético pueden ser divididos en dos categorías: compuestos y fluidos. Los compuestos son una mezcla de múltiples nutrientes dentro de una partícula sólida que contenga una mezcla promedio de nutrientes. Dentro de esta categoría pertenecen a aquellos productos de liberación lenta o también conocidos como controlados. Por otro lado, los fluidos son elaborados bajo una presentación líquida homogénea, que permite que su aplicación sea por una mezcla hídrica en tanques y su distribución sea expuesta en campo o sistemas hidropónicos (Arévalo & Castellano, 2009).

2.3.1.2. Medio nutricional de origen sintético

El cultivo de lechuga en hidroponía se maneja con fertilizantes fluidos, es decir que sean altamente solubles en agua para la circulación de la solución nutritiva. En sí, este tipo de fertilizantes solubles suelen estar compuestos de macro y micronutrientes esenciales para el desarrollo y producción del cultivo. Una de las soluciones nutritivas más utilizadas en el mercado es Hoagland. (Zandvakili, 2019). Esta solución sintética en un medio hidropónico nutritivo está compuesto de: 6,14% de nitrógeno, 8,47% de potasio, 4,73% de calcio, 0,11% de hierro, 2,55% de magnesio, 0,01% de molibdeno, 0,01% de boro, 0,007% de cobre, 0,5ppm de Manganeso, 64ppm de azufre, 31ppm de fosforo y 0,05ppm de zinc (Kane, 2006).

Su presentación comercial es una solución concentrada de nutrientes que requiere dilución en medio hídrico para efectivizar la absorción de nutrientes y evitar toxicidad del cultivo. Debido a su concentración, la recomendación técnica requiere que se diluya 1 mililitro (ml) de solución en 1 litro de agua, lo que resultará en una modificación de la conductividad eléctrica en un 1 dS/m, y dejando un pH regulado entre 6 a 7 (Microtech, 2019). Sin embargo, una vez colocada la solución en tanques es necesario una modificación de su pH en base a productos alcalinizantes o ácidos considerando el agua a utilizar para riego.

2.3.2. Fertilización de origen orgánico

La agricultura orgánica se puede definir como un sistema de manejo de producción ecológica que promueve la biodiversidad, la actividad biológica y promueva mecánicas que fomenten el ciclo de los recursos; evitando el uso de fertilizantes y agroquímicos de origen sintético (Coleman, 2012). En sí, esta definición brinda a los agricultores la posibilidad de una administración distinta en cada granja, ya que la disponibilidad de

los elementos es diferente en cada locación por las variedades de cultivos, tipos de suelo, requisitos de fertilidad y diversidad biológica.

En sí, su fertilización es limitada por la disponibilidad de nutrientes asimilables para las plantas. Principalmente el nitrógeno suele ser un nutriente limitante en la producción orgánica para hortalizas por su baja disponibilidad como elemento en materia orgánica. Siendo la fertilización un reto en la producción de alimentos bajo esta modalidad (Márquez & López, 2013).

Sin embargo, se ha demostrado que las ventas de alimentos categorizados como orgánicos han aumentado desde 2010 hasta 2021 en 26.000 millones de dólares. Lo que representa que el mercado de frutas y verduras frescas aumenten sus ganancias y los productos sean más cotizados por consumidores en comparación a la producción convencional. De tal manera, se ha visto en un estudio de la ERS que varios productos con la certificación orgánica suelen tener un margen ganancia del 20% superior (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2022). Esto se debe a que los consumidores prefieren los alimentos producidos orgánicamente debido a los puntos de vista de salud y medio ambiente.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de la fertilización orgánica sobre el crecimiento de la planta, peso y contenido de clorofila en cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico NFT

3.1.2. Objetivos específicos

- Cuantificar los parámetros nutricionales en diferentes compuestos orgánicos viables para el crecimiento y desarrollo del cultivo hidropónico de lechuga
- Desarrollar una dieta en base a diferentes compuestos orgánicos para la producción del cultivo hidropónico de lechuga
- Evaluar el crecimiento, peso y contenido de clorofila a través de diferentes dietas orgánicas y sintéticas en cultivo hidropónico NFT.

3.2. Hipótesis

- La fertilización orgánica y sintética bajo un sistema hidropónico tienen un efecto sobre diferentes variables productivas y fisiológicas en el cultivo de lechuga

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Material biológico

4.1.1. Lechuga de hoja (var. Bionda)

La variedad Bionda es una lechuga de hoja suelta. Sus hojas son verdes y rizadas; con un nivel medio de densidad foliar que puede cultivarse tanto en campo como invernadero. Su tiempo de cosecha tiene un rango de 80 a 120 días dependiendo de las condiciones climáticas. La distancia entre plantas varía entre los 25 a 30 cm, por lo que su crecimiento se ve limitado varias veces por la competencia de luz y limita su crecimiento (Reinoso y Rodríguez, 2019).

El material vegetal fue adquirido después de un período de 20 días una vez germinado. Etapa en la que las plántulas desarrollaron entre 2 a 3 hojas verdaderas y un sistema radicular adecuado para trasplante. Como tal, el material vegetal fue sembrado en bandejas de germinación con sustrato de turbera; no obstante, su trasplante a hidroponía se lo realizó por un lavado radicular con agua destilada para ser ubicadas en canastillas hidropónicas con esponjas y ser trasladadas a sistemas NFT.

4.2. Manejo del experimento

4.2.1. Nutrient Film Technique (NFT)

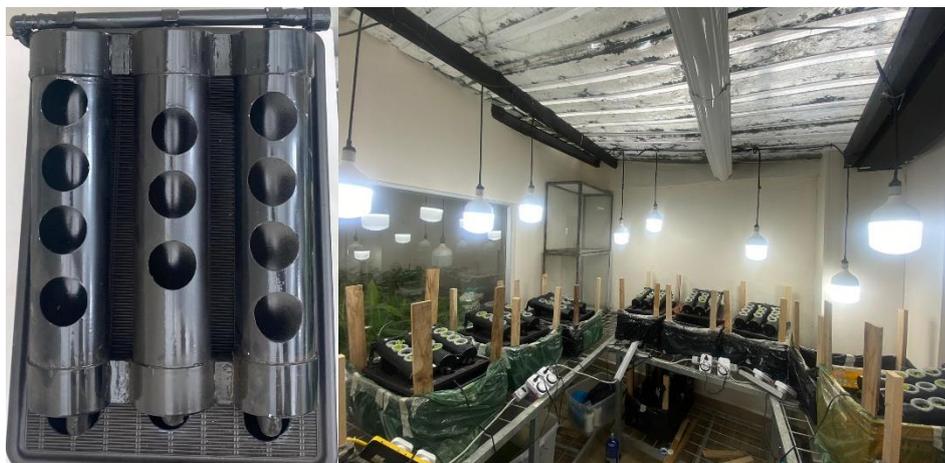


Figura 2. Sistema hidropónico Nutrient Film Technique

El experimento fue implementado bajo un sistema NFT hidropónico. Sistema de cultivo que permite el crecimiento de las plantas sin suelo, constando de un flujo de agua laminar recirculante con nutrientes. El sistema empleado constó de tres componentes: una bomba, un tanque y canales de cultivo (Harb, 2012). La bomba funciona como componente de propulsión para la solución en los canales del cultivo y consta de un tanque con capacidad de 20 litros. La capacidad de los canales de cultivo era de un total 11 plantas por cada sistema NFT.

4.2.2. Agua

El medio hídrico usado en el experimento fue agua de botellón, previamente purificada. Este tipo de agua fue la idónea a emplear debido a su nivel bajo de carga iónica que corresponde a valores de conductividad eléctrica entre 0,18 y 0,24 dS/m, con un pH de 7 a 7,5.

4.2.3. Fuentes orgánicas

Las fuentes orgánicas utilizadas en este experimento se basaron en productos de fácil adquisición en la región sierra del Ecuador y autorizados para la producción orgánica (USDA,2019). Las fuentes orgánicas con un tamaño de partícula inferior a 2 milímetros (mm) en tamizado no tuvieron un pretratamiento; no obstante, otros compuestos granulados como sulpomag y roca fosfórica fueron previamente molidos y tamizados en mallas de 2mm. Dichos compuestos fueron: Leche, suero de leche, agua de coco, bebida de soya orgánica, café, harina de coco, harina de trigo, avena, harina de chocho, harina de lenteja, harina de frejol, ceniza, cal, roca fosfórica, sulpomag y helecho acuático (*Azolla sp.*).

4.2.4. Soluciones orgánicas hidropónicas

4.2.4.1. Concentración de solución

En primera estancia las soluciones fueron preparadas en el laboratorio. El proceso constó en preparar una solución de 100ml en frascos de vidrio transparente con tapa roscada. La solución se la preparó en base a parámetros de saturación, esto con el objetivo de que las partículas tamizadas sean lo suficiente solubles y puedan permanecer suspendidas en el medio acuoso. Para esta fase se empleó agua destilada, más los diferentes elementos orgánicos mencionados anteriormente de manera individual en frascos separados. Se midió la concentración de, nitrato, potasio, calcio, conductividad y pH con los dispositivos Horiba (Japón). Esto con el objetivo de conocer los macro y micronutrientes por cada solución preparada antes de proceder al bioensayo.

4.2.4.2. Soluciones simples

Considerando los porcentajes de saturación precalculados en laboratorio, se procedió a llevar a una mayor escala la preparación de cada solución. La primera fase de experimentación constaba en evaluar elementos de manera simple. Donde se pesó en una balanza de precisión en gramos la cantidad de soluto por cada elemento. Con la cantidad exacta de soluto para una cantidad de 18 litros de agua, se mezcló en el tanque hidropónico. El agua empleada en esta fase era de botellón. Una vez mezclada el soluto con el recurso hídrico se lo utilizó en bioensayos con las plántulas durante 1 mes de cultivo. Los porcentajes de saturación empleados por cada elemento en las soluciones se puede ver en el Tabla. 1.

4.2.4.3. Soluciones compuestas

Las soluciones compuestas conformaron la segunda fase de experimentación. Esta fase constaba en utilizar los elementos simples que hayan tenido un grado de efectividad en

producción moderadamente aceptable en estándares de crecimiento, peso fresco y número de hojas. Considerando aquellos elementos que hayan tenido resultados significativos, se realizó una mezcla entre las soluciones con mayor producción en proporciones equivalentes a la saturación. Una vez ajustada la mezcla y la saturación, se pesó los componentes en una balanza de precisión y dicha cantidad se las preparo para una combinación de 18 litros de agua más solutos. Esta combinación fue utilizada para los bioensayos en plántulas durante 1 mes de cultivo.

4.2.4.4. Siembra, cultivo y condiciones de bioensayo

Se realizó un total de 3 siembras, el 12 de octubre del 2022, el 18 de noviembre del 2022 y el 10 de febrero del 2023 dentro del invernadero de la USFQ. Las condiciones ambientales del invernadero en temperatura oscilaban entre $20^{\circ}\text{C} \pm 3$ y $80\% \pm 10$ de humedad relativa. La primera siembra constó de 9 tratamientos, la segunda de 12 tratamientos y la tercera de 7 tratamientos. Cada una de las siembras contó con un control positivo y uno negativo; el positivo era el uso de la solución Hoagland y el negativo era el uso de agua. La solución hoagland (producto comercial Newponia) empleada pertenece a la compañía Microtech y se manejaba dicho cultivo con una conductividad eléctrica de 1 dS/m y un pH entre 5,5 y 6,5. Por otra parte, los tratamientos orgánicos en hidroponía se los manejo con un pH entre 5,5 y 6,5, pero con una conductividad eléctrica variable y se le proporcionaba un aumento de soluto base a razón de 10 gramos por semana. Esto con el objetivo de mantener condiciones estables en cultivo en cuestión del requerimiento nutricional. Se proporcionó en un periodo fotosintético de 12 horas luz día con focos LED; contando con un tiempo de riego de 12 horas día, esto en pulsos de riego de 30 minutos cada dos horas.

4.2.Métodos estadísticos

4.2.1. Diseño experimental y tratamientos orgánicos

El diseño experimental utilizado fue Completamente al Azar (DCA). Se contó, con tres siembras dando un total de 3 bioensayos. El primer bioensayo se realizó 9 tratamientos, el segundo con 12 y el tercero de 7 (tabla 1). El primer bioensayo consistió en 10 repeticiones y un total de 90 unidades experimentales (Tabla. 2). El segundo bioensayo utilizó 8 repeticiones 96 unidades experimentales (Tabla. 3) y el tercer bioensayo empleó 11 repeticiones dando un total de 77 unidades experimentales (Tabla. 4) ubicadas de manera aleatoria en el invernadero de la USFQ.

Cada unidad experimental consistió en una canastilla plástica hidropónica con una planta de lechuga variedad Bionda que estaba ubicada en el sistema hidropónico NFT.

Los tratamientos utilizados y sus respectivas concentraciones fueron las siguientes:

Tabla 1. – Tratamientos usados en experimentación

Productos		Concentración de fuente usada en solución acuosa (%)	Referencia
Bioensayo 1			
1	Hoagland	0.10	(Singh et al, 2018)
2	Dieta comercial orgánica (DCO)	0.30	(Davalos, 2022)
3	Harina de lenteja (HL)	1.00	(Rodriguez, 2022)
4	Bebida de soya	26.67	(Rodriguez, 2022)
5	Café	1.00	(Kasongo y Verdoodt, 2010)
6	Leche	14.00	(Qiao y Zhao, 2021)
7	Suero de leche	1.00	(Qiao y Zhao, 2021)
8	Agua de coco	13.00	(Winarto & Teixeira, 2015)
9	Harina de trigo	1.00	(Rodriguez, 2022)
Bioensayo 2			
1	Hoagland	0.10	(Singh et al, 2018)
2	Agua	100.00	(Rodriguez, 2022)
3	Dieta comercial orgánica (DCO)	0.30	(Davalos, 2022)
4	Harina de lenteja (HL)	1.00	(Rodriguez, 2022)
5	Suero de leche	1.00	(Qiao y Zhao, 2021)
6	Leche en polvo	1.00	(Qiao y Zhao, 2021)
7	Harina de frejol	1.00	(Rodriguez, 2022)
8	Ceniza y café	1.00	(Pradhan y Holopainen, 2009)
9	Cal y café	1,00 y 1,00	(OCHMIAN, 2012)
10	Café y roca fosforica	1,00 y 1,50	(Rehman & Qayyum, 2020)
11	Café y sulphomag	1,00 y 1,50	(McLaurin & Reeves, 2009)
12	Harina de chocho	1.00	(Rodriguez, 2022)
Bioensayo 3			
1	Hoagland	0.10	(Singh et al, 2018)
2	Agua	100.00	(Rodriguez, 2022)
3	Dieta comercial orgánica (DCO)	0.30	(Davalos, 2022)
4	Azolla sp.	11.59	(Azab & Salah, 2020)
5	Harina de lenteja, sulphomag, roca fosfórica y café (LSRC)	1,38; 1,38 ; 1,38 y 1,38	
6	Harina de lenteja y sulphomag	2,50y 2,50	
7	Harina de lenteja y roca fosfórica (HL y RF)	1,38 y 1,38	

*Las concentraciones de la tabla 1 son la saturación máxima por cada fuente en una solución de agua.

Las variables analizadas se basaron en parámetros productivos y fisiológicos de los tratamientos en los 3 diferentes bioensayos. Para el bioensayo 1 se registraron las siguientes variables: longitud foliar en centímetros (cm), longitud radicular (cm), numero de hojas, peso fresco en gramos (gr). En el bioensayo 2 se registró las variables antes mencionadas más peso seco (gr). Por otro lado, el bioensayo 3 se cuantificó todas las variables productivas más un parámetro fisiológico adicional como es el contenido de clorofila (medición cuantificada por la intensidad verde por la transmisión de luz de 650nm).

Las variables métricas se las midieron con una regla de 30 cm y la zona foliar se la midió desde la base de la planta central hasta la zona apical. Por otro lado, la zona

radicular se la midió desde la base hasta el ápice radicular. El número de hojas se lo registro de forma manual. El peso fresco se lo obtuvo pesando la planta una vez cosechada en una balanza analítica de laboratorio. Para el peso seco se procedió previamente a secar las plantas cosechadas en un horno a 75°C durante 24 horas. Una vez deshidratadas se obtuvo el peso seco del tratamiento. Finalmente, la clorofila se la midió con ayuda del equipo SPAD (Konica Minolta, Japón).

Para cada uno de los bioensayos se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) y prueba de significancia Tukey para determinar la diferencia significativa entre tratamientos.

V. RESULTADOS

5.1. Saturación de soluciones y descripción de los contenidos nutricionales

En las soluciones preparadas en laboratorio, se observó los parámetros de conductividad, pH, nitratos en partes por millón (ppm), calcio (ppm) y potasio. Las soluciones hidropónicas descritas a continuación se las realizaron en base a los parámetros de saturación y fueron medidas por los equipos Horiba LAQUATwin.

Tabla 2. – Contenido nutricional, conductividad y pH de soluciones

Productos	Concentración de fuente usada en solución acuosa (%)	(ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Conductividad (ds/m)	pH	Referencia	
Bioensayo 1								
1	Hoagland	0.10	601	42	59	1,0	2,9	(Singh et al. 2018)
2	Dieta comercial orgánica (DCO)	0.30	670	27	55	1,6	8,4	(Davalos, 2022)
3	Harina de lenteja (HL)	1.00	130	16	0	0,2	6,8	(Rodríguez, 2022)
4	Bebida de soya	26.67	158	43	3	1,0	6,3	(Rodríguez, 2022)
5	Café	1.00	260	41	>1	0,5	5,5	(Kasongo y Verdoort, 2010)
6	Leche	14.00	140	54	15	1,1	6,7	(Qiao y Zhao, 2021)
7	Suero de leche	1.00	180	96	44	1,2	5,9	(Qiao y Zhao, 2021)
8	Agua de coco	13.00	27	9	2	1,0	5,0	(Winarto & Teixeira, 2015)
9	Harina de trigo	1.00	160	7	Ur	0,1	6,5	(Rodríguez, 2022)
Bioensayo 2								
1	Hoagland	0.10	601	42	59	1,0	2,9	(Singh et al. 2018)
2	Agua	100.00	22	>1	25	0,7	8,0	(Rodríguez, 2022)
3	Dieta comercial orgánica (DCO)	0.30	670	27	55	1,6	8,4	(Davalos, 2022)
4	Harina de lenteja (HL)	1.00	130	16	0	0,2	6,8	(Rodríguez, 2022)
5	Suero de leche	1.00	180	96	44	1,2	5,9	(Qiao y Zhao, 2021)
6	Leche en polvo	1.00	62	22	15	0,3	7,0	(Qiao y Zhao, 2021)
7	Harina de frejol	1.00	180	19	0	0,1	7,0	(Rodríguez, 2022)
8	Ceniza y café	1.00	48	>1	67	0,4	7,5	(Pradhan y Holopainen, 2009)
9	Cal y café	1,00 y 1,00	46	40	27	0,7	7,8	(OCHMIAN, 2012)
10	Café y roca fosfórica	1,00 y 1,50	15	9	56	0,4	7,3	(Rehman & Qayyum, 2020)
11	Café y sulphomag	1,00 y 1,50	40	37	41	1,6	7,3	(McLaurin & Reeves, 2009)
12	Harina de chocho	1.00	110	>1	13	0,1	6,1	(Rodríguez, 2022)
Bioensayo 3								
1	Hoagland	0.10	601	42	59	1,0	2,9	(Singh et al. 2018)
2	Agua	100.00	22	>1	25	0,7	8,0	(Rodríguez, 2022)
3	Dieta comercial orgánica (DCO)	0.30	670	27	55	1,6	8,4	(Davalos, 2022)
4	Azolla sp.	11.59	190	88	120	1,1	6,4	(Azab & Salah, 2020)
5	Harina de lenteja, sulphomag, roca fosfórica y café (LSRC)	1,38; 1,38 ; 1,38 y 1,38	34	60	13	4,2	6,5	
6	Harina de lenteja y sulphomag	2,50y 2,50	35	910	14	6,8	7,2	
7	Harina de lenteja y roca fosfórica (HL y RF)	1,38 y 1,38	14	180	37	2,5	7,8	

*Las concentraciones de la tabla 1 son la saturación máxima por cada soluto en una solución de agua. Además, indica la cantidad de nitrato, potasio y calcio, conductividad y pH de cada solución empleada durante el experimento.

5.2. Bioensayo 1 en producción hidropónica orgánica

En el Bioensayo 1 se realizó una experimentación con un total de 9 tratamientos. En la tabla 3 se indica cuáles de ellos fueron fitotóxicos y no para el cultivo. Aquellos no fitotóxicos fueron los que se cuantificó altura de planta, número de hojas, peso fresco y longitud radicular.

Tabla 3. – Toxicidad de los tratamientos del bioensayo 1

	Productos	Observaciones de toxicidad
1	Hoagland	No tóxico
2	Dieta comercial orgánica (DCO)	No tóxico
3	Harina de lenteja (HL)	No tóxico
4	Bebida de soya	Tóxico
5	Café	No tóxico
6	Leche	Tóxico
7	Suero de leche	Tóxico
8	Agua de coco	No tóxico
9	Harina de trigo	Tóxico

5.2.1. Altura de planta



Figura 3. Zona foliar del cultivo de lechuga en el bioensayo 1. *DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja*

Los resultados en este bioensayo para la variable de altura de planta mostraron diferencias significativas para los diferentes tratamientos utilizando la prueba de Tukey. En la figura 4 para esta variable se muestran los resultados, sobresaliendo los tratamientos control Hoagland y Harina de lenteja (HL) y no hubo un incremento de la altura para la dieta comercial orgánica (DCO), café y agua de coco. Así como el menor crecimiento de la planta fue con agua de coco. El coeficiente de variación fue de 23,98% y el error estándar de las medias fue de 0,92.

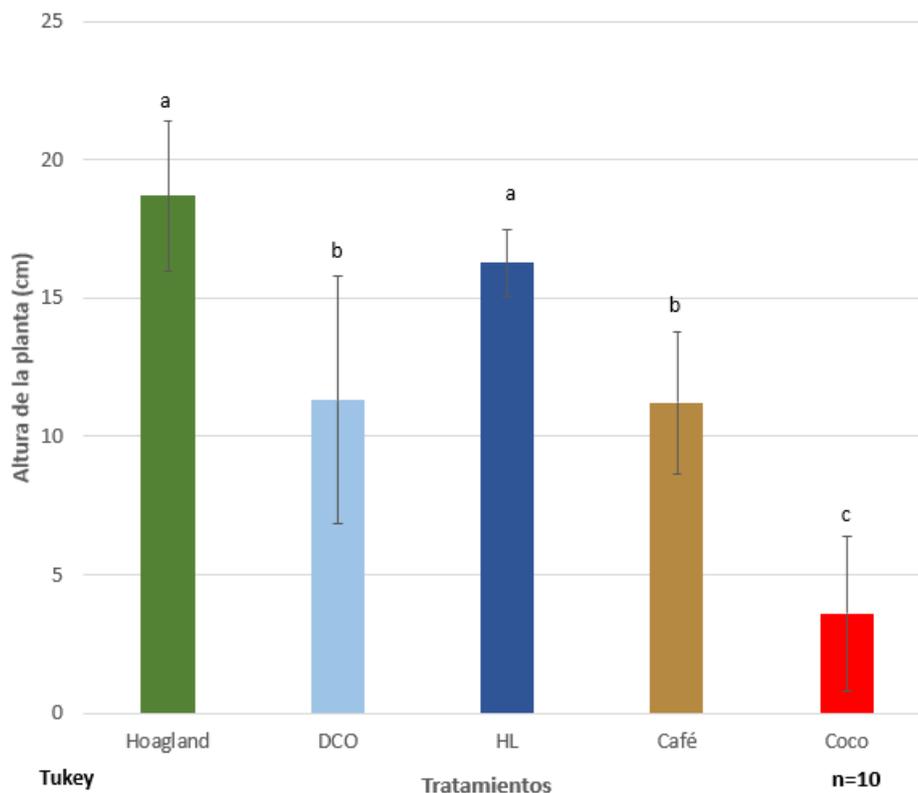


Figura 4. Altura de planta promedio de los tratamientos del bioensayo 1. *DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja* La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.2.2. Número de hojas

Los resultados según el ANOVA (Anexo N°2) para la variable de número de hojas mostró diferencia significativa para esta variable. No hubo diferencia significativa entre la solución Hoagland y DCO, harina de lenteja, café; el tratamiento con el menor número de hojas fue con agua de coco. (Figura 5) El coeficiente de variación es 28,88% y un error estándar de las medias de 0,66.

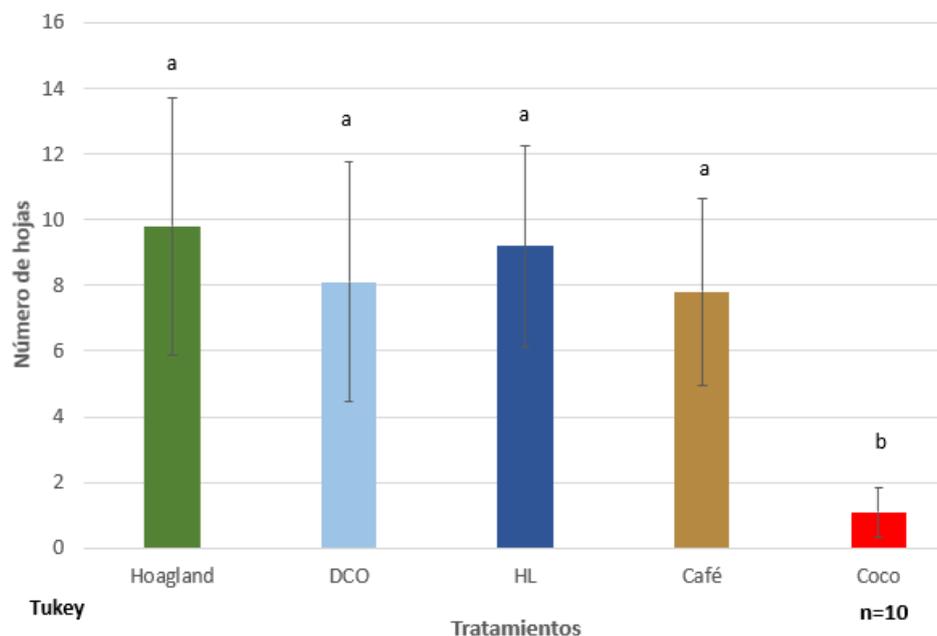


Figura 5. Número de hojas promedio de los tratamientos del bioensayo 1. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.2.3. Peso fresco

Según el Anova (Anexo N°3) para la variable peso fresco se encontró una diferencia significativa para tratamientos. Los tratamientos Hoagland, DCO, Harina de lenteja y café ocupan el mismo rango de significación según la prueba de Tukey. No obstante, el tratamiento de agua de coco fue la peor solución para su desarrollo y pesó. (Figura 6) El coeficiente de variación fue de 76,02% y un error estándar de las medias de 1,13.

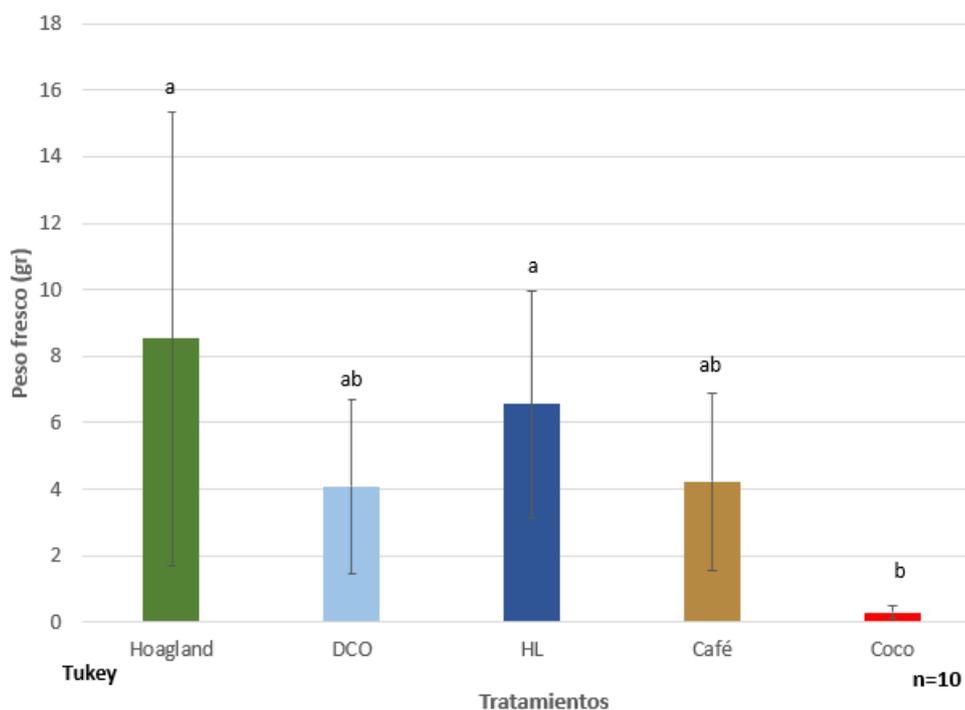


Figura 6. Peso fresco promedio de los tratamientos del bioensayo 1. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.2.4. Longitud radicular

Los resultados en base al ANOVA (Anexo N°4) para la variable de longitud radicular mostro diferencia significativa entre tratamientos. Los tratamientos Hoagland, DCO, harina de lenteja y café según la prueba de Tukey mostraron ser estadísticamente iguales. Sin embargo, el tratamiento con de agua de coco mostro un menor crecimiento radicular. (Figura 7) El coeficiente de variación fue de 48,39% y un error estándar de las medias de 1,09.

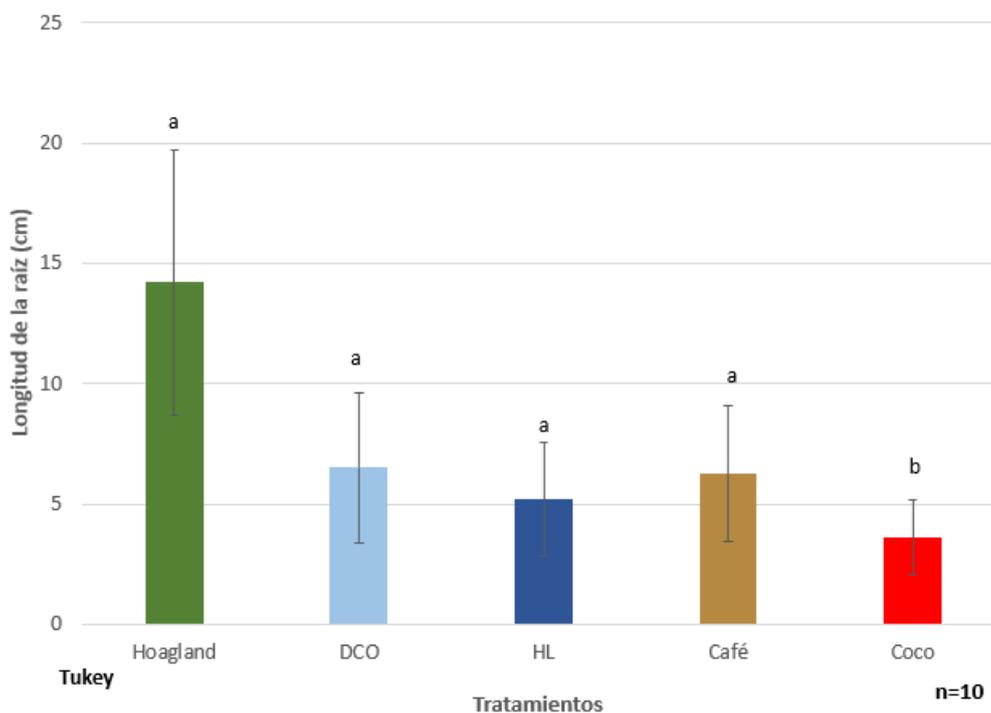


Figura 7. Longitud de la raíz promedio de los tratamientos del bioensayo 1. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.3. Bioensayo 2 en producción hidropónica orgánica

En el Bioensayo 2 se realizó una experimentación con un total de 12 tratamientos. En la tabla 4 se indica cuáles de ellos fueron tóxicos y no tóxicos para el cultivo. Aquellos no tóxicos fueron los que se cuantificó altura de planta, número de hojas, peso fresco, peso seco y longitud radicular.

Tabla 4. – Toxicidad de los tratamientos del bioensayo 2

Productos		Observaciones de toxicidad
1	Hoagland	No tóxico
2	Agua	No tóxico
3	Dieta comercial orgánica (DCO)	No tóxico
4	Harina de lenteja (HL)	No tóxico
5	Suero de leche	Tóxico
6	Leche en polvo	Tóxico
7	Harina de frejol	Tóxico
8	Ceniza y café	No tóxico
9	Cal y café	No tóxico
10	Café y roca fosforica	No tóxico
11	Café y sulphomag	No tóxico
12	Harina de chocho	Tóxico

5.3.1. Altura del cultivo

Los resultados en este bioensayo para la variable de altura de planta muestran una diferencia significativa entre los tratamientos según el ANOVA y la prueba de Tukey (Anexo N°5). La figura 8 indica que el mejor tratamiento en altura de la planta fue Hoagland, seguido de los tratamientos DCO y harina de lenteja. Sin embargo, los demás tratamientos no mostraron una diferencia significativa en el crecimiento foliar del cultivo. El coeficiente de variación fue de 17,04% y un error estándar de las medias de 0,5.

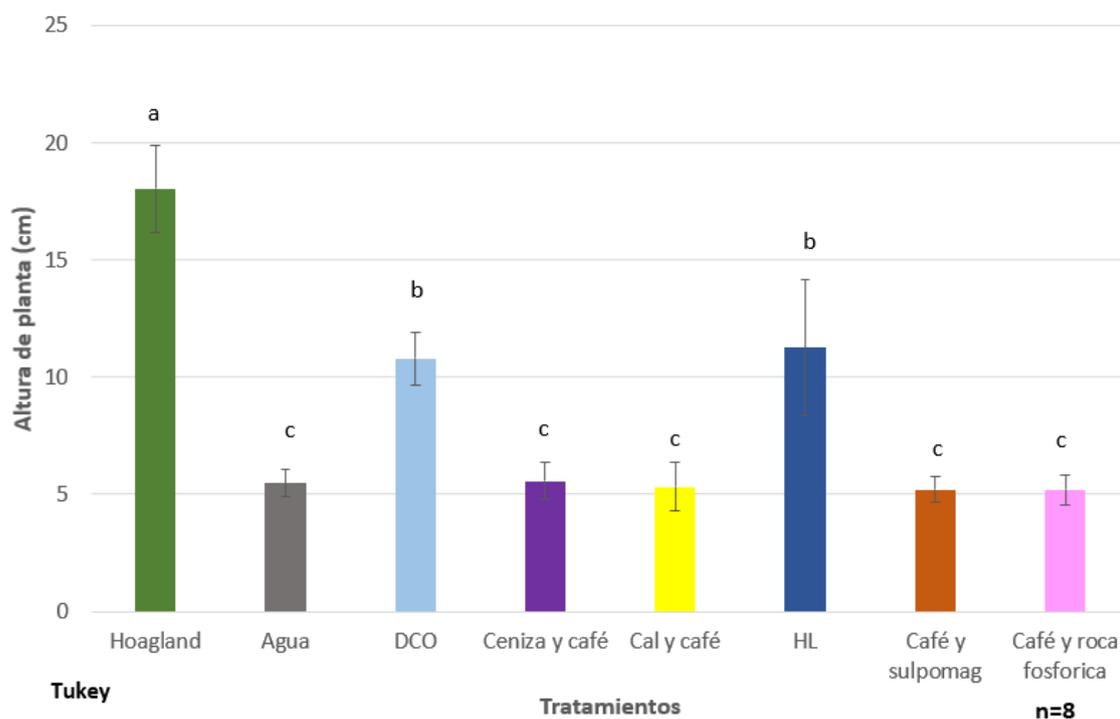


Figura 8. Altura de planta promedio de los tratamientos del bioensayo 2. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.3.2. Número de hojas

Según el ANOVA (Anexo N°6) para la variable número de hojas se encontró una diferencia significativa para tratamientos. Los tratamientos Hoagland y harina de lenteja mostraron según la prueba de Tukey ser estadísticamente mejores según la figura 9. Además, los tratamientos control como agua y cal con café mostraron ser estadísticamente inferiores en número de hojas. El coeficiente de variación fue de 17,65 y el error estándar de las medias de 0,45.

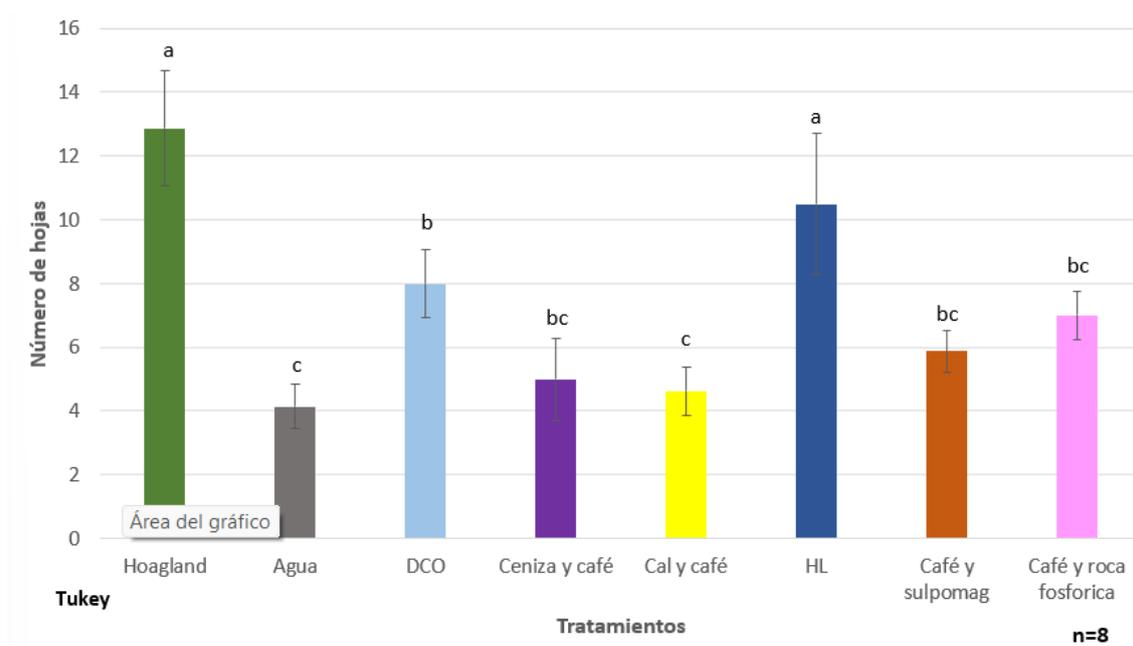


Figura 9. Número de hojas promedio de los tratamientos del bioensayo 2. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.3.3. Peso fresco

Los resultados según el ANOVA (Anexo N°7) para la variable de peso fresco mostraron diferencia significativa entre tratamientos. Los mejores tratamientos según la prueba de Tukey fueron Hoagland y Harina de lenteja, los cuales mostraron un aumento del peso fresco más alto en comparación a los demás tratamientos. Sin embargo, los tratamientos con menor peso fresco fueron agua, ceniza con café y cal con café según la figura 10. El coeficiente de variación fue 38,31% y un error estándar de las medias de 0,57.

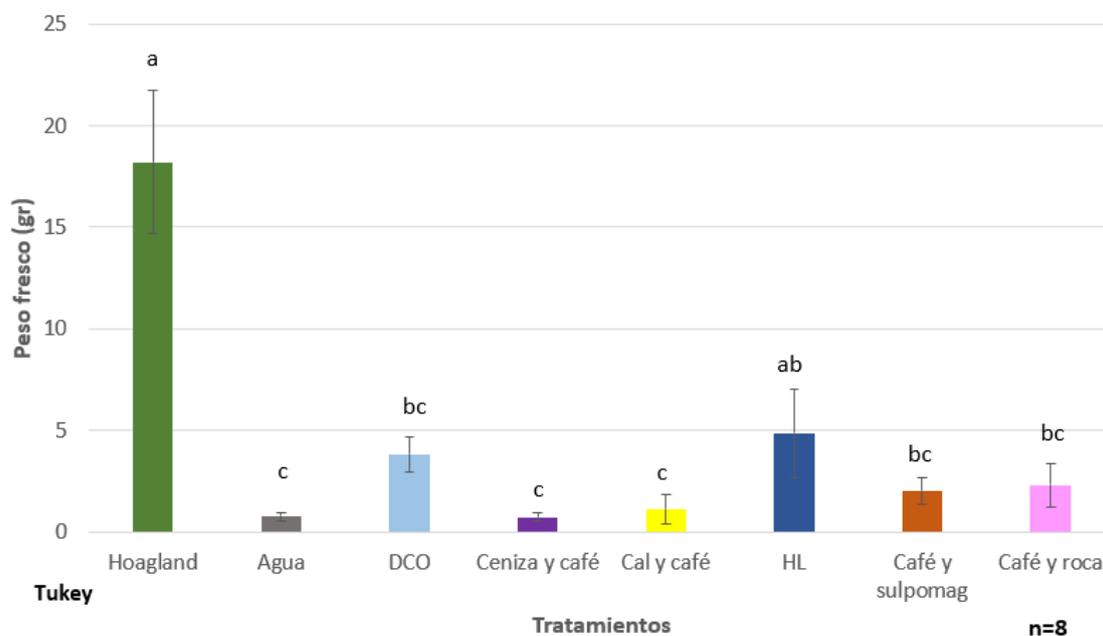


Figura 10. Peso fresco promedio de los tratamientos del bioensayo 2. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.3.4. Peso seco

Los resultados para la variable peso seco mostraron diferencia entre los tratamientos según el Anova y la prueba de Tukey. (Anexo N°8). La figura 11 mostró que Hoagland fue el que obtuvo mayor peso seco, siendo los otros 7 tratamientos con pesos secos similares. El coeficiente de variación fue de 50,29% y un error estándar de las medias de 0,094.

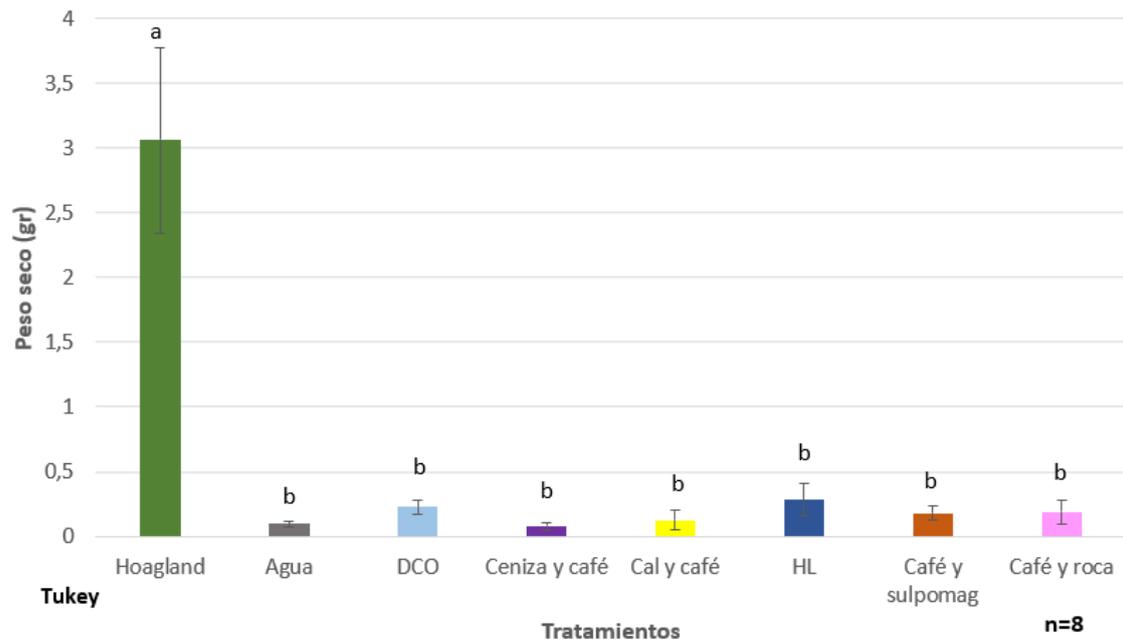


Figura 11. Peso seco promedio de los tratamientos del bioensayo 2. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.3.5. Longitud radicular



Figura 12. Longitud radicular de los tratamientos en el bioensayo 2. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja

Según el Anova (Anexo N°9) para la variable de longitud radicular se encontró diferencia significativa para tratamientos; en base a la prueba de Tukey, los mejores

tratamientos para el desarrollo radicular del cultivo fueron Café con roca fosfórica, DCO, café con sulphomag, ceniza con café, cal con café y Hoagland. Por otra parte, los tratamientos agua, y lenteja fueron aquellos con menor longitud radicular. El coeficiente de variación fue 26,06% y un error estándar de las medias de 1,23.

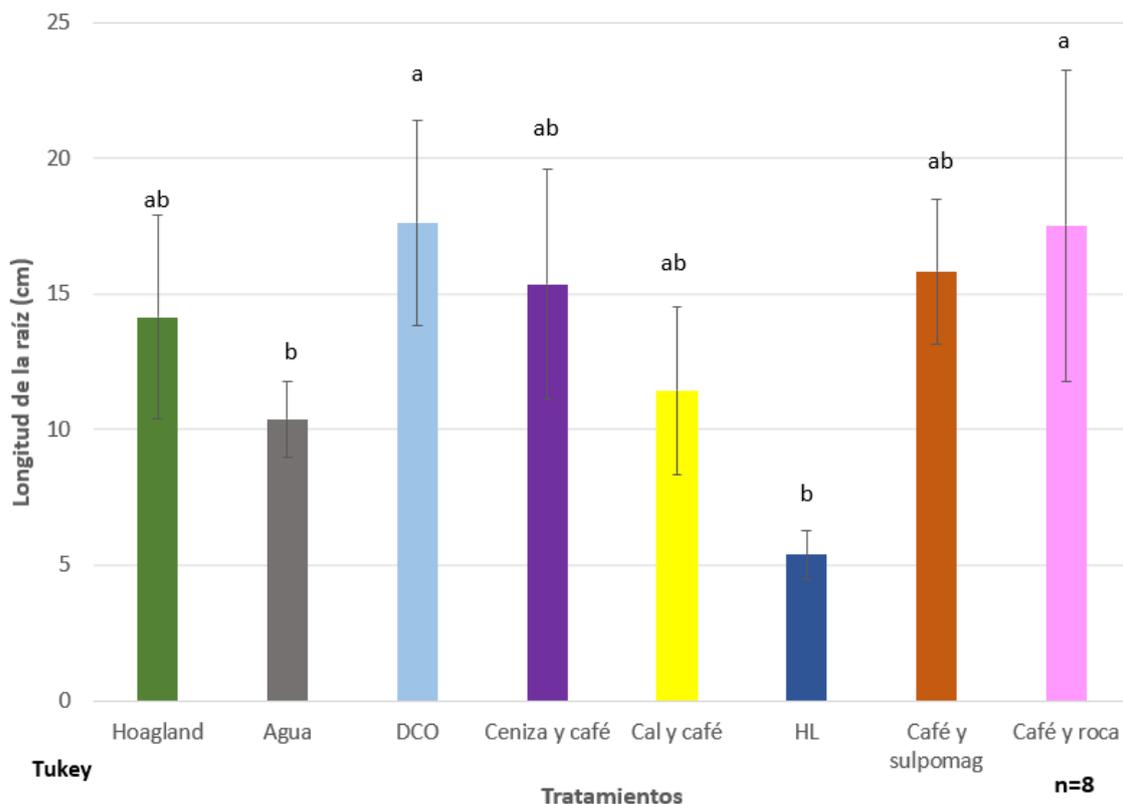


Figura 13. Longitud de la raíz promedio de los tratamientos del bioensayo 2. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones

5.4. Bioensayo 3 en producción hidropónica orgánica

En el Bioensayo 2 se realizó una experimentación con un total de 12 tratamientos. En la tabla 4 se indica cuáles de ellos fueron tóxicos y no tóxicos para el cultivo. Aquellos no tóxicos fueron los que se cuantificó altura de planta, número de hojas, peso fresco, peso seco y longitud radicular.

Tabla 4. – Toxicidad de los tratamientos del bioensayo 3

Productos		Observaciones de toxicidad
1	Hoagland	No tóxico
2	Agua	No tóxico
3	Dieta comercial orgánica (DCO)	No tóxico
4	Azolla sp.	No tóxico
5	Harina de lenteja, sulphomag, roca fosfórica y café (LSRC)	No tóxico
6	Harina de lenteja y sulphomag	Tóxico
7	Harina de lenteja y roca fosfórica (HL y RF)	No tóxico

5.4.1. Altura de la planta

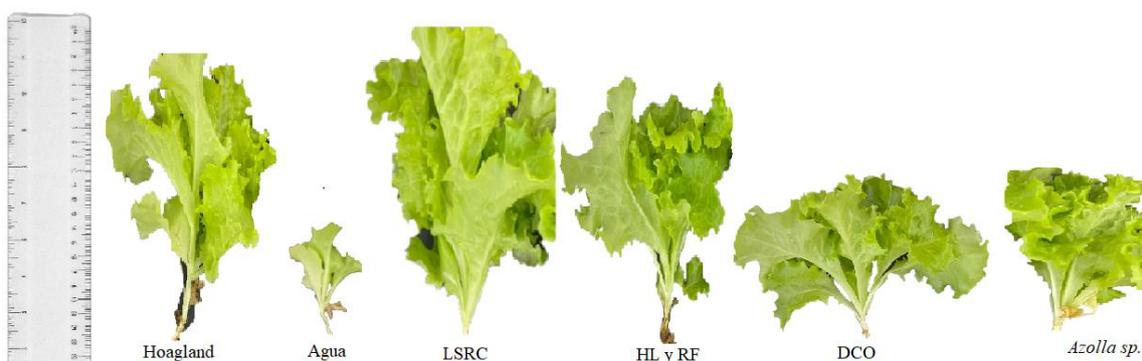


Figura 14. Zona foliar de los tratamientos en el bioensayo 3. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja, RF: Roca fosfórica, LSRC: Harina de lenteja, sulphomag, roca fosfórica y café.

Según el ANOVA (Anexo N°10) para la variable de altura de la planta se encontró diferencia significativa para tratamientos. En base a la prueba de Tukey los mejores tratamientos fueron Hoagland, Azolla sp, Harina de lenteja con roca fosfórica (HL y RF) y harina de lenteja con sulphomag, roca fosfórica y café (LSRC). Por otro lado, los tratamientos agua y DCO fueron aquellos con menor desarrollo en altura de planta. El coeficiente de variación fue de 16,53% y un error estándar de las medias de 0,51.

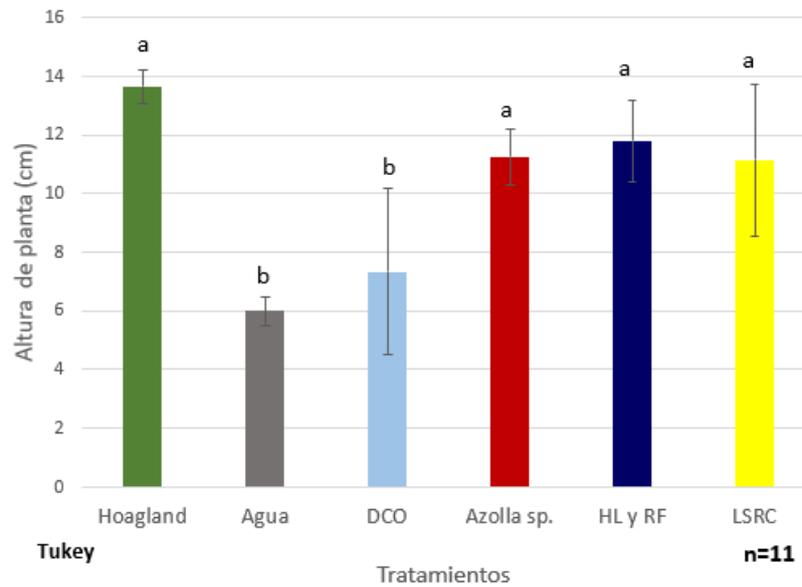


Figura 15. Altura de planta promedio de los tratamientos del bioensayo 3. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja, RF: Roca fosfórica, LSRC: Harina de lenteja, sulpomag, roca fosfórica y café. * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones.

5.4.2. Número de hojas

Los resultados para la variable número de hojas mostraron diferencia entre los tratamientos según el ANOVA y la prueba de Tukey (Anexo N°11). La figura 16 mostró que los tratamientos Azolla sp, HL y RF, LSRC, son aquellos con mayor número de hojas, siendo agua, Hoagland y DCO número de hojas similares. El coeficiente de variación fue 24,23% y el error estándar de las medias de 0,51.

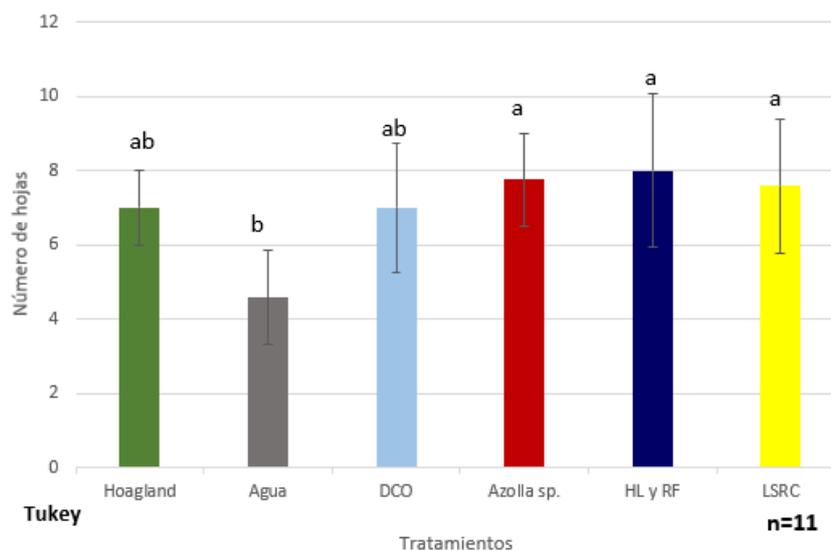


Figura 16. Número de hojas promedio de los tratamientos del bioensayo 3. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja, RF: Roca fosfórica, LSRC: Harina de lenteja, sulphomag, roca fosfórica y café. * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones.

5.4.3. Peso fresco

Para la variable peso fresco, los resultados mostraron una diferencia significativa entre tratamientos según el ANOVA y la prueba de Tukey (Anexo N°12). El mejor tratamiento fue LSRC, por otro lado, los otros 5 tratamientos tuvieron un menor desarrollo. El coeficiente de variación fue de 68,13% y el error estándar de las medias de 0,76.

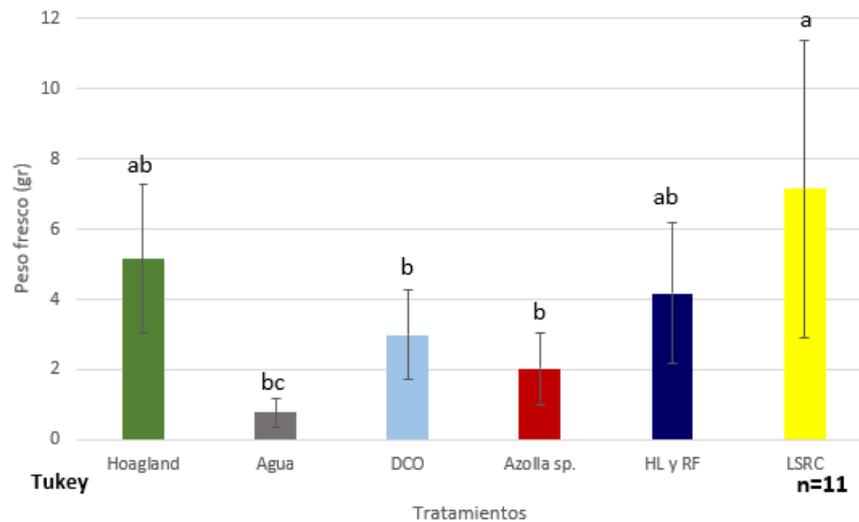


Figura 17. Peso fresco promedio de los tratamientos del bioensayo 3. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja, RF: Roca fosfórica, LSRC: Harina de lenteja, sulphomag, roca fosfórica y café. * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones.

5.4.4. Peso seco

Según el Anova (Anexo N°13) para la variable peso seco se encontró diferencia significativa para tratamientos; en base a la prueba de Tukey el mejor tratamiento para peso seco fue LSRC, por otra parte, los otros 5 tratamientos obtuvieron menores pesos secos (Figura 18). El coeficiente de variación fue 58,15% y el error estándar de las medias de 0,04.

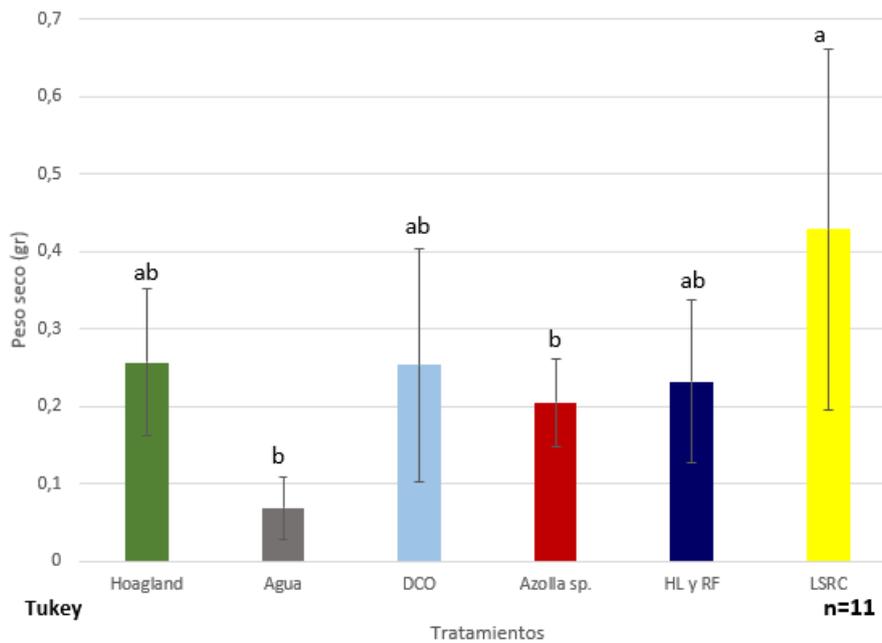


Figura 18. Peso seco promedio de los tratamientos del bioensayo 3. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja, RF: Roca fosfórica, LSRC: Harina de lenteja, sulpomag, roca fosfórica y café. * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones.

5.4.5. Contenido de clorofila

Según el ANOVA (Anexo N°14) para la variable contenido de clorofila se encontró diferencia significativa para tratamientos; en base a la prueba de Tukey los mejores tratamientos fueron LSRC y HL con RF. Por otro lado, los otros 4 tratamientos presentaron contenidos de clorofila menores. El coeficiente de variación fue de 15,22% y un error estándar de las medias de 0,77.

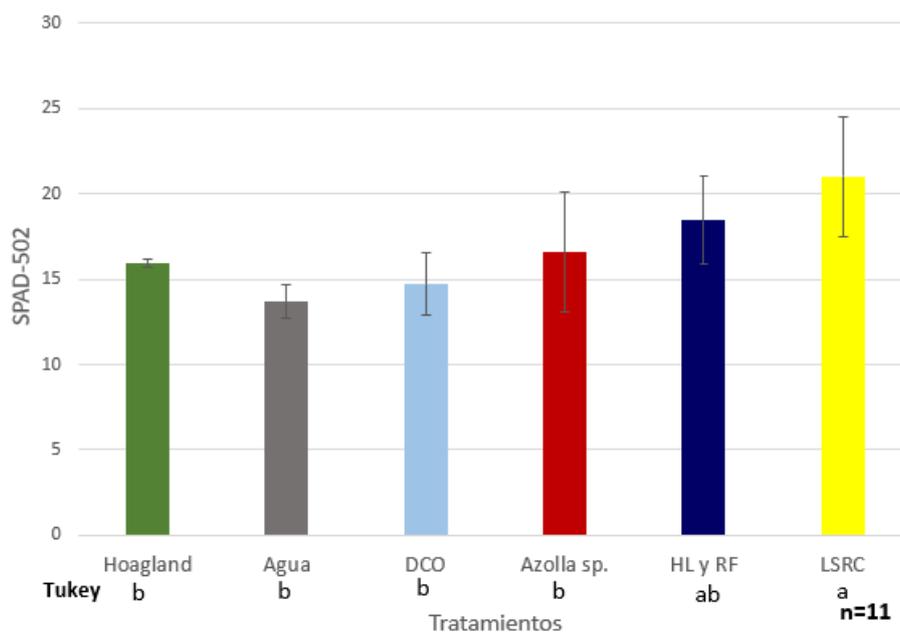


Figura 19. SPAD promedio de los tratamientos del bioensayo 3. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja, RF: Roca fosfórica, LSRC: Harina de lenteja, sulphomag, roca fosfórica y café. * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones.

5.4.6. Longitud radicular

Para la variable longitud radicular, según el ANOVA y la prueba de Tukey se encontró diferencia significativa entre tratamientos (Anexo N°15). El mejor tratamiento fue Hoagland; por otra parte, los otros 5 tratamientos tuvieron un menor desarrollo radicular. El coeficiente de variación fue de 25,38% y el error estándar de las medias de 0,71.

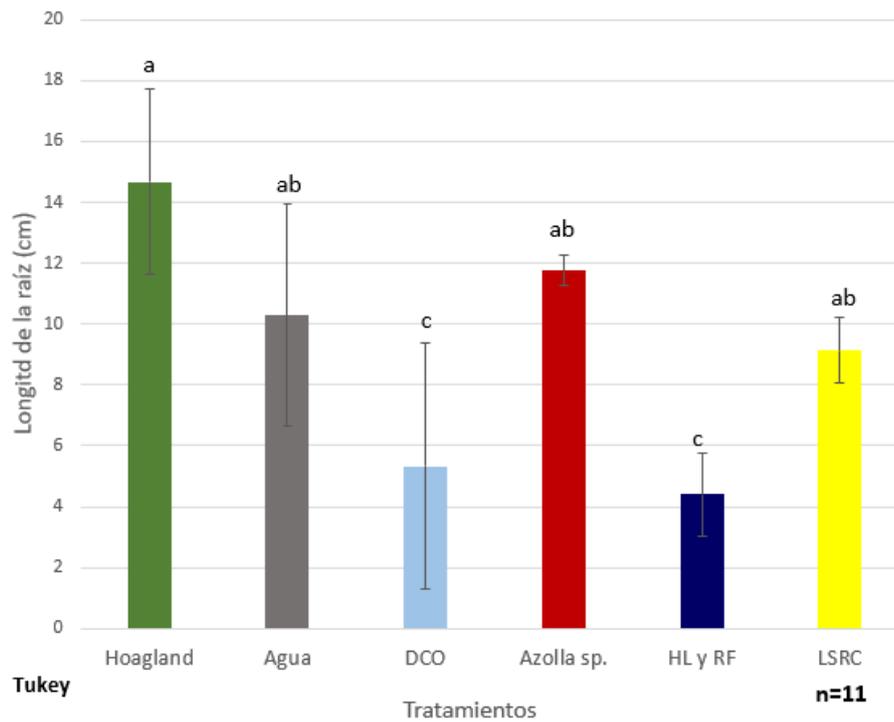


Figura 20. Longitud de la raíz promedio de los tratamientos del bioensayo 3. * DCO: Dieta comercial orgánica, HL: Harina de lenteja, RF: Roca fosfórica, LSRC: Harina de lenteja, sulpomag, roca fosfórica y café. * La figura contiene barras de la desviación estándar en cada uno de los tratamientos y la diferencia significativa por la prueba de Tukey al 95%. *n: número de repeticiones.

VI. DISCUSIÓN

En el bioensayo 1 se evaluó un experimento con 9 tratamientos. Los cuales correspondían a Hoagland, dieta orgánica comercial (DCO), harina de lenteja, bebida de soya, café, leche, suero de leche, agua de coco y harina de trigo. No obstante, se descartó bebida de soya, leche, suero de leche y harina de trigo por pudrición de raíces, marchitamiento superior al 60% de las hojas o muerte del cultivo en general. La evaluación con los 5 tratamientos seleccionados se cuantificó la altura de planta, número de hojas, peso fresco y longitud radicular.

En el caso de la variable altura de planta. El mejor tratamiento fue la solución Hoagland (Control) con un valor de $18,69 \pm 2,71$ cm promedio. Por otra parte, el mejor tratamiento orgánico fue harina de lenteja con $16,26 \pm 1,24$ cm. Para la variable número de hojas, se observó que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos Hoagland, DCO, HL y café con valores $9,8 \pm 3,91$; $8,1 \pm 3,65$; $9,2 \pm 3,06$ y $7,8 \pm 2,82$ hojas respectivamente. Según una evaluación realizada por Zeniab et al, 2021; que comparó en un sistema hidropónico utilizando una solución nutritiva de origen orgánico en comparación con una solución de origen sintético en el crecimiento en el cultivo de lechuga; los resultados indican que la altura de la planta y número de hojas a la cuarta semana fue significativamente igual y los resultados de este estudio muestran que no hubo diferencia significativa para las dos variables. Para estas mismas variables en el bioensayo 1, se encontraron similares respuestas a los tratamientos empleados, lo que coincide con los resultados obtenidos por Zeniab.

Para la variable peso fresco y longitud de raíz no se observó diferencia significativa para los tratamientos Hoagland, DCO, HL y café. No obstante, el tratamiento de agua de coco presentó un menor peso fresco y longitud radicular. Los resultados de este tratamiento concuerdan con el reporte de Picado, 1996, considera que el agua de coco es un medio óptimo para estudios de laboratorio por sus propiedades para el crecimiento

fúngico, bacteriano, y larvas de frutos. Para los índices de nitrógeno y fosforo los estudios realizados por Picado son similares a los obtenidos en la presente investigación. Lo que incidiría en el bajo desarrollo foliar y radicular que mostró el cultivo en el experimento.

En el bioensayo 2 se evaluó un experimento con 12 tratamientos. Los cuales correspondían a Hoagland, agua, dieta orgánica comercial (DCO), harina de lenteja (HL), suero de leche, leche en polvo, harina de frejol, ceniza con café, café con roca fosfórica, café con sulpomag y harina de chocho. No obstante, se descartó los tratamientos con suero de leche, leche en polvo, harina de frejol y harina de chocho porque presentaron pudrición de raíces, marchitamiento superior al 60% de las hojas. En la evaluación con los 8 tratamientos seleccionados se cuantificó altura de planta, número de hojas, peso fresco, peso seco y longitud radicular.

Para la variable altura de planta. El mejor tratamiento fue Hoagland con un valor promedio de $18,03 \pm 1,85$ cm. Por otro lado, los mejores tratamientos de origen orgánico fueron DCO y HL con valores de $10,77 \pm 1,13$ cm y $11,24 \pm 2,89$ cm respectivamente. Para el peso fresco el mejor tratamiento fue Hoagland con un valor de $18,18 \pm 3,54$ gr y el mejor orgánico fue HL con $4,84 \pm 2,19$ gr. En el caso de la variable peso seco Hoagland fue el mejor tratamiento con un valor de $3,06 \pm 0,71$ gr, mientras que todos los tratamientos orgánicos fueron significativamente inferiores.

Según Fontana et al, 2018, al realizar una caracterización fisicoquímica y evaluación sensorial de lechuga cultivada en tres sistemas de cultivo: hidroponía convencional, orgánica y sistema tradicional del cultivo. Los resultados de la producción orgánica según la prueba de Tukey eran significativamente inferiores a la hidroponía convencional en las variables altura de la planta y peso fresco. Así mismo, las variables altura de planta, peso fresco y peso seco para el bioensayo 2, se encontraron similares

respuestas a los tratamientos seleccionados, coincidiendo con lo reportado por Fontana et al, 2018.

Además, según Ezziddine et al, 2021, evaluaron el cultivo hidropónico de lechuga con nutrientes orgánicos a partir de lodos acuícolas. Encontró que la producción orgánica en promedio era inferior en un 16% de la materia fresca en comparación con la fertilización sintética. De acuerdo con ambos autores los resultados obtenidos son muy semejantes a los resultados obtenido en el presente estudio. Cabe recalcar que los parámetros productivos como altura de planta, peso fresco y peso seco en los tratamientos orgánicos fueron menores que la fertilización sintética en el bioensayo 2.

Para la variable número de hojas se observó que los mejores tratamientos fueron Hoagland con $12,87 \pm 1,8$ y HL con $10,5 \pm 2,2$ hojas, siendo ambos significativamente iguales. Según Pordeus et al, 2020; determino la respuesta de crecimiento del cultivo hidropónico de lechuga con la aplicación del fertilizante orgánico VIUSUD agro.

Encontraron que la altura de la planta a la cuarta semana de cosecha fue de 18,88 cm y el número de hojas de 8. Tomando en cuenta que estos resultados fueron obtenidos de la aplicación del VIUSUD agro en comparación con HL se observó un resultado semejante en el número de hojas promedio por planta. Siendo HL un fertilizante simple con una buena respuesta en el número de hojas por planta del cultivo de lechuga.

Por otra parte, la variable longitud de la raíz, los mejores tratamientos fueron café con roca fosfórica, café con sulpomag, café con cal, café con ceniza, DCO y Hoagland con valores $17,5 \pm 5,73$; $15,81 \pm 2,67$; $11,43 \pm 3,10$; $15,35 \pm 4,23$; $17,62 \pm 3,78$ y $14,13 \pm 3,76$ cm. Según lo reportado por Chávez, 2015; evaluó el efecto del guano de islas y de roca fosfórica incubadas en microorganismos en el cultivo de lechuga. Sus resultados indican que el uso de roca fosfórica incrementa el desarrollo radicular del cultivo, así como su producción. Considerando que el tratamiento café con roca fosfórica fue el que

brindo el mayor crecimiento radicular en la presente investigación, concuerda los resultados de longitud de raíz obtenidos en este experimento con Chavez.

En el bioensayo 3 se evaluó un experimento con 7 tratamientos. Los cuales correspondían a Hoagland, agua, dieta comercial orgánica (DCO), Azolla sp, harina de lenteja con sulpomag, roca fosfórica y café (LSRC), harina de lenteja con roca fosfórica (HL con RF) y harina de lenteja con sulpomag. No obstante, se eliminó el tratamiento harina de lenteja con sulpomag por problemas de pudrición de raíces y marchitamiento superior al 60% de las hojas. En los tratamientos seleccionados se cuantificó la altura de planta, número de hojas, peso fresco, peso seco, longitud radicular y SPAD.

En la variable altura de planta los mejores tratamientos fueron Hoagland, Azolla sp, HL con RF y LSRC con valores de $13,66 \pm 0,58$; $11,25 \pm 0,95$; $11,8 \pm 1,39$ y $11,14 \pm 2,61$ cm respectivamente. Los 4 tratamientos según la prueba de Tukey son significativamente iguales. Para la variable número de hojas los mejores tratamientos fueron LSRC, HL y RF, Azolla sp, Hoagland y DCO con valores $7,57 \pm 1,81$; $8 \pm 2,05$; $7,75 \pm 1,25$, 7 ± 1 y $7 \pm ,73$. Según Phibunwatthanawong et al, 2019, realizaron una evaluación del abono orgánico en el cultivo de lechuga bajo sistema hidropónico. En el experimento el fertilizante orgánico a base de residuos de destilería, melaza y hojas de caña de azúcar fue aquel que tuvo mayor altura de planta y número de hojas en comparación con el fertilizante sintético. Comparando los resultados de las variables altura de planta y numero de hojas del bioensayo 3 con lo obtenido por Phibunwatthanawong indican que los fertilizantes orgánicos compuestos coinciden en los dos estudios. Así mismo, los tratamientos orgánicos combinados brindaron crecimiento productivo en altura de planta y número de hojas igual al tratamiento sintético, siendo una alternativa viable para la producción de hortalizas en hidroponía.

Estas combinaciones orgánicas como LSRC que es la más compleja le permite al cultivo suplementar sus necesidades nutricionales de manera óptima.

Para la variable peso fresco los mejores tratamientos fueron LSRC, HL con RF y Hoagland con valores de $7,14 \pm 4,24$; $4,17 \pm 2,01$ y $5,15 \pm 2,11$ gramos respectivamente. Sin embargo, para la variable peso seco los mejores tratamientos fueron LSRC, HL y RF, DCO y Hoagland con valores de $0,43 \pm 0,24$; $0,23 \pm 0,11$; $0,25 \pm 0,15$ y $0,25 \pm 0,09$ gramos respectivamente. Según Shinohara et al. 2011, en un experimento de mineralización microbiana de nitrógeno orgánico en nitrato para permitir el uso de fertilizante orgánico en hidroponía. El uso del fertilizante orgánico con inóculo llegó a tener una mayor producción de peso fresco. En base a lo reportado por Shinohara et al, en comparación con los resultados obtenidos en esta investigación se puede destacar que las variables de peso fresco y seco son influenciadas en gran medida por la nutrición orgánica que llega a complementar de gran manera la necesidad nutricional del cultivo. Finalmente, las variables de peso fresco y seco los resultados del bioensayo 3 coinciden con lo reportada por Shinohara.

En cuanto a la variable longitud radicular, los mejores tratamientos fueron Hoagland, agua, Azolla sp, y LSRC con valores de $14,67 \pm 3,05$; $10,28 \pm 3,05$; $11,75 \pm 0,5$ y $9,14 \pm 1,07$ cm respectivamente. Por otra parte, la variable de medición de la clorofila (SPAD) se observó que los mejores tratamientos fueron los orgánicos en comparación al sintético y fueron LSRC y HL con RF con valores de $21,01 \pm 3,52$ y $18,46 \pm 2,53$ SPAD-502. Según una evaluación realizada por Zeniab et al, 2021; que compararon en un sistema hidropónico utilizando una solución nutritiva de origen orgánico con una solución de origen sintético en el crecimiento del cultivo de lechuga; los resultados

indican que el contenido de clorofila en el tratamiento orgánico era significativamente mayor al inorgánico. Además, los resultados indican que la dieta orgánica provocó un menor desarrollo radicular del cultivo, pero con una baja significancia. Analizando las variables longitud radicular y contenido de clorofila, los resultados del bioensayo coinciden con lo reportada por Zeniab.

En base a los bioensayos realizados se observó que algunos de los tratamientos fueron descartados por producir pudrimiento de la zona de radicular del cultivo y un marchitamiento severo. Sin embargo, esto puede atribuirse con una posible toxicidad del medio de cultivo donde los elementos no estuvieron disponibles para la planta en la solución. Así mismo, Shinohara et al. 2011, utilizando un inoculo de suelo de roble y una base de pescado y cal para fertilizante, encontraron que la aplicación directa del fertilizante sin previa fermentación de bacterias causa un marchitamiento serio del cultivo de lechuga por toxicidad.

Dentro de la producción hidropónica un factor crucial es la inocuidad del medio de cultivo. No obstante, en la producción orgánica no se tendría el mismo efecto que al usar un fertilizante sintético tanto por la emisión por gases como por la limpieza de los sistemas hidropónicos. Las mezclas compuestas de varios elementos como el LSRC presento mayor inocuidad para la producción hidropónica orgánica.

VII. CONCLUSIONES

- Dentro del experimento, los tratamientos Hoagland (sintético) y HL con RF y LSRC aportaron la mayor cantidad de nutrientes para el adecuado desarrollo del cultivo en cuanto a la variable altura de planta.
- Respecto a la variable número de hojas, los mejores tratamientos orgánicos fueron Azolla sp ($7,75 \pm 1,25$), LSRC ($7,57 \pm 1,81$) y HL con RF ($8 \pm 2,05$) que mostraron ser potencialmente comparables con los resultados obtenidos por Hoagland (7 ± 1).
- Al analizar la variable peso fresco, los mejores tratamientos orgánicos fueron LSRC ($7,14 \pm 4,24$ gr) y HL con RF ($4,17 \pm 2,01$ gr). Dichas dietas nutricionales mostraron ser estadísticamente iguales que el fertilizante sintético comercial Hoagland ($5,15 \pm 2,11$ gr).
- Para la variable peso seco, los mejores tratamientos orgánicos fueron LSRC ($0,43 \pm 0,23$ gr), HL con RF ($0,23 \pm 0,11$ gr) y DCO ($0,25 \pm 0,15$ gr). Dichas dietas nutricionales mostraron ser estadísticamente iguales que el fertilizante sintético comercial Hoagland ($0,25 \pm 0,09$ gr).
- En la variable longitud radicular, los mejores resultados se obtuvieron en el bioensayo 2 con roca fosfórica y sulpomag, obteniendo un valor de $17,5 \pm 5,73$ cm y $15,81 \pm 2,67$ cm. Siendo una dieta altamente competitiva con el desarrollo radicular obtenido con la fertilización sintética ($14,13 \pm 3,76$ cm).
- Para la variable fisiológica cantidad de clorofila media en unidades SPAD, el experimento mostró que los tratamientos en el bioensayo 3 HL con RF y LSRC, tienen el mayor contenido de clorofila.
- Tras la experimentación realizada en los 3 bioensayos, se puede concluir que el mejor tratamiento orgánico fue LSRC y podría ser una dieta potencial para la

producción de hortalizas de hoja bajo la estandarización de la producción orgánica.

VIII. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomendaría realizar un mayor análisis de macro y micronutrientes de las soluciones utilizadas en esta experimentación para fuentes como fósforo, amonio, azufre y hierro.
- Se recomendaría probar un periodo de fermentación previo de los elementos orgánicos antes de ser evaluados al medio hidropónico como sería el caso de lácteos y harinas como el frejol que tiene gran potencial.
- Se recomendaría realizar pruebas en sistema hidropónicos en campo para probar la efectividad de los diferentes tratamientos.
- Se recomienda aumentar el tamaño de la muestra para una futura investigación con el objetivo de disminuir la desviación estándar y error expuesto en cada tratamiento.
- Para un futuro estudio se recomienda aumentar tamaño muestra y evaluar en más repeticiones los mejores tratamientos obtenidos en el presente estudio.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, Z. (2021). *Evaluation of Lettuce (Lactuca sativa L.) Production under Hydroponic System: Nutrient Solution Derived from Fish Waste vs. Inorganic Nutrient Solution*. Obtenido de United Arab Emirates University: <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/9/292>
- Ahmed, Z. F., Alnuaimi, A., Askri, A., & Tzortzakis, N. (MDPI). *Evaluation of Lettuce (Lactuca sativa L.) Production under Hydroponic System: Nutrient Solution Derived from Fish Waste vs. Inorganic Nutrient Solution*. Obtenido de horticult: 2021
- Arévalo, G., & Castellano, M. (2009). *REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO Y APORTE DE NUTRIENTES DEL SUELO*. Obtenido de Zamorano: https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_6_Manual_Fertilizantes_y_Enmendadas..pdf
- Azab, & Salah. (2020). *Physiological Behavior of the Aquatic Plant Azolla sp. in Response to Organic and Inorganic Fertilizers*. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/7/924>
- Blanco M., C. C. (2019). *Aspectos nutricionales del cultivo de lechuga*. Obtenido de Instituto de Investigaciones Agropecuarias: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6810>
- CAJO, A. (2016). *PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA (Lactuca sativa L), BAJO EL SISTEMA NFT, CON TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS*. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23421/1/Tesis-136%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20413.pdf>
- Carrasco, G., Ramírez, P., & Vogel, H. (2007). *EFEECTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA SOBRE EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE ACEITE ESENCIAL EN ALBAHACA CULTIVADA EN NFTI*. Obtenido de Universidad de Talca: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292007000200007
- Chávez, V. (2015). *EL EFECTO EN EL CULTIVO DE LECHUGA DEL GUANO DE ISLAS Y DE LA ROCA FOSFÓRICA INCUBADOS EN MICROORGANISMOS*. Obtenido de Universidad de Piura: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2778/MAS_GAA_024.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Coleman, P. (2012). *Guide for Organic Crop Producers*. Obtenido de USDA: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/GuideForOrganicCropProducers.pdf>
- Davalos, R. (2022). *Soluciones organicas comerciales para Ecuador*. Quito.
- Espinoza, J., & García, F. (2009). *Uso eficiente de nutrientes*. Costa Rica: IPNI.
- Ezziddine, M., Liltved, H., & Seljåsen, R. (2021). *Hydroponic Lettuce Cultivation Using Organic Nutrient Solution from Aerobic Digested Aquacultural Sludge*. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1484>
- FAO. (2023). *Crops and livestock products*. Obtenido de FAOSTAT: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

- Fontana, L., Rossi, C., Hubinger, S., & Ferreira, M. (2018). *Physicochemical characterization and sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems*. Obtenido de Horticultura brasileira: <https://sci-hub.hkvisa.net/10.1590/s0102-053620180104>
- Gilmour, D., Bazzani, C., Nayga, R., & Snell, H. (2019). *Do consumers value hydroponics? Implications for organic certification*. Obtenido de Agricultural Economics Volume 50, Issue 6: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/agec.12519>
- González, C. (2021). *Manejo agronómico en cultivos de lechuga (Lactuca sativa L.) y pepino (Cucumis sativus L.) en la finca Pandora- Municipio de Tipitapa-Managua. Nicaragua*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA: <https://repositorio.una.edu.ni/4349/1/tnf01g6431.pdf>
- González, L., & Zepeda, A. (2013). *RENDIMIENTO DE CINCO VARIEDADES DE LECHUGA Lactuca sativa L. TIPO GOURMET CICLO PRIMAVERA-VERANO*. Obtenido de UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ: https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3477/IAFIGO_U01301.pdf?sequence=1
- Harb, A. (2012). *Técnica de película de nutrientes como sistema hidropónico: una guía práctica para cultivar tus propias plantas de forma fácil, saludable, fresca y de bajo costo*. Obtenido de Universidad de Damanshour : https://www.researchgate.net/publication/232659094_Nutrient_Film_Technique_as_a_Hydroponic_System_A_practical_guide_to_grow_your_own_plants_eas_y_healthy_fresh_and_low_cost
- Hidalgo, J. (2017). *La situación actual de la sustitución de insumos agroquímicos por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola*. Obtenido de Universidad Andina Simón Bolívar: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6095/1/T2562-MRI-Hidalgo-La%20situacion.pdf>
- INEC. (2021). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua, 2020*. Obtenido de INEC: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf
- International Plan Nutrition Institute. (2012). *4R de la nutrición de plantas*. EE.UU: IPNI.
- Japon, J. (1977). *La Lechuga*. Obtenido de MAPA: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1977_10.pdf
- Kane, C. (2006). *Nutrient Solution and Solution pH Influences on Onion Growth and Mineral Content*. Obtenido de Journal of Plant Nutrition : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160500477028>
- Kasongo, Verdoodt, Kanyankagote, Baert, & Ranst. (2010). *Coffee waste as an alternative fertilizer with soil improving properties for sandy soils in humid tropical environments*. Obtenido de British society of soil science: <https://bsss-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1475-2743.2010.00315.x>
- Liotta, M. (2015). *Riego por goteo*. Obtenido de INTA: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Márquez, C., & López, S. (2013). *FERTILIZACIÓN ORGÁNICA: UNA ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE CHILE PIQUÍN BAJO CONDICIONES*

- PROTEGIDAS*. Obtenido de Universidad Juárez Autónoma de Tabasco: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v19n3/v19n3a2.pdf>
- Martínez, B. (2019). *EVALUACION DEL BIOSOL GENERADO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS, COMO BIOFERTILIZANTE EN EL CULTIVO DE LECHUGA (Lactuca sativa)*. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29476/1/Tesis-229%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20630.pdf>
- Martínez, L., Bello, P., & Castellanos, Ó. (2012). *Sostenibilidad y Desarrollo: El valor agregado de la agricultura orgánica*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <https://issuu.com/biogestion/docs/agriculturaorganica>
- McLaurin, W., & Reeves, W. (2009). *How to Convert an Inorganic Fertilizer Recommendation*. Obtenido de UGA: https://s3.amazonaws.com/nast01.ext.exlibrisgroup.com/01GALI_UGA/storage/alma/85/F8/E2/3F/4E/E8/73/45/34/90/6C/04/43/44/1C/89/C853.pdf?response-content-type=application%2Fpdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Date=20230517T153641Z&X-Amz-SignedHeader
- Microtech. (2019). *Newponia - Hoagland*. Obtenido de Microtech: <https://www.microtech.bio/wp-content/uploads/2019/08/FT-NEWPONIA-CRE-act.pdf>
- Neocleous, D., Nikolaou, G., Ntatsi, G., & Savvas, D. (2021). *Nitrate supply limitations in tomato crops grown in a chloride-amended recirculating nutrient solution*. Obtenido de Agricultural Water Management: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377421004406>
- OCHMIAN, I. (2012). *The Impact of Foliar Application of Calcium Fertilizers on the Quality of Highbush Blueberry Fruits Belonging to the 'Duke' Cultivar*. Obtenido de Notulae botanicae: <https://www.notulaebotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/8058>
- Orozco, M. (2022). *Crisis de agroquímicos golpea los precios de los alimentos en el país*. Obtenido de PRIMICIAS: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/aumento-precio-agroquimicos-urea-alimentos-ecuador/>
- Phibunwatthanawong, T., & Riddech, N. (2019). *Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition*. Obtenido de International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-019-0257-7>
- PICADO. (1996). *EL AGUA DE COCO COMO MEDIO DE CULTIVO*. Obtenido de Hospital de San José, Costa Rica : <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/13192/v21n10p960.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pordeus, A., L. M., Oliveira, D., & Carvalho, L. (2020). *Growth Response of Hydroponic Lactuca sativa L. to Application of*. Obtenido de Journal of Agricultural Science; Vol. 12: <https://pdfs.semanticscholar.org/afdd/69c709cf70f84321a5db5cc9976bc66adbf2.pdf>
- Pradhan, S., Holopainen, J., & Tanski, H. (2009). *Stored Human Urine Supplemented with Wood Ash as Fertilizer in Tomato (Solanum lycopersicum) Cultivation and Its Impacts on Fruit Yield and Quality*. Obtenido de ACS Publications: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf9018917>
- Qiao, Zhao, Zhou, Yan, & Yang. (2021). *Sustained rice yields and decreased N runoff in a rice-wheat cropping system by replacing wheat with Chinese milk vetch and*

- sharply reducing fertilizer use*. Obtenido de Environmental Pollution: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026974912101304X>
- Rehman, R., & Qayyum, M. (2020). *Co-composts of sewage sludge, farm manure and rock phosphate can substitute phosphorus fertilizers in rice-wheat cropping system*. Obtenido de Journal of Environmental Management: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719314185>
- Ríos, Gómez, & Gutiérrez. (2019). *Fertilización sintética y orgánica y su efecto en la producción de maíz, variedad Nutrinta Amarillo*. Obtenido de La Calera: <https://www.semanticscholar.org/paper/Fertilizaci%C3%B3n-sint%C3%A9tica-y-org%C3%A1nica-y-su-efecto-en-R%C3%ADos-G%C3%B3mez-Mart%C3%ADnez/ac5bd2359a750be91448504ffb268c5bc4874c87>
- Rodriguez, S. (2022). *Vitaminas y minerales Fuentes*. Riobamba: ESPOCH.
- Rosado, M. (2013). “*Desarrollo morfológico y rendimiento del cultivo de pepino (Cucumis sativus) mediante sistema hidropónico de sustrato sólido en el cantón Babahoyo.*”. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/198/T-UTB-FACIAG-AGR-000058.pdf?sequence=7>
- Saavedra, G. (2017). *Manual de producción de Lechuga*. Obtenido de INIA: https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29500/INIA_Libro_0051.pdf?sequence=1
- Sandoya, G., Bosques, J., & Vassilaros, V. (2020). *LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS A PEQUEÑA ESCALA*. Obtenido de University of Florida: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1433>
- Shinohara, M., Aoyama, C., Fujiwara, K., Watanabe, A., & Ohmori, H. (2011). *Microbial mineralization of organic nitrogen into nitrate to allow the use of organic fertilizer in hydroponics*. Obtenido de Soil Science and Plant Nutrition : <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00380768.2011.554223>
- Singh, R. (2018). *Lettuce Growth and Yield in Hoagland Solution with an Organic Concoction*. Obtenido de International Journal of Vegetable Science : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19315260.2018.1452815>
- Son, J. E. (2016). *Hydroponic systems*. Obtenido de Department of Plant Science, Seoul National University: <https://www.semanticscholar.org/paper/Chapter-17---Hydroponic-Systems-Son-Kim/8eca4f71580c5c0c0c2423e9a5e4c45fb9a44434>
- Son, J., Kim, H., & Ahn, T. (2020). *Hydroponic systems*. Obtenido de Seoul National University,: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128166918000200>
- TradeMap. (2021). *List of importers and exporters for the selected product in 2021*. Obtenido de TradeMap: https://www.trademap.org/Country_SelProduct.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c0705%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c1%7c1%7c%7c2%7c1%7c%7c1
- Tropicos. (2023). *Lactuca sativa*. Obtenido de Tropicos: <https://www.tropicos.org/name/Search?name=Lactuca%20sativa>
- USDA. (2022). *Economic Research Service*. Obtenido de USDA: <https://www.ers.usda.gov/topics/natural-resources-environment/organic-agriculture.aspx>
- VELÁSQUEZ, S. (2019). “*DENSIDAD DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (Lactuca sativa L.) CV. ANGELINA BAJO CONDICIONES DE LA MOLINA*”. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA:

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4232/velasquez-medina-silvana.pdf?sequence=1>

Winarto, B., & Teixeira, J. (2015). *Use of coconut water and fertilizer for in vitro proliferation and plantlet production of Dendrobium 'Gradita 31'*. Obtenido de SpringerLink: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11627-015-9683-z>

Zandvakili, O. (2019). *Comparisons of commercial organic and chemical fertilizer solutions on growth and composition of lettuce*. Obtenido de Journal of Plant Nutrition:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2019.1589505>

X.ANEXOS

Anexo N°1 – Análisis de la varianza de la altura media de las plantas en el bioensayo 1

ANOVA ALTURA DE LA PLANTA BIOENSAYO 1						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4	1343,1692	335,7923	38,8670488	4,6477E-14	2,578739184
Dentro de los grupos	45	388,778	8,639511111			
Total	49	1731,9472				

Anexo N°2 – Análisis de la varianza del número de hojas promedio en el bioensayo 1

ANOVA NÚMERO DE HOJAS BIOENSAYO 1						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4	491,4	122,85	28,1192777	9,8205E-12	2,578739184
Dentro de los grupos	45	196,6	4,368888889			
Total	49	688				

Anexo N°3 – Análisis de la varianza del peso fresco promedio en el bioensayo 1

ANOVA PESO FRESCO BIOENSAYO 1						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4	381,6769	95,419225	7,3479201	0,000121105	2,578739184
Dentro de los grupos	45	584,3647	12,98588222			
Total	49	966,0416				

Anexo N°4 – Análisis de la varianza del largo de la raíz promedio en el bioensayo 1

ANOVA LONGITUD RADICULAR BIOENSAYO 1						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4	673,4	168,35	14,06236948	1,60796E-07	2,578739184
Dentro de los grupos	45	538,725	11,97166667			
Total	49	1212,125				

Anexo N°5 - Análisis de la varianza de la altura media de las plantas en el bioensayo 2

ANOVA ALTURA DE LA PLANTA BIOENSAYO 2						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7	1207,897892	172,5568417	85,2625447	6,9995E-27	2,184632046
Dentro de los grupos	54	109,2867857	2,023829365			
Total	61	1317,184677				

Anexo N°6 – Análisis de la varianza del número de hojas promedio en el bioensayo 2

ANOVA NÚMERO DE HOJAS BIOENSAYO 2						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7	515,4049539	73,62927913	44,9354067	2,7458E-20	2,184632046
Dentro de los grupos	54	88,48214286	1,638558201			
Total	61	603,8870968				

Anexo N°7 – Análisis de la varianza del peso fresco promedio en el bioensayo 2

ANOVA PESO FRESCO BIOENSAYO 2						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7	1881,845565	268,8350808	102,91946	6,6249E-29	2,184632046
Dentro de los grupos	54	141,0529589	2,612091832			
Total	61	2022,898524				

Anexo N°8 – Análisis de la varianza del peso seco promedio en el bioensayo 2

ANOVA PESO SECO BIOENSAYO 2						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7	58,52551446	8,36078778	117,236708	2,5299E-30	2,184632046
Dentro de los grupos	54	3,851033929	0,071315443			
Total	61	62,37654839				

Anexo N°9 – Análisis de la varianza del largo de la raíz promedio en el bioensayo 2

ANOVA LONGITUD RADICULAR BIOENSAYO 2						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7	970,3146601	138,61638	11,2808309	1,0454E-08	2,184632046
Dentro de los grupos	54	663,5401786	12,28778108			
Total	61	1633,854839				

Anexo N°10 - Análisis de la varianza de la altura media de las plantas en el bioensayo 3

ANOVA ALTURA DE LA PLANTA BIOENSAYO 3						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5	220,4007003	44,08014006	15,5171804	2,487E-07	2,558127501
Dentro de los grupos	28	79,54047619	2,840731293			
Total	33	299,9411765				

Anexo N°11 – Análisis de la varianza del numero de hojas promedio en el bioensayo 3

ANOVA NÚMERO DE HOJAS BIOENSAYO 3						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5	55,82142857	11,16428571	3,89879733	0,00829705	2,558127501
Dentro de los grupos	28	80,17857143	2,863520408			
Total	33	136				

Anexo N°12 – Análisis de la varianza del peso fresco promedio en el bioensayo 3

ANOVA PESO FRESCO BIOENSAYO 3						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5	164,1424474	32,82848948	5,14613682	0,00179817	2,558127501
Dentro de los grupos	28	178,618979	6,379249252			
Total	33	342,7614265				

Anexo N°13 – Análisis de la varianza del peso seco promedio en el bioensayo 3

ANOVA PESO SECO BIOENSAYO 3						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5	0,461532297	0,092306459	4,71153279	0,003015913	2,558127501
Dentro de los grupos	28	0,548564762	0,019591599			
Total	33	1,010097059				

Anexo N°14 – Análisis de la varianza del contenido SPAD promedio en el bioensayo 3

ANOVA CLOROFILA BIOENSAYO 3						
Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5	229,3720473	45,87440947	7,07425409	0,00021819	2,558127501
Dentro de los grupos	28	181,5715762	6,48469915			
Total	33	410,9436235				

Anexo N°15 – Análisis de la varianza del largo de la raíz promedio en el bioensayo 3

ANOVA LONGITUD RADICULAR BIOENSAYO 3						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5	379,6133053	75,92266106	13,7355275	8,1578E-07	2,558127501
Dentro de los grupos	28	154,7690476	5,527465986			
Total	33	534,3823529				