



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TEMA

**“Aplicación de Yodo (I) como activador fisiológico en el cultivo de lechuga
(*Lactuca sativa L.*) en sistema Nutrient Film Technique”**

DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR:

ALEX DAVID CERÓN VIANA

TUTOR:

ING. AGR. JOSÉ HERNÁN ZURITA VÁSQUEZ, Mg.

Cevallos-Ecuador
Septiembre 2022

“Aplicación de Yodo (I) como activador fisiológico en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en sistema Nutrient Film Technique (NFT)”.

14/03/2023

REVISADO POR:

ING. AGR. JOSÉ HERNÁN ZURITA VÁSQUEZ, Mg.

TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN

14/03/2023

.....
ING. NÚÑEZ TORRES OSCAR PATRICIO
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

14/03/2023

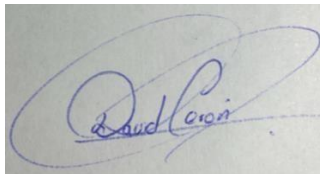
.....
ING. GUTIÉRREZ ALBÁN ALBERTO CRISTOBAL
MIEMBRO DE TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

14/03/2023

.....
BQF. LÓPEZ VILLACIS ISABEL CRISTINA
MIEMBRO DE TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El suscrito, ALEX DAVID CERÓN VIANA, portador de cédula de ciudadanía número: 1751567809, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: “APLICACIÓN DE YODO (I) COMO ACTIVADOR FISIOLÓGICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN SISTEMA NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT)”, es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.



.....

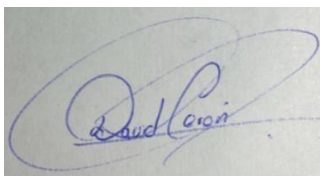
ALEX DAVID CERÓN VIANA

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “APLICACIÓN DE YODO (I) COMO ACTIVADOR FISIOLÓGICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN SISTEMA NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT)” como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mí derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final.



.....

ALEX DAVID CERÓN VIANA

DEDICATORIA

A mis amados padres, Fernando y Cristina por ser mi motor, fuerza y apoyo durante toda mi vida, por compartir su amor, bondad y tiempo conmigo, por inculcarme valores y enseñanzas que me motivaron a no rendirme ante situaciones difíciles, cuyos consejos fueron ejes fundamentales durante toda mi vida personal y académica.

AGRADECIMIENTO

A Dios

A mis amados padres, Fernando Cerón y Cristina Viana, por estar junto a mí en cada paso de mi vida y no soltarme la mano en momentos difíciles, por ser mi motivación y modelo a seguir. Por creer en mí y apoyarme en mis propósitos anhelados en cada una de mis etapas. Por levantarse todos los días con la meta de ofrecerme una buena calidad de vida y enseñarme el sacrificio y esfuerzo que existe detrás de cada logro obtenido.

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias que fue cuna de docentes con grandes dones para impartir conocimientos, dónde sus aulas fueron muy importantes para mi crecimiento académico y personal.

Al Ing. Hernán Zurita, por ser un docente con vocación, un profesional con grandes virtudes quién compartió sus amplios conocimientos con mucha paciencia, un excelente ser humano que practica el respeto y gentileza con las demás personas y motiva a sus alumnos a cumplir sus metas y seguirse formando académicamente.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | iii |
| DERECHO DE AUTOR..... | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE GENERAL | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| RESUMEN | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. Introducción..... | 1 |
| 1.2. Antecedentes investigativos..... | 2 |
| 1.2.2. Generalidades del cultivo | 5 |
| 1.2.3. Principales países productores y exportadores de <i>Lactuca. sativa L.</i> | 5 |
| 1.2.5. Requerimientos de Yodo en el ser humano..... | 8 |
| 1.3. Morfología | 9 |
| 1.3.1. Descripción taxonómica | 9 |
| 1.3.2. Descripción botánica | 9 |
| 1.3.2.1. Raíz | 9 |
| 1.3.2.2. Tallo | 10 |
| 1.3.2.3. Hojas | 10 |
| 1.3.2.4. Inflorescencia | 10 |
| 1.3.2.5. Flores..... | 10 |
| 1.3.2.6. Semillas..... | 10 |

| | | |
|-------------------------------|---|----|
| 1.3.3. | Ecotipos o variedades | 10 |
| 1.3.3.1. | Lechugas de cabeza o Crisp Head..... | 11 |
| 1.3.3.2. | Lechugas tipo mantequilla o Butter Head | 11 |
| 1.3.3.3. | Lechugas cos o Romanas | 11 |
| 1.3.3.4. | Lechugas sin cabeza, hojas sueltas..... | 11 |
| 1.4. | Manejo del Cultivo Hidropónico | 11 |
| 1.4.1. | Definición del tipo de cultivo | 11 |
| 1.4.2. | Sistema de cultivo Nutrient Film Technique (NFT)..... | 13 |
| 1.4.3. | Temperatura | 14 |
| 1.4.4. | Precipitación..... | 14 |
| 1.4.5. | Humedad | 14 |
| 1.4.6. | Medio de cultivo para el sistema NFT | 14 |
| 1.4.7. | pH y conductividad eléctrica..... | 15 |
| 1.4.8. | Plagas y enfermedades | 15 |
| 1.5. | HIPOTESIS | 15 |
| 1.6. | OBJETIVOS | 16 |
| 1.6.1. | OBJETIVO GENERAL | 16 |
| 1.6.2. | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| CAPÍTULO II METODOLOGÍA | | 17 |
| 2. | Materiales | 17 |
| 2.1. | Equipos y materiales..... | 17 |
| 2.1.1. | Ubicación del experimento..... | 17 |
| 2.1.2. | Características del lugar | 17 |
| 2.1.3. | Factores en estudio | 18 |
| 2.1.4. | Tratamientos..... | 18 |
| 2.1.5. | Diseño experimental..... | 19 |
| 2.1.6. | Manejo del experimento..... | 19 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.1.8. | Cultivo y trasplante | 19 |
| 2.1.9. | Riego | 20 |
| 2.1.10. | Control fitosanitario | 20 |
| 2.1.11. | Control de plagas..... | 21 |
| 2.1.12. | Fertilización (Medio de cultivo en la matriz NFT) | 21 |
| 2.1.13. | Cosecha | 21 |
| 2.1.14. | Postcosecha | 22 |
| 2.2. | Variables de respuestas | 22 |
| 2.2.1. | Número de Hojas..... | 22 |
| 2.2.2. | Peso de hojas a la cosecha..... | 22 |
| 2.2.3. | Largo de la hoja..... | 22 |
| 2.2.4. | Días de cosecha | 22 |
| 2.2.5. | Forma del repollo | 22 |
| 2.2.6. | Color del repollo..... | 22 |
| 2.2.7. | Diámetro Ecuatorial de Repollo..... | 23 |
| 2.2.8. | Aspecto sanitario. | 23 |
| 2.2.9. | Clorofila | 23 |
| 2.2.10. | Rendimiento de cultivo | 23 |
| CAPÍTULO III DISCUSIÓN Y RESULTADOS..... | | 24 |
| 3. | Resultados..... | 24 |
| 3.1. | Longitud de la raíz | 24 |
| 3.2. | Peso de hojas a la cosecha | 26 |
| 3.3. | Número de hojas a la cosecha..... | 27 |
| 3.4. | Longitud de las hojas | 28 |
| 3.5. | Forma del repollo..... | 29 |
| 3.6. | Color del repollo | 29 |
| 3.7. | Concentración de clorofila..... | 30 |

| | | |
|--|---|----|
| 3.7.2. | Concentración de clorofila B expresada en μmol | 30 |
| 3.7.3. | Concentración de clorofila total expresada en μmol | 31 |
| 3.7.4. | Resumen de los resultados | 32 |
| CAPITULO IV CONCLUSIONES, REFERENCIAS Y ANEXOS | | 33 |
| 4. | Conclusiones..... | 33 |
| 5. | Recomendaciones | 33 |
| 6. | Referencias | 34 |
| 7. | Anexos | 41 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Composición nutricional de <i>L. sativa</i> | 6 |
| Tabla 2. Estructura química de los principales fitoquímicos identificados en lechuga | 7 |
| Tabla 3. Cantidades recomendadas de yodo en las distintas etapas de vida del ser humano ... | 8 |
| Tabla 4. Clasificación taxonómica de (<i>Lactuca sativa</i> L) | 9 |
| Tabla 5. Nutrientes mínimos requeridos para la fertilización de cultivo de lechuga en hidroponía | 14 |
| Tabla 6. Listado de equipos, materiales y reactivos | 17 |
| Tabla 7. Dosis de Yodo (I)..... | 18 |
| Tabla 8. Frecuencia de aplicación..... | 18 |
| Tabla 9. Aplicación de Yodo en periodos de 8 y 15 días..... | 19 |
| Tabla 10. Nutrientes empleados para suplir los requerimientos del cultivo NFT | 21 |
| Tabla 11. Longitud de raíz a los 14,28,42,56,70 y 84 días expresada en cm..... | 25 |
| Tabla 12. Peso de hojas al finalizar el ciclo expresada en g | 26 |
| Tabla 13. Número de hojas al finalizar el ciclo | 27 |
| Tabla 14. Longitud de hojas al momento de la cosecha expresadas en cm | 28 |
| Tabla 15. Resumen de los resultados obtenidos | 32 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. <i>Sistemas de producción de cultivo sin suelo (CSS)</i> | 12 |
| Figura 2. <i>Diferentes tipos de sistemas hidropónicos</i> | 13 |

RESUMEN

Se realizó un cultivo de lechuga en un sistema hidropónico con la técnica Nutrient Film Technique (NFT) al cual dentro de su fertilización se añadió compuestos yodados en diferentes concentraciones con el fin de identificar la dosis y frecuencias de administración que permitiera un mejor desarrollo de las plantas, para identificar el tratamiento con mejores resultados se midieron los parámetros longitud de raíz a 14, 28, 42, 56, 70 y 84 días, el peso de las hojas al momento de realizar la cosecha, el número de hojas desarrolladas, la longitud de las hojas a los 14, 28, 42, 56, 70 y 84, la concentración de clorofila A, B y total. Se obtuvo que el tratamiento con valores más altos en los factores de medición fue el tratamiento A3B2 correspondiente a una dosis de 1,5 cc/L de yodo en una frecuencia de aplicación de 15 días.

Palabras clave: Lechuga, Hidroponía, Cultivo NFT, Suplemento de Yodo.

ABSTRACT

A lettuce crop was grown in a hydroponic system using the Nutrient Film Technique (NFT) to which iodine compounds in different concentrations were added to the substrate in order to identify a dose and frequency of administration that would allow better plant development, To identify the treatment with the best results, the following parameters were measured: root length at 14, 28, 42, 56, 70 and 84 days, leaf weight at harvest, number of developed leaves, leaf length at 14, 28, 42, 56, 70 and 84 days, and chlorophyll A, B and total chlorophyll concentration. It was obtained that the treatment with the highest values in the measurement factors was treatment A3B2 corresponding to a dose of 1.5 cc/L of iodine at an application frequency of 15 days.

Keywords: Lettuce, Hydroponics, NFT Culture, Iodine Supplement.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

La lechuga es un vegetal de gran importancia debido a su alto consumo a nivel mundial, presente en más de 100 países en todo el mundo, encontrándose los principales exportadores en Asia (China) y América (Estados Unidos), principalmente se exportan a países con climas donde existen temperaturas por debajo de los 10°C de forma permanente, dado que en estas condiciones se dificulta mucho su cultivo (Diaz & Cabrera, 2021).

La lechuga al estar presente en varios platillos de consumo diario si se lo suplementa con yodo tiene un alto potencial de satisfacer las necesidades diarias de este elemento para el cuerpo humano, según (Puccinelli, Landi, et al., 2021), la suplementación de 10mg en la solución nutritiva de un cultivo hidropónico de lechuga es suficiente para producir lechugas con potencial de suplementar las necesidades diarias de yodo.

Se conoce que la lechuga requiere de un espacio relativamente amplio en su cultivo sobre suelo, sin embargo, debido a la alta demanda de este vegetal a nivel mundial, su producción cada vez requiere mayores extensiones de terreno, para solventar este problema, varios agricultores a nivel global han optado por cultivarlos en hidroponía, permitiendo aumentar exponencialmente la producción de lechuga dentro de un mismo espacio de terreno, además de contar con ventajas como disminuir las enfermedades transmitidas por el suelo, eliminación de plagas y mayor control de los nutrientes disponibles en el sustrato de la planta (Velasguí-Silva, 2021).

En la actualidad la innovación en el cultivo no solamente de lechugas sino también de otros vegetales se ve seriamente estancado debido a la prevalencia de los métodos de cultivo tradicionales dentro del país, limitando las oportunidades de optimizar los recursos, esta situación ocurre dado que el 84,5% de la explotación agrícola del Ecuador se compone de pequeños productores y empresas familiares, las cuales no suelen mostrar interés en adoptar nuevas tecnologías debido a que se perciben como innecesarias o sumamente caras(Lazo & Gonzabay, 2020).

En el caso de los cultivos hidropónicos como “Nutrient Film Technique” (NFT) es posible disminuir el uso de terreno ensamblando los cultivos en capas colocadas una sobre otra, además de tener un costo de inversión relativamente bajo realizado por única vez al momento de implementar este tipo de cultivo, otras ventajas de este método es que permiten tener un control más preciso de la suplementación de las plantas además de obtener una producción con menor índice de pérdidas por agentes patógenos (Terceros & Villacorta, 2019).

1.2. Antecedentes investigativos

La técnica de mediante la cual se realiza la biofortificación de los cultivos es más importante que el tipo yodo empleado para el éxito del proceso. El yodo es un elemento dinámico que está en constante movimiento a través de los organismos vivos y los componentes del sistema ecológico (Abd & Fairulnizal Md Noh, 2019). Para lograr un resultado óptimo, es importante prestar atención no solo a las plantas, sino también al sistema completo en el que están insertas. El yodo es metabolizado por el sistema ecológico como un todo, posiblemente siguiendo un esquema de control global que aún no está del todo comprendido. Por lo tanto, es recomendable tener en cuenta otros factores bióticos y abióticos como parte de la estrategia de biofortificación (Luo et al., 2022) . Por ejemplo, el papel de la rizósfera como un entorno complejo y dinámico en el que interactúan las raíces, los microorganismos y los componentes inorgánicos del suelo en la absorción de yodo ha sido poco explorado, pero ha demostrado ser un enfoque útil en el caso del hierro y el silicio (Sambo et al., 2019).

En el campo de la biofortificación de los cultivos, hay una notable falta de estudios sobre el uso de hongos cultivados, micorrizas o vegetales, y rizobacterias promotoras del crecimiento para modificar la absorción de yodo. Este enfoque, sin embargo, ha demostrado ser eficaz para otros elementos como el hierro y el zinc. Las micorrizas, además, reducen la toxicidad de algunos elementos para las plantas, un problema que no se ha reportado en el caso del yodo (Pidlisnyuk et al., 2020). Otro punto a tener en cuenta es que factores climáticos, ecológicos, fitoquímicos y culturales (como la preparación y el almacenamiento de alimentos) pueden disminuir la biodisponibilidad o la estabilidad del yodo, lo que impide establecer una correlación entre la distribución de yodo en una zona y su presencia en la población humana (Garg & Cheema, 2021)

En un estudio publicado por Blasco et al. (2008), se demostró que el yodo puede ser beneficioso para la biofortificación de ciertas plantas, en particular el cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos. Los resultados mostraron que la aplicación del yodo en forma de yoduro (I^-) es mejor que aplicarlo como yodato (IO_3^-). Además, se encontró que concentraciones de 160 μg de I^- provocaron un mayor efecto antioxidante en las plantas, sin causar efectos fitotóxicos. También se observó que a 120 y 160 μg de I^- se incrementó el contenido de flavonoides, y a 80 μg se indujo un mayor contenido de ácido L-ascórbico (vitamina C), lo que aumentó la biofortificación del cultivo.

En otra investigación, Li et al. (2017) encontraron que la aplicación de yodo en pimientos en concentraciones de 0.50-1.00 $mg \cdot L^{-1}$ aumentó el contenido de ácido ascórbico, un nutriente esencial para la salud humana. Además, mejoró la calidad de los frutos de pimiento al aumentar el contenido de azúcar soluble y reducir la acidez total.

La aplicación de yodo en la agricultura ha demostrado tener efectos mixtos sobre el potencial antioxidante en varias especies de cultivos, dependiendo de la fuente de yodo, la concentración y el tipo de aplicación. En un estudio de soja cultivada en recipientes con tierra y composta, se encontró que el KIO_3 aumentó las actividades enzimáticas de SOD y APX a concentraciones de 20, 40 y 80 μM (Gupta et al., 2015). En el tomate, la aplicación de IO_3^- en 7.88 M aumentó el contenido de ácido ascórbico y compuestos fenólicos totales (Smoleń et al., 2015). También se observó un aumento en el contenido de ácido ascórbico en *Opuntia ficus-indica* cultivadas en suelo en túneles bajos mediante la aplicación de KIO_3 y KI a 10-4 M por fertirrigación. En *Ipomoea aquatica*, el yodo indujo un mayor contenido de ácido ascórbico, mientras que el IO_3^- y el ácido yodoacético (CH_2ICOO^-) tuvieron el efecto opuesto (García et al., 2017).

Blasco et al. (2008), han realizado un estudio extensivo sobre el impacto del yodo en el metabolismo antioxidante en lechugas cultivadas en hidroponía. En su primer estudio, encontraron que la aplicación de KI aumentaba la acumulación de fenoles y ácido ascórbico, así como el potencial antioxidante. Posteriormente, se encontró que la aplicación de KI (20, 40 y 80 μM) y KIO_3 (20 μM) aumentaba la concentración de ácido ascórbico y la actividad enzimática de la catalasa (CAT), pero disminuía la concentración y la actividad de la SOD GSH. La actividad de la APX se aumentó de manera más eficaz por KIO_3 que por KI . El efecto positivo se produjo incluso a bajas concentraciones (<40

μM) y se observó un aumento de la actividad de antioxidantes enzimáticos como la enzima superóxido dismutasa (SOD) y la enzima ascorbato peroxidasa (APX), así como de antioxidantes no enzimáticos como el glutatión (GSH) y el ácido ascórbico (AA). En un estudio más reciente, se encontró que el uso de KIO_3 a concentraciones de 20 y 40 μM aumentaba la respuesta antioxidante y la acumulación de compuestos fenólicos totales.

La mayoría de los estudios citados utilizan el KI o el KIO_3 como fuentes de yodo. Se han reportado más efectos negativos al aplicar KI, mientras que se han reportado más efectos positivos al aplicar KIO_3 , especialmente en la generación de compuestos antioxidantes (Kato et al., 2017). La diferencia en los efectos entre las formas químicas de yodo está posiblemente relacionada con la función del IO_3^- como promotor del crecimiento mediante la inducción de actividad de la reductasa en la raíz, mientras que la capacidad de reducción del yoduro puede modificar el equilibrio redox y el metabolismo de la metiltransferasa asociada a las células, lo que hace que los ajustes metabólicos sean más probables y retrasen el crecimiento y el rendimiento (Luo et al., 2022).

Desafortunadamente, hay poca investigación sobre el efecto del yodo en los procesos metabólicos de las plantas. En la lechuga, la aplicación de yoduro y yodato (20, 40 y 80 μM) altera el metabolismo del nitrógeno y la fotorrespiración. Se observaron efectos positivos en la biomasa y la absorción de nitrógeno con el uso de yodato, mientras que el uso de yoduro disminuyó la biomasa de la planta y la concentración de nitrógeno. En plantas marinas, el yoduro no causa estos efectos, ya que se oxida rápidamente por la enzima V-IPO, que no se ha encontrado activa en las plantas terrestres (Golubkina et al., 2021).

1.2.1. Origen de la lechuga (*Lactuca sativa* L)

Lactuca sativa L., comprende al menos 100 especies identificadas en el mundo, mismas que se encuentran repartidas de modo que se ubican: 40 en Asia, 33 en el continente africano, 17 en Europa y 10 en el continente americano. En el caso de la lechuga (*Lactuca sativa* L), esta se clasifica de acuerdo con las características morfológicas del repollo siendo que dentro de las lechugas comestibles más populares se encuentran: Lechuga Crespa, Lechuga butter-head, Lechuga hoja de roble, Lechuga Romana, entre otras, mismas que comparten características de hojas grandes para su consumo principalmente en ensaladas (Sheraliev et al., 2021).

1.2.2. Generalidades del cultivo

La lechuga es un vegetal ampliamente comercializado debido a su popularidad múltiples gastronomías, consumiéndose principalmente las hojas, el tallo y las semillas (utilizadas para la producción de aceite). Adicional a esto se puede mencionar que el motivo por el cual la lechuga es un vegetal de alto consumo principalmente se debe a que se produce durante todas las estaciones del año al ser cultivada tanto en el suelo como en invernaderos independientemente de los cambios estacionales de temperatura (Sánchez-García et al., 2021).

1.2.3. Principales países productores y exportadores de *Lactuca sativa L*

La producción de (*Lactuca sativa L*) se presenta principalmente en locaciones con estaciones frías, debido a la fisiología de la planta y dado que el rendimiento de cultivo favorece dicho tipo de clima, siendo que los sectores de mayor producción se resumen a: 91 000 hectáreas en Norteamérica y 80 000 hectárea en Europa. Por otro lado, países como Australia, Japón, China, Israel, Norte de México, Chile, Argentina y Perú se enlistan a los productores de (*Lactuca sativa L*) en menores cantidades por terreno cultivado, supliendo las necesidades de consumo sin llegar al número de los mayores productores de esta hortaliza(Noumedem et al., 2017).

1.2.4. Composición de *Lactuca sativa L* y sus beneficios nutricionales

Dependiendo de su variedad (*Lactuca sativa L*) se compone de un 94-95% de agua, además de poseer de una considerable cantidad de nutrientes que incluye proteína y fibra. Además de la que en su composición se incluyen compuestos activos como polifenoles, carotenoides y clorofila, así como la presencia de vitaminas: A, B₆, C, E, K, B₁, B₂; Y minerales como Calcio, Hierro, Magnesio, Fósforo y Zinc (**Tabla 1.**) (Sularz et al., 2020).

Tabla 1.

Composición nutricional de L. sativa

| | |
|--------------|------------------|
| Lípidos | 1.20 – 2.10 g |
| Prótidos | 0.10 - 0.20 g |
| Prótidos | 0.80 - 1.60 g |
| Ácido fólico | 5.00 - 24.00 mg |
| Calcio | 13.00 - 36.00 mg |
| Fosforo | 25.00 - 45.00 mg |
| Hierro | 1.10 - 1.50 mg |
| Potasio | 100 - 400 mg |
| Riboflavina | 0.03 - 0.10 mg |
| Sodio | 5.00 - 10.00 mg |
| Tiamina | 0.07 - 0.10 mg |
| Vitamina A | 300 - 2600 µl |

Fuente: (Kim et al., 2016)

Debido a la composición presentada, baja en calorías, rica en micronutrientes y fitoquímicos, se relaciona que el consumo regular de lechuga aporta los nutrientes adecuados para una dieta balanceada y saludable, así como la cualidad de que estudios recientes acerca de la influencia de fitoquímicos presentes en esta (**Tabla 2.**) indican que el consumo de (*Lactuca sativa L*) hidropónica permite recuperar enfermedades de tipo oxidativo, como el cáncer, Alzheimer y diabetes en medidas de leve a significativa dependiendo de los factores epigenéticos de quienes la consuman (Kabir et al., 2021; Naseem & Ismail, 2022)

Tabla 2.

Estructura química de los principales fitoquímicos identificados en lechuga.

| Fitoquímicos | Subgrupos | Compuestos específicos | Actividades biológicas |
|-----------------------------|------------------|---|--|
| Compuestos Fenólicos | Ácidos fenólicos | Ácido cafeico, ácido clorogénico y sus derivados | Antidiabéticos, antimicrobianos, |
| | Flavonoides | Quercetina, isorhamnetina, kaempferol, antocianinas | Hepatoprotector, antibacteriano, antiinflamatorio, anticancerígeno, antiviral |
| | Carotenos | α -caroteno, β -caroteno, licopeno | Protector cardiovascular, anticancerígeno, anti-obesidad, pigmentario, anti proliferativo |
| Carotenoides | Xantofilas | Luteína, Neoxantina, Lactucaxantina, Violaxantina, Zeaxantina | Antioxidante, anticancerígeno, estimulante del sistema inmunológico, pigmento, normaliza la presión arterial |
| Clorofila | | Clorofila A, Clorofila B | |

Fuente: (Shi et al., 2022)

Resumiendo (*Lactuca sativa L*) posee un valor nutricional considerable con un costo de calorías relativamente bajo teniendo en cuenta que la composición de la hortaliza es principalmente agua, sin embargo, vale la pena mencionar que la lechuga no posee naturalmente Yodo dentro de su composición natural, no obstante, posee las cualidades necesarias para absorber este elemento de ser colocado en el agua de riego durante su cultivo (Smoleń et al., 2014).

1.2.5. Requerimientos de Yodo en el ser humano

El ser humano requiere de la reposición constante de macro y micronutrientes para mantener un equilibrio homeostático en el cuerpo que mantienen el cuerpo en estado óptimo de los procesos biológicos necesarios para su supervivencia, siendo que existen compuestos que precisa y no puede producir, por lo que estos requieren ser ingeridos por medios externos mediante la alimentación o suplementos que reemplacen los déficits de alguno de aquellos elementos (Shi et al., 2022b). Dentro de los compuestos con mayor relevancia a desarrollar patologías crónicas se encuentra el Yodo (I), mineral presente en diversos alimentos que fisiológicamente es responsable de mantener la producción de hormonas tiroideas necesarias para el desarrollo óseo y cerebral de los seres humanos, especialmente en los neonatos durante el embarazo, además de ser necesario durante todas las etapas vitales del ser humano en las cantidades variadas que pueden ser observadas en la **Tabla 3**.

Tabla 3.

Cantidades recomendadas de yodo en las distintas etapas de vida del ser humano.

| Etapas de la vida | Cantidad recomendada |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Bebés hasta los 6 meses | 110 mcg |
| Bebés de 7 a 12 meses | 130 mcg |
| Niños de 1 a 8 años | 90 mcg |
| Niños de 9 a 13 años | 120 mcg |
| Adolescentes de 14 a 18 años | 150 mcg |
| Adultos | 150 mcg |
| Mujeres y adolescentes embarazadas | 220 mcg |
| Mujeres y adolescentes que amamantan | 290 mcg |

Fuente: (IMFNB, 2001)

1.3. Morfología

(*Lactuca sativa L*) es una hortaliza con un periodo de florecimiento anual, que se compone de una delgada raíz primaria, un tallo que comprende dimensiones de entre 30 a 100 cm de altura y de hojas dispuestas de modo que forman una espiral comparable a una roseta formando una cabeza a modo de repollo de forma oblonga y elíptica transversal. Vale mencionar que el tallo también posee hojas, estas se distinguen por ser elípticas oblongas, de base cordada y menor dimensión a las observadas en la cabeza de la lechuga (Křístková et al., 2008).

1.3.1. Descripción taxonómica

(*Lactuca sativa L*) se clasifica dentro de las plantas herbáceas, perteneciente a la familia *Asteraceae*, género *Lactuca* como se observa en la **Tabla 4**.

Tabla 4.

Clasificación taxonómica de (Lactuca sativa L)

| | |
|-----------------|----------------|
| Reino | Plantae |
| División | Magnoliophyta |
| Clase | Magnoliopsida |
| Orden | Asterales |
| Género | <i>Lactuca</i> |
| Especie | <i>sativa</i> |

Fuente: (Suzuki et al., 2014)

1.3.2. Descripción botánica

Las características botánicas de la lechuga (*Lactuca sativa L*) de acuerdo con Noumedem et al., (2017) se resumen según los componentes principales distinguibles en su morfología, mismas que se dan de la siguiente manera:

1.3.2.1. Raíz

El sistema de raíces de la lechuga se compone de formas de tipo giratoria de longitud media de 30 cm que se desarrolla y ramifica de acuerdo a las características del suelo y la densidad que presenta este, siendo que en suelos compactos las raíces suelen ser más densas y profundas.

1.3.2.2. Tallo

El tallo de (*Lactuca sativa L*) presenta una longitud de hasta 1 m desde la base hasta donde empieza la floración, además posee de 15 a 25 flores de tonalidad amarillenta agrupadas en la corona del corimbo. Además, se menciona que en todos los tipos de lechuga existe un líquido lechoso dentro del tallo, característica intrínseca del género *Lactuca*.

1.3.2.3. Hojas

De tipo basal que presentan en cuantiosas cantidades y de tamaño considerable a modo de densas rosetas con forma ovalada, oblonga o brillante dependiendo de la variedad.

1.3.2.4. Inflorescencia

Flores amarillas dispuestos en racimos a modo de una panoja.

1.3.2.5. Flores

Flores pequeñas, hermafroditas y perfectamente simétricas, con 5 estambres y un ovario monocameral. Suelen ser agrupadas en racimos y presentan una tonalidad amarillenta. Además de que en su periodo de floración estas se abren después de la puesta del sol y su período de polinización se comprende de seis horas siendo que estas emplean un mecanismo de autopolinización.

1.3.2.6. Semillas

Se presentan en dimensiones de entre de 4-5 mm de diámetro, de característica alargada en un color blanco cremoso, marrón o granate, según la variedad.

1.3.3. Ecotipos o variedades

Los ecotipos o variedades de (*Lactuca sativa L*) son diversos y presentan múltiples características que se deben a las constantes adaptaciones que la planta ha generado para su supervivencia en distintas locaciones, provocando cambios zonales evidentes entre los diferentes ecotipos. Sin embargo, las variedades de lechuga actualmente se dividen de acuerdo a sus características morfológicas evidentes, de modo que se enlistan de la

siguiente manera: lechugas de cabeza, lechugas romanas, lechugas de tipo mantequilla, lechuga crespa y lechugas sin cabeza (Křístková et al., 2008).

1.3.3.1. Lechugas de cabeza o Crisp Head

Grupo de lechugas caracterizadas por poseer una cabeza cerrada con hojas internas que forman un cogollo apretado, mientras que las hojas externas son abiertas y gruesas, con bordes rizados que funcionan a modo de protección del cogollo interior (Aires et al., 2020)

1.3.3.2. Lechugas tipo mantequilla o Butter Head

Grupo de lechugas caracterizadas por poseer una cabeza cerrada o semiabierta no apretada, con hojas de color amarillo verdoso de textura lisa y suave ligeramente grasosas al tacto (Pink & Keane, 2005).

1.3.3.3. Lechugas cos o Romanas

Presentan un cogollo ligeramente apretado formado por hojas de tonalidad verde o rojo oscuro alargadas de margen entero y nervio central ancho (Mou & Ryder, 2004a).

1.3.3.4. Lechugas sin cabeza, hojas sueltas

Este tipo peculiar de lechuga no presentan una cabeza como tal, sino más bien un cumulo de hojas sueltas que pueden ser lisas y de textura blanda, de color verde claro a verde oscuro, rojo o morado, dependiendo de la variedad (Mou & Ryder, 2004).

1.4. Manejo del Cultivo Hidropónico

1.4.1. Definición del tipo de cultivo

El término hidroponía proviene de las palabras griegas hydros (agua) y phonos (trabajo), que se refieren a cultivos no convencionales realizados sobre el agua en lugar de la tierra (Rajpurkar, 2016).

Mientras que se define a cultivo hidropónico como una técnica de producción agrícola que permite que las plantas crezcan sin la participación del suelo como apoyo o fuente de nutrientes. En cambio, el sistema de crecimiento y/o soporte de una planta empleado

consiste en un medio inerte como un sustrato o agua, donde los nutrientes son aplicados artificialmente, lo que significa que llegan a través del agua en un medio de cultivo específico para cada planta en un ambiente protegido (invernadero) y con factores controlados, especialmente la temperatura, la lluvia y viento (Rajpurkar, 2016).

En la actualidad los métodos de cultivo hidropónico han evolucionado desde los más simples a sistemas complejos, ya sea con mantenimientos manuales o automatizados según la necesidad de la planta y al número de factores que se requiere mantener en equilibrio de acuerdo al balance óptimo requerido para el desarrollo del cultivo. Dentro de la clasificación formal de sistemas de cultivo hidropónicos o sistemas de Cultivo sin suelo (CSS) como se los conoce técnicamente, estos se hallan divididos en 3 tipos: Sistemas en agua, Sistemas Aeropónicos y Sistemas en medios de cultivo (**Fig. 1, 2**) (Urrestarazu, 2015)

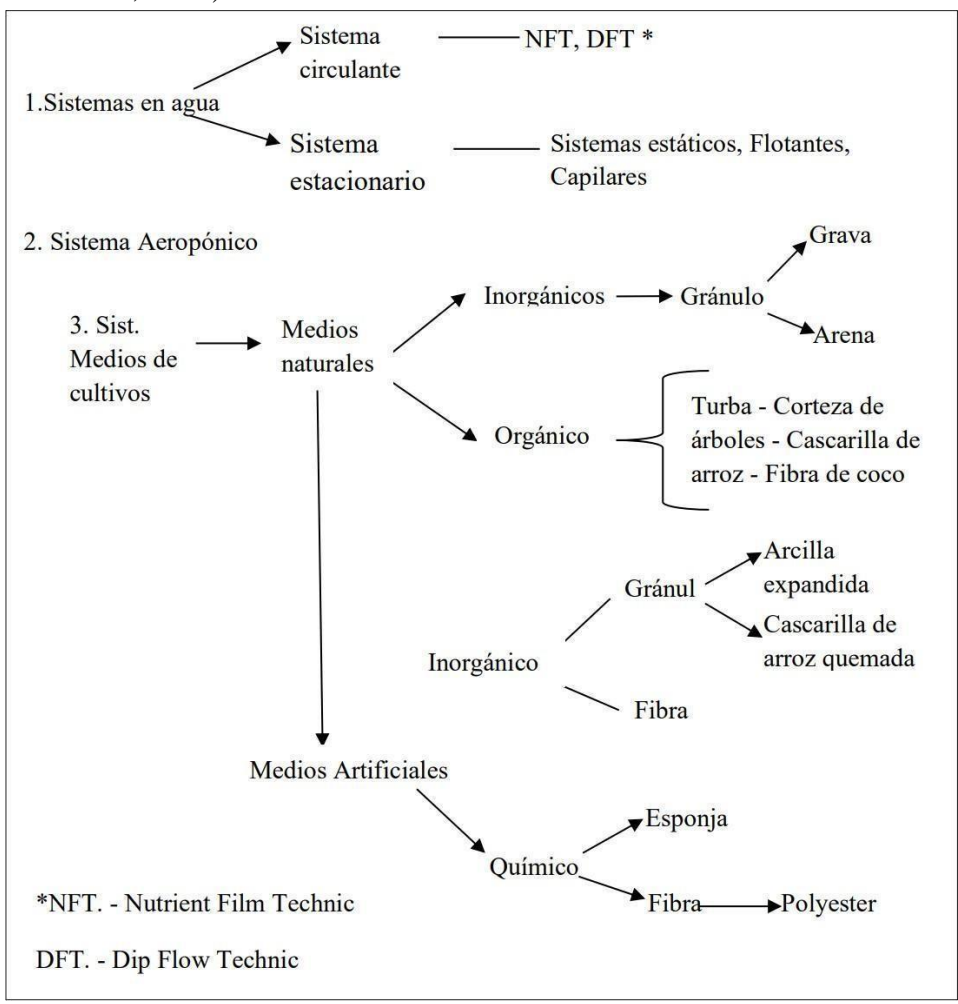


Figura 1.

Sistemas de producción de cultivo sin suelo (CSS)

Fuente: (Urrestarazu, 2015)

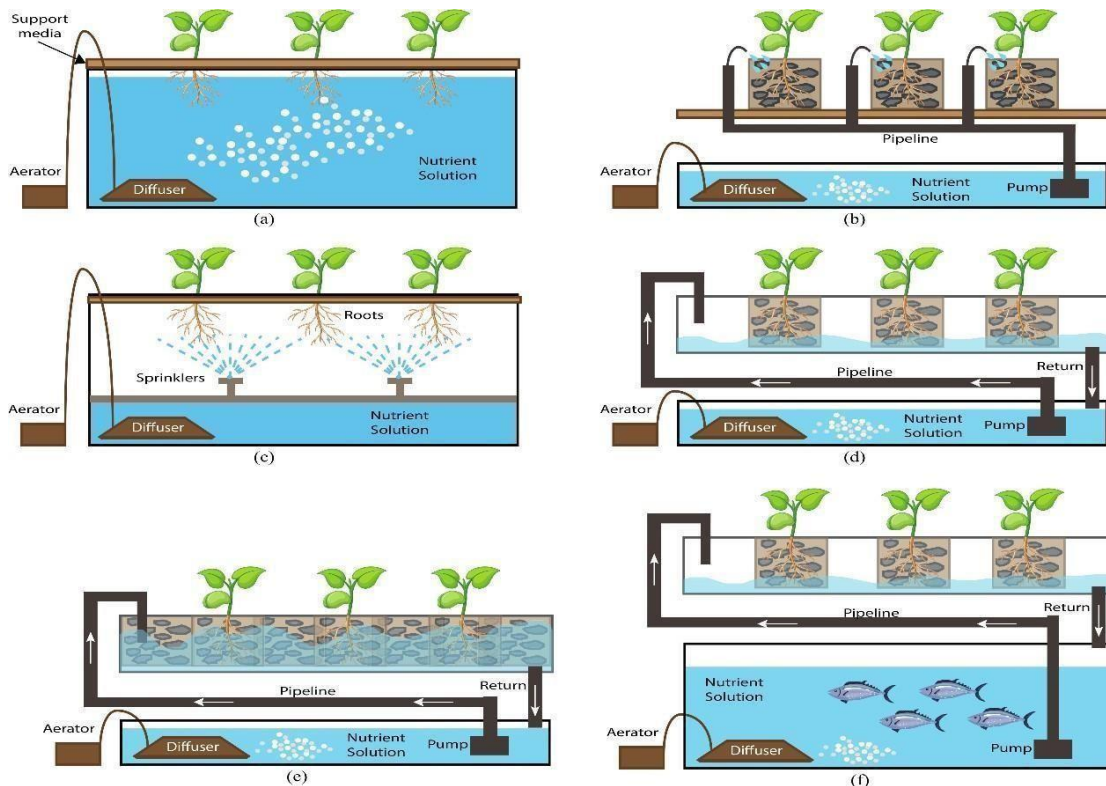


Figura 2.
Diferentes tipos de sistemas hidropónicos.

a) Cultivo en agua profunda. b) Sistema de cultivo por goteo. c) Aeroponía. d) Tecnología de solución nutritiva circulante (NFT). e) Flujo y reflujo. f) Acuaponia **Fuente:**
(Gong et al., 2022)

1.4.2. Sistema de cultivo Nutrient Film Technique (NFT)

Este método, también conocido como sistema de tecnología de solución nutritiva circulante (NFT), es similar a un sistema de raíces flotantes en los que “los nutrientes se disuelven en agua, en contacto directo con las raíces, sin embargo, se diferencia en que las plantas no requieren estar completamente sumergidas. En este sistema, el agua se airea o se deja a la altura de las raíces y la solución nutritiva (Agua + nutrientes) se mantiene en contacto con el aire como se observa en la **Figura 2**.

En esta técnica, la planta se encuentra sostenida por ganchos o cables metálicos. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas hidropónicos son "NFT o Nutrient Film Technology", "Nutrition Tanks", "Spray Systems", etc (Beltrano & Gimenez, 2015).

1.4.3. Temperatura

La temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo vegetativo de (*Lactuca sativa L*) se encuentra en el rango de 14-18°C durante el día y de entre 5-8°C durante la noche.

Mientras que la temperatura máxima permisible se halla entre los 30°C y - 6°C (Carranza et al., 2009).

1.4.4. Precipitación

El sistema de cultivo controla la cantidad de precipitación sobre el cultivo al emplearse un invernadero cubierto para la producción de las plantas.

1.4.5. Humedad

El nivel de humedad relativa óptimo para el desarrollo de (*Lactuca sativa L*) se halla dentro del rango permisible de 60-80% mm principalmente debido a las características de permeabilidad que presenta la lechuga (Villavicencio & Vásquez, 2008).

1.4.6. Medio de cultivo para el sistema NFT

El cultivo hidropónico en sistema NFT emplea agua más la adición de los nutrientes específicos para cada planta como medio de cultivo recirculante de modo que se aprovechen todos los componentes en su totalidad (Smoleń et al., 2014). Tal como se observa en la **Tabla 5** donde se resumen los requerimientos mínimos de elementos nutritivos para (*Lactuca sativa L*).

Tabla 5.

Nutrientes mínimos requeridos para la fertilización de cultivo de lechuga en hidroponía.

| Elemento | g/m ³ |
|-------------------------------|------------------|
| N | 15 |
| P ₂ O ₅ | 6 |
| K ₂ O | 4 |
| S | 2 |

Fuente: (Sapkota et al., 2019)

1.4.7. pH y conductividad eléctrica

De acuerdo con Gong et al., (2022) el pH adecuado para (*Lactuca sativa L*) en medios hidropónicos se encuentra de 5.5 a 6.5, similar al requerido en el suelo en el cultivo estándar de esta planta. Mientras que la conductividad eléctrica debe estar entre 1.5–2.5 mS/cm.

1.4.8. Plagas y enfermedades

Aunque los cultivos de sistemas CSS minimizan el problema de las plagas, estos no se encuentran exceptos de esta afección a la producción de las plantas (Gilliam, 2013).

De acuerdo con Sularz et al., (2020) dentro de las principales plagas que afectan a los cultivos hidropónicos de lechuga se encuentran;

- *Liriomyza trifolii* (minadores) que se presentan generalmente por sobre las estructuras foliares generando galerías dentro de las hojas.
- *Myzus persicae* (pulgón) que son insectos que viven en las partes tiernas de las plantas como las hojas nuevas y normalmente se presentan al momento de la cosecha.
- *Frankliniella occidentalis* (trips), son insectos chupadores que provocan deformaciones en la planta y atacan generalmente a especies vegetales con altos niveles de nitrógeno.

1.5. HIPOTESIS

H1: La aplicación del producto portador de yodo en una dosis de 1.5 cc/L al día en *Lactuca sativa L*. vía foliar durante 15 días influye positivamente en el desarrollo del cultivo de lechuga en cualquiera que fuere el sistema de cultivo.

Ha: La carencia del producto yodado en el cultivo de lechuga tiene efecto limitado o a su vez no presenta efecto alguno en el rendimiento del cultivo de lechuga, poniendo a prueba la sustentabilidad del uso de yodo en cultivos de lechuga.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Aplicar Yodo (I) como activador fisiológico en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en sistema NFT.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar que dosis de yodo aplicado a la lechuga es la adecuada para sistema NFT.
- Establecer frecuencia de aplicación del yodo vía foliar en la lechuga en sistema NFT.
- Establecer la producción en el sistema NFT del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa L.*)

CAPÍTULO II

MÉTODOLOGÍA

2. Materiales

2.1. Equipos y materiales

Tabla 6.

Listado de equipos, materiales y reactivos

| Equipos | Materiales | Reactivos |
|-------------------------|---|-----------------------|
| Motobomba LEO de 1.5 HP | Tubos pvc de 1/2 pulgada | YONEX |
| Balanza | Tubo Venturi | Nitrato de K |
| Espectrofotómetro | Tubos de drenaje de 2 pulgadas | Fosfato Monoamónico |
| Potenciómetro | Codos tapas y uniones plásticas de 2 pulgadas | Fosfato Mono potásico |
| Conductímetro | Tanque de 200 L. | Sulfato de Mg |
| Bomba de oxigenación | Plántulas de lechuga Esponja de polietileno | Nitrato de Ca |
| | Recipientes | |
| | Embudo | |

2.1.1. Ubicación del experimento

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Quito, provincia Pichincha, barrio Ana María, ubicado a 2854 msnm con coordenadas latitud: 0°13'47" Sur Longitud: 78°31'29" Oeste.

2.1.2. Características del lugar

El Barrio Ana María ubicado en el distrito metropolitano, posee suelos de tipo arenoso, franco-arenoso y franco-arcilloso de pH ácido a neutro. El clima que corresponde a la zona se considera templado semihúmedo con un promedio de 15°C y 1100mm de precipitación anual. Sin embargo, es necesario mencionar que el experimento requiere de

condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, mismas que se realizaron en una construcción temporal recubierta en plástico.

2.1.3. Factores en estudio

Para la presente investigación los factores de estudio son:

Tabla 7.

Dosis de Yodo (I)

| Factor | Dosificaci ón |
|---------------|--------------------------|
| A1 | 0.5 cc/L |
| A2 | 1.0 cc/L |
| A3 | 1.5 cc/L |

Tabla 8.

Frecuencia de aplicación

| Factor | Frecuenci a |
|---------------|------------------------|
| B1 | 8 días |
| B2 | 15 días |

2.1.4. Tratamientos

Se emplearon 7 tratamientos los cuales se especifican en la siguiente tabla

Tabla 9.

Aplicación de Yodo en periodos de 8 y 15 días.

| Tratamiento | | Características | |
|--------------------|---------|-------------------------------|-----------------------|
| | | Código/Nombre | Dosis aplicada |
| T1 | 1 | A ₁ B ₁ | 0.5 cc/L a 8 días |
| T2 | 2 | A ₁ B ₂ | 0.5 cc/L a 15 días |
| T3 | 3 | A ₂ B ₁ | 1.0 cc/L a 8 días |
| T4 | 4 | A ₂ B ₂ | 1.0 cc/L a 15 días |
| T5 | 5 | A ₃ B ₁ | 1.5 cc/L a 8 días |
| T6 | 6 | A ₃ B ₂ | 1.5 cc/L a 15 días |
| T7 | Testigo | A ₁ B ₁ | Sin planificación |

2.1.5. Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental con 7 tratamientos de bloques completos al azar con arreglo factorial 3x2+1, DBABC+1. A los datos obtenidos serán analizados mediante el análisis de varianza ANOVA y de aquellos que presenten diferencias significativas se aplicará la prueba estadística de Duncan con nivel de confianza del 95%.

2.1.6. Manejo del experimento

El manejo del experimento se realizó en los cultivos de lechuga monitoreado a partir del día 1, es decir al momento de trasplantar el alveolo a los diferentes sistemas hasta la pertinente cosecha del producto final.

El proceso de cultivo se realizó mediante la técnica NFT el cual se llevó a cabo en un área delimitada a 30 m² como zona de prueba para el sistema.

2.1.8. Cultivo y trasplante

Las semillas se adquirieron mediante una entidad comercial certificada con el fin de garantizar una semilla de calidad y variedad deseada.

Una vez se adquirió las semillas se procedió a sembrarlas en la respectiva bandeja de germinación en donde se tuvo como base turba vegetal 100% estéril en donde

permanecerán durante 2 a 3 semanas o como indicador adicional fue que la plántula germinada presente de 2 a 3 hojas verdaderas.

Las plántulas deben tener una humedad constante y luminosidad de más de 6 horas para evitar su elongación y deshidratación

Se realizó un control fitosanitario (opcional) para prevenir en el futuro algún patógeno que afecte a la producción.

Una vez las plántulas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) tuvieron su edad óptima para trasplante se procedió a dejarlas en remojo durante dos o tres horas antes y de preferencia bajo sombra con el objetivo de que la turba se disuelva con el agua y se desprendan las partículas de turba pegada en la raíz.

Trascurrido este tiempo se tomó las plántulas y se las extrajo de la bandeja de germinación y se procedió a lavarlas en agua limpia solo la parte inferior o zona radicular para eliminar todas las partículas de turba.

Una vez la raíz este desnuda se procede a cortar esponjas de 5 x 5 cm y 5 cm de grosor en donde se realizó un corte vertical hasta la mitad de esta con el objetivo de que abrace a la raíz desnuda teniendo en cuenta que el 70% de la raíz debe sobresalir de la esponja por la parte inferior para que por medio de ella la planta pueda absorber los nutrientes disueltos en el agua.

Se colocó la esponja que contenía la plántula en cada uno de los orificios destinados en los tubos PVC del sistema.

2.1.9. Riego

El sistema de riego se realizó mediante sistema NFT, el agua es proveniente del distrito metropolitano de Quito, el requerimiento de agua para el cultivo es de 200 litros por ciclo y esto dependerá o variará según la temperatura ambiente, clima, viento entre otros factores que pueden incidir directamente en la lámina de riego que requiera el cultivo, por lo cual es mejor mantener una constante circulación para así siempre tener una película de agua en el sistema NFT.

2.1.10. Control fitosanitario

Para el control fitosanitario se emplearon agroquímicos azoxystrobin, Difenconazol, Matalaxyl-M con monitoreos constantes, aplicando estos directamente sobre las manchas

foliares observadas en los cultivos.

2.1.11. Control de plagas

Se realizó el control para evitar el apareamiento de pulgones mediante el uso de Tiametoxam + Lambdacihaloffina.

2.1.12. Fertilización (Medio de cultivo en la matriz NFT)

El uso de fertilizantes en la matriz NFT se realizó mediante el flujo continuo de medio líquido con nutrientes en base a los valores de la siguiente tabla:

Tabla 10.

Nutrientes empleados para suplir los requerimientos del cultivo NFT.

| Tipo | Elemento | Nombre | Peso (g) |
|-----------------------|---|---------------------------------|-----------------------|
| Macronutriente | KNO ₂ | Nitrato de potasio | 630 |
| | NH ₄ P ₂ O ₄ | Fosfato monoamónico | 130 |
| | | KH ₂ PO ₄ | Fosfato mono potásico |
| | MgSO ₄ | Sulfato de magnesio | 460 |
| | H ₃ BO ₄ | Ácido bórico | 4.7 |
| Micronutriente | ZnSO ₄ | Sulfato de zinc | 0.6 |
| | CuSO ₄ | Sulfato de cobre | 0.68 |
| | MnSO ₄ | Sulfato de manganeso | 1.78 |
| | (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ | Molibdato de amonio | 0.2 |
| Suplementos | C ₁₈ H ₁₆ N ₂ O ₆ NaFe | Quelato de hierro | 17 |
| | | (EDDHA) | |
| | Ca (NO ₃) ₂ | Nitrato de calcio | 830 (36%) |

2.1.13. Cosecha

Una vez que el cultivo de lechuga alcanzó su madurez comercial, se procedió a extraer el repollo de una manera cuidadosa, para lo cual se tomó en cuenta el tamaño del producto,

el grado de arepollamiento y el tiempo transcurrido desde el día del trasplante, evitando daños en el producto de acuerdo con los lineamientos del buen manejo post cosecha.

2.1.14. Postcosecha

Posterior a haber terminado la etapa de cosecha se trasladó los repollos a un lugar fresco y seco de temperatura poco variable para conservar los porcentajes de humedad de la cosecha evitando variación en el peso del producto obtenido.

2.2. Variables de respuestas

2.2.1. Número de Hojas

Después de la labor de cosecha se contabilizó el número de hojas que tiene cada repollo.

2.2.2. Peso de hojas a la cosecha

Con ayuda de una balanza se determinó el peso en fresco de las hojas carentes de raíz de cada uno de los tratamientos por separado, estos datos se expresarán en gramos.

2.2.3. Largo de la hoja

Se realizó la medición de la longitud de las hojas con un flexómetro desde el cuello de la planta al borde superior siguiendo la nervadura principal de tres plantas al azar cada 14 días.

2.2.4. Días de cosecha

Se tomó en cuenta el día de la siembra hasta el último día de la madurez comercial de la planta, se determinó el estado del híbrido, asimismo el tiempo para la realización de la cosecha.

2.2.5. Forma del repollo

Se evaluó con ayuda de guías y/o parámetros para clasificación o definición de figuras geométrica en un plano.

2.2.6. Color del repollo

Se determinó una evaluación de color mediante tablas de tintes por gamas de acuerdo con

los colores estandarizados utilizados en la industria de pinturas y pigmentos del Ecuador.

2.2.7. Diámetro Ecuatorial de Repollo

Para registrar el diámetro del repollo se tomaron 10 plantas al azar de cada uno de los tratamientos (total de plantas = 70), empleando una cinta métrica alrededor, el valor se expresó en centímetros.

2.2.8. Aspecto sanitario.

Se determinó a diario si las hojas o raíz presentan alguna fitotoxicidad o daño irreversible a la planta.

2.2.9. Clorofila

Se realizó la cuantificación de clorofila A, B y TOTAL mediante la utilización de un espectrofotómetro tomando como Zero la Acetona.

2.2.10. Rendimiento de cultivo

Posterior a la cosecha se procedió a pesar los repollos obtenidos, contabilizando separando cultivares dañados o de bajo perfil de desarrollo.

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

3. Resultados

3.1. Longitud de la raíz

En la variable de estudio de la longitud de raíz a los 84 días, (tabla 11) se presenta la prueba de Duncan al 5% en donde se puede apreciar que los tratamientos A3B1 (Yodo a 1.5 cc/L. cada 8 días), A3B2 (Yodo a 1.5 cc/L. cada 15 días) y A2B1 (Yodo a 1.0 cc/L. cada 8 días) se ubican en el primer lugar (rango A) de la prueba con una longitud de raíz de 25.33, 25.33 y 21.83 respectivamente. En el último lugar de la prueba (rango C) se ubica el testigo con una longitud de raíz de 16 cm

Aldas, P (2020) Menciona que la concentración de Yodo en tejidos vegetales genera cultivos biofortificados los cuales se ha comprobado que ayuda a su estimulación hasta en 3 veces más directamente a la raíz dependiendo la concentración del elemento que se lo proporcione vía foliar que ingresa por las estomas y es traslocada para el posterior metabolismo en la planta.

Tabla 11.

Longitud de raíz a los 14,28,42,56,70 y 84 días expresada en cm

| TRATAMIENTOS | 14 días | rango | 28 días | Rango | 42 días | rango | 56 días | rango | 70 días | rango | 84 días | rango |
|---------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| A3B1 | 3,17 | A | 5,07 | A | 9,97 | B | 14,17 | B | 20,10 | A | 25,33 | A |
| A3B2 | 3,13 | A | 5,17 | A | 10,00 | A | 14,00 | B | 20,33 | A | 25,33 | A |
| A2B1 | 2,93 | B C | 5,03 | A | 9,84 | B | 15,87 | A | 19,50 | B | 21,83 | A |
| A2B2 | 2,83 | B C | 5,00 | A | 10,30 | A | 14,97 | B | 19,43 | B | 20,77 | B |
| A1B2 | 2,53 | C | 4,60 | A B | 9,40 | B | 14,03 | B | 19,33 | B | 19,33 | B |
| A1B1 | 2,67 | C | 4,67 | A B | 7,67 | C | 13,93 | C | 18,33 | C | 18,67 | B |
| Testigo | 2,83 C | B C | 4,43 | B C | 7,17 | C | 12,00 | C | 16,00 | C | 16,00 | |

3.2. Peso de hojas a la cosecha

En la variable de estudio del peso de las hojas a la cosecha, (tabla 12) se presenta la prueba de Duncan al 5% en donde se puede apreciar que los tratamientos A3B2 (Yodo a 1.5 cc/L. cada 15 días) y A3B1 (Yodo a 1.5 cc/L. cada 8 días) se ubican en el primer lugar (rango A) de la prueba con un peso total de hojas de 138.53 y 132.93g respectivamente. En el último lugar de la prueba (rango B) se ubica el tratamiento A1B1 (Yodo a 0.5cc/L. cada 8 días), A1B2 (Yodo a 0.5cc/L. cada 15 días) y testigo con un peso total de hojas de 100.67, 100.07, y 99.70g respectivamente.

Tabla 12.

Peso de hojas al finalizar el ciclo expresada en g.

| TRATAMIENTOS | Medias | RANGO |
|---------------------|---------------|--------------|
| A3B2 | 138,53 | A |
| A2B1 | 132,93 | A |
| A3B1 | 124,37 | A B |
| A2B2 | 124,87 | A B |
| A1B1 | 100,67 | B |
| A1B2 | 100,07 | B |
| TESTIGO | 99,70 | B |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

(Sularz et al., 2020c) menciona que la concentración de Yodo en tejidos vegetales ya sea que se aplique por drech o foliar siempre tendrá una influencia en el desarrollo de citoplasma ya que aumenta las actividades enzimáticas dando como resultado hojas más vigorosas y en cantidad proporcional.

3.3. Número de hojas a la cosecha

En la variable de estudio del número de las hojas a la cosecha, (tabla 13) se presenta la prueba de Duncan al 5% en donde se puede apreciar que no existe una significancia relevante en cuanto tratamientos sin embargo en el caso de disminuir el rango de significancia el mejor tratamiento viene a ser A3B2 (Yodo a 1.5 cc/L. cada 15 días) con 26.67 y el último lugar de la prueba se ubica el testigo con un número total de hojas de 21.33.

Tabla 13.

Número de hojas al finalizar el ciclo

| <u>TRATAMIENTOS</u> | <u>Medias</u> | <u>RANGO</u> |
|----------------------------|----------------------|---------------------|
| A3B2 | 26,67 | A |
| A3B1 | 24,67 | A |
| A2B1 | 24,67 | A |
| A2B2 | 24,00 | A |
| A1B2 | 23,67 | A |
| A1B1 | 23,33 | A |
| TESTIGO | 21,33 | A |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

A pesar de que la adición de compuestos yodados en el sustrato de un cultivo hidropónico de lechuga puede aumentar la concentración de dicho nutriente en sus hojas, este no afecta en el número de hojas desarrolladas dado que este tipo de características están determinadas por factores genéticos propios de cada variedad (Puccinelli, Malorgio, et al., 2021).

3.4. Longitud de las hojas

Tabla 14.

Longitud de hojas al momento de la cosecha expresadas en cm

| TRATAMIENTOS | 14 días | rango | 28 días | rango | 42 días | rango | 56 días | rango | 70 días | rango | 84 días | rango |
|--------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| A3B2 | 3,03 | A | 5,47 | A | 5,20 | A | 20,33 | A | 23,67 | A | 29,37 | A |
| A2B1 | 2,93 | B C | 5.10 | A B | 5,03 | A B | 12,67 | A | 21,60 | A | 27,00 | A |
| A3B1 | 2,77 | C D | 4.97 | A B | 5,07 | A B | 10,67 | C D | 22,00 | A | 24,67 | A B |
| A2B2 | 2,74 | C D | 4,93 | B C | 4,93 | B C | 11,37 | B C | 22,00 | A | 24,67 | A B |
| A1B2 | 2,97 | B C | 5,30 | A B | 5,00 | A B | 20,00 | A | 22,33 | A | 23,33 | A B |
| A1B1 | 2,80 | B C | 4.90 | B C | 4,87 | C | 12,00 | B C | 20,67 | A | 22,33 | A B |
| Testigo | 3,07 | A | 4.93 | B C | 4,93 | B C | 15,67 | A B | 22,67 | A | 18,33 | B |

Comparativo General de Todos los Tratamientos.

En la variable de estudio de la longitud de las hojas, (tabla 14) se presenta la prueba de Duncan al 5% en donde se puede apreciar que los tratamientos A3B2 (Yodo a 1.5 cc/L. cada 15 días) y A2B1 (Yodo a 1.0 cc/L. cada 8 días) se ubican en el primer lugar (rango A) de la prueba con una longitud de hojas de 29,37 y 27,00 cm respectivamente. En el último lugar de la prueba (rango B) se ubica el testigo con una longitud de hoja de 18.33 cm.

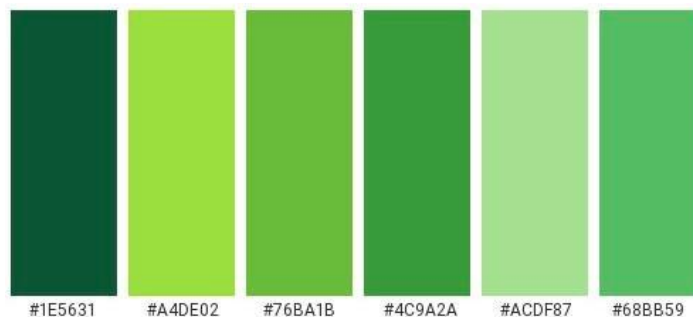
Sahin (2020) menciona que estos componentes, a su vez dan lugar a cambios en la forma química, la biodisponibilidad y velocidad de volatilización de yodo en la biomasa, el agua, y el suelo, así como posibles cambios en la biodisponibilidad de los otros elementos ayuda a la planta desarrollarse en sobremanera para poder generar mayor cantidad de clorofila y como consecuencia mayor longitud en las hojas.

3.5. Forma del repollo

La geometría del conjunto de hojas o arepollamiento de hojas no se pudo evaluar debido a que el patrón que tiene la misma no posee ninguna fuente de partida que se haya estudiado, está catalogada como una roseta o arrosetamiento.

3.6. Color del repollo

Para la variedad empleada que fue lechuga crespa LOLLO ROSA la misma que según la escala utilizada en la industria para identificación de color corresponde al COD: A4DE02.



3.7. Concentración de clorofila

3.7.1. Concentración de clorofila A expresada en μmol

| <u>TRATAMIENTOS</u> | <u>Medias</u> | <u>RANGO</u> |
|---------------------|---------------|--------------|
| A2B2 | 0,88 | A |
| TESTIGO | 0,65 | A |
| A1B2 | 0,63 | A |
| A1B1 | 0,62 | A |
| A3B2 | 0,62 | A |
| A2B1 | 0,58 | A |
| A3B1 | 0,43 | A |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo con el análisis estadístico, en cuanto a la concentración de clorofila A, no se presenta diferencia significativa entre tratamiento, esto es confirmado por la prueba Duncan que agrupa a las medias de todos los tratamientos dentro de un mismo grupo estadísticamente similar.

3.7.2. Concentración de clorofila B expresada en μmol

| <u>TRATAMIENTOS</u> | <u>Medias</u> | <u>RANGO</u> |
|---------------------|---------------|--------------|
| A3B2 | 0,99 | A |
| A2B1 | 0,81 | A B |
| A3B1 | 0,80 | A B |
| A2B2 | 0,63 | A B |
| A1B1 | 0,39 | B |
| TESTIGO | 0,37 | B |
| A1B2 | 0,34 | B |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo con el análisis estadístico, en cuanto a la concentración de clorofila B, no se presenta diferencia significativa. De acuerdo con la prueba de Duncan realizada para comparar la diferencia entre tratamientos se halló que únicamente el tratamiento A3B2 presenta una diferencia significativa en comparación al tratamiento TESTIGO.

3.7.3. Concentración de clorofila total expresada en umol

| TRATAMIENTOS | Medias | RANGO | |
|--------------|--------|-------|---|
| A3B2 | 1,61 | A | |
| A2B2 | 1,57 | A | |
| A2B1 | 1,39 | A | B |
| A3B1 | 1,23 | A | B |
| A1B1 | 1,01 | | B |
| TESTIGO | 1,01 | | B |
| A1B2 | 0,97 | | |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo con el análisis estadístico realizado existe una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos la cual se comprueba con el prueba Duncan que agrupa los tratamientos en 2 grupos estadísticos dentro de los cuales el testigo se ubica en el grupo A con lo que se puede inferir que los tratamientos de este grupo no generan suficiente efecto sobre los cultivos para ser significativos, quedando únicamente los tratamientos A2B2 y A3B2 como tratamientos que si tienen un efecto considerable sobre el nivel de clorofila total.

3.7.4. Resumen de los resultados

Tabla 15.

Resumen de los resultados obtenidos

| Factor de estudio | Mejores tratamientos |
|--------------------------|-----------------------------|
| Longitud de la raíz | A3B1 |
| Peso de las hojas | A3B2 |
| Número de hojas | A3B2 |
| Longitud de hojas | A3B2 |
| Clorofila A | A2B2 |
| Clorofila B | A3B2 |
| Clorofila total | A3B2 |

CAPITULO IV

CONCLUSIONES, REFERENCIAS Y ANEXOS

4. Conclusiones

- Se estableció una producción de lechugas mediante la técnica de cultivo hidropónico NFT, obteniendo un crecimiento satisfactorio de repollos los cuales pudieron llegar a la madurez comercial sin inconvenientes.
- Se determinó que los tratamientos con una dosificación de 1,5cc/L (A3) obtuvieron mejores resultados en comparación a los tratamientos con dosificaciones de 1,0cc/L (A2) y 0,5cc/L (A1) siendo que la dosificación A3 se repite con mayor frecuencia dentro de los mejores tratamientos en todos los factores donde existió una diferencia significativa.
- Dentro de los tratamientos empleados para el experimento la frecuencia de aplicación de yodo que más se repite dentro de los mejores tratamientos es la aplicación cada 15 días (B2) por lo tanto se establece que la frecuencia de aplicación B2 es óptima para potenciar el desarrollo de las lechugas en un sistema de hidroponía NFT.
- Finalmente se concluyó que dentro de los tratamientos empleados en el presente estudio el que permite una mayor cantidad de resultados superiores al tratamiento testigo de forma significativa es el tratamiento A3B2 correspondiente a una dosificación de 1,5cc/L cada 15 días permitiendo obtener mayor longitud de raíces, mayor longitud de hojas y mayor concentración de clorofila B y clorofila total.

5. Recomendaciones

- Dosificar las cantidades exactas para una correcta evaluación en cuanto a tratamientos con el elemento Yodo como activador fisiológico para el cultivo.
- Para un ciclo más corto se recomienda adquirir plántulas ya de 10cm para optimizar tiempo y recursos en vez de germinar semillas en alveolos propios.
- Al momento de realizar el invernadero se recomienda hacerlo con cortinas plegables y serán plegable en el techo como una alternativa para evitar la deshidratación de las plántulas o aún peor estrés y marchitez permanente.

6. Referencias

- Aires, E. S., Aragão, C. A., Gomes, I. L. S., Souza, G. N., Andrade, I. G. V., Oliveira, A. B. N., Bezerra, W. C., & Yuri, J. E. (2020). Growth and production of crisphead lettuce cultivars in protected cultivation and high temperatures. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 15(1), 1–9.
<https://doi.org/10.5039/agraria.v15i1a6288>
- Abd, R. L., & Fairulnizal Md Noh, M. (2019). Iodine Content of Malaysian Foods. *Journal of Nutrition & Food Sciences Research Article 1 J Nutr Food Sci*, 9, 764.
<https://doi.org/10.35248/2155-9600.19.9.764>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*.
- Blasco, B., Rios, J. J., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2008). Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Annals of Applied Biology*, 152(3), 289–299.
<https://doi.org/10.1111/J.1744-7348.2008.00217.X>
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., & Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) “Batavia” cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 27.
- Díaz, C., & Cabrera, J. (2021). *EVALUACIÓN DE CUATRO CULTIVARES DE LECHUGA EN PARÁMETROS AGRONOMICOS SIMILARES EN LA GRANJA SANTA INES*.
- Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. (2001). In *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10026>
- García, H., Benavides, A., Rivas, C., Morales, E., Verde, J., & Miranda, R. (2017). Iodine application increased ascorbic acid content and modified the vascular tissue in *Opuntia Ficus-Indica* L. *Pakistan Journal of Botany*, 46(1), 127–134.

https://www.researchgate.net/publication/259693573_Iodine_application_increased_ascorbic_acid_content_and_modified_the_vascular_tissue_in_Opuntia_Ficus-Indica_L

Garg, N., & Cheema, A. (2021). Relative roles of Arbuscular Mycorrhizae in establishing a correlation between soil properties, carbohydrate utilization and yield in *Cicer arietinum* L. under As stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 111196. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2020.111196>

Gilliam, S. R. (2013). *Engineering of hydroponic systems to enhance biomass of sea oats (Uniola paniculata)*.

Golubkina, N., Moldovan, A., Kekina, H., Kharchenko, V., Sekara, A., Vasileva, V., Skrypnik, L., Tallarita, A., & Caruso, G. (2021). Joint Biofortification of Plants with Selenium and Iodine: New Field of Discoveries. *Plants 2021*, Vol. 10, Page 1352, 10(7), 1352. <https://doi.org/10.3390/PLANTS10071352>

Gong, L., Luo, L., Gao, J., Xiong, Y., Chen, C., Gan, H., Song, H., Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Dolores Oscar Barceinas-Sanchez, J., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. *Agriculture 2022*, Vol. 12, Page 646, 12(5), 646. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12050646>

Gupta, N., Bajpai, M., Majumdar, R., & Mishra, P. (2015). Response of Iodine on Antioxidant Levels of *Glycine max* L. Grown under Cd Stress. *Undefined*.

Kabir, M. T., Uddin, M. S., Jeandet, P., Emran, T. bin, Mitra, S., Albadrani, G. M., Sayed, A. A., Abdel-Daim, M. M., & Simal-Gandara, J. (2021). Anti-Alzheimer's Molecules Derived from Marine Life: Understanding Molecular Mechanisms and Therapeutic Potential. *Marine Drugs 2021*, Vol. 19, Page 251, 19(5), 251. <https://doi.org/10.3390/MD19050251>

Kato, S., Wachi, T., Yoshihira, K., Nakagawa, T., Ishikawa, A., Takagi, D., Tezuka, A., Yoshida, H., Yoshida, S., Sekimoto, H., & Takahashi, M. (2017). Rice (*Oryza sativa* L.) roots have iodate reduction activity in response to iodine. *Frontiers in Plant Science*, 4, 227. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2013.00227/BIBTEX>

- Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19–34.
<https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2016.03.004>
- Křístková, E., Doležalová, I., Lebeda, A., Vinter, V., & Novotná, A. (2008). Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. *Horticultural Science*, 35(3), 113–129. <https://doi.org/10.17221/4/2008-hortsci>
- Krzepiłko, A., Świącilo, A., & Zych-Wężyk, I. (2021). The Antioxidant Properties and Biological Quality of Radish Seedlings Biofortified with Iodine. *Agronomy 2021*, Vol. 11, Page 2011, 11(10), 2011. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11102011>
- Lazo, R. P., & Gonzabay, J. Q. (2020). Economic analysis of hydroponic lettuce under floating root system in semi-arid climate. *La Granja. Revista de Ciencias de La Vida*, 31(1), 121–133. <https://doi.org/10.17163/LGR.N31.2020.09>
- Li, R., Li, D. W., Liu, H. P., Hong, C. L., Song, M. Y., Dai, Z. X., Liu, J. W., Zhou, J., & Weng, H. X. (2017). Enhancing iodine content and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) through biofortification. *Scientia Horticulturae*, 214, 165–173. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2016.11.030>
- Luo, D., He, Y., Tian, J., Sessler, J. L., & Chi, X. (2022). Reversible Iodine Capture by Nonporous Adaptive Crystals of a Bipyridine Cage. *Journal of the American Chemical Society*, 144(1), 113–117.
https://doi.org/10.1021/JACS.1C11731/SUPPL_FILE/JA1C11731_SI_002.MP4
- Mou, B., & Ryder, E. J. (2004a). Relationship between the nutritional value and the head structure of lettuce. *Acta Horticulturae*, 637, 361–367.
<https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2004.637.45>
- Mou, B., & Ryder, E. J. (2004b). Relationship between the nutritional value and the head structure of lettuce. *Acta Horticulturae*, 637, 361–367.
<https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2004.637.45>

- Naseem, S., & Ismail, H. (2022). In vitro and in vivo evaluations of antioxidative, anti-Alzheimer, antidiabetic and anticancer potentials of hydroponically and soil grown *Lactuca sativa*. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 22(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/S12906-022-03520-5/FIGURES/6>
- Noumedem, J. A. K., Djeussi, D. E., Hritcu, L., Mihasan, M., & Kuete, V. (2017a). *Lactuca sativa*. *Medicinal Spices and Vegetables from Africa: Therapeutic Potential Against Metabolic, Inflammatory, Infectious and Systemic Diseases*, 437–449. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00020-0>
- Noumedem, J. A. K., Djeussi, D. E., Hritcu, L., Mihasan, M., & Kuete, V. (2017b). *Lactuca sativa*. *Medicinal Spices and Vegetables from Africa: Therapeutic Potential Against Metabolic, Inflammatory, Infectious and Systemic Diseases*, 437–449. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00020-0>
- Pidlisnyuk, V., Mamirova, A., Pranaw, K., Shapoval, P. Y., Trögl, J., & Nurzhanova, A. (2020). Potential role of plant growth-promoting bacteria in *Miscanthus x giganteus* phytotechnology applied to the trace elements contaminated soils. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 155, 105103. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2020.105103>
- PINK, D. A. C., & KEANE, E. M. (2005). Lettuce: *Lactuca sativa* L. *Genetic Improvement of Vegetable Crops*, 543–571. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-040826-2.50044-8>
- Puccinelli, M., Landi, M., Maggini, R., Pardossi, A., & Incrocci, L. (2021). Iodine biofortification of sweet basil and lettuce grown in two hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 276, 109783. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109783>
- Puccinelli, M., Malorgio, F., Incrocci, L., Rosellini, I., & Pezzarossa, B. (2021). Effects of Individual and Simultaneous Selenium and Iodine Biofortification of Baby-Leaf Lettuce Plants Grown in Two Different Hydroponic Systems. *Horticulturae* 2021, Vol. 7, Page 590, 7(12), 590. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE7120590>
- Rajpurkar, Y. (2016). Hydroponics. Building greenhouses and hydroponic farms to secure and flourish food in Qatar. In *Grin Publishing* (Issue September 2016).

- Rangel, I. E. D., Téllez, L. I. T., Ortiz, H. O., Maldonado, A. J., Morales, S. G., González, B. C., de la Fuente, M. C., & Mendoza, A. B. (2020). Comparison of Iodide, Iodate, and Iodine-Chitosan Complexes for the Biofortification of Lettuce. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 2378, 10(7), 2378.
<https://doi.org/10.3390/APP10072378>
- Sahin, O. (2020). Combined biofortification of soilless grown lettuce with iodine, selenium and zinc and its effect on essential and non-essential elemental composition. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1849300>, 44(5), 673–678.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1849300>
- Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R., & Cesco, S. (2019). Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 10.
<https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.00923>
- Sánchez-García, F., Mirzayeva, A., Roldán, A., Castro, R., Palacios, V., G Barroso, C., & Durán-Guerrero, E. (2021). Effect of different cooking methods on sea lettuce (*Ulva rigida*) volatile compounds and sensory properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(3), 970–980. <https://doi.org/10.1002/JSFA.10705>
- Sapkota, S., Sapkota, S., & Liu, Z. (2019). Effects of Nutrient Composition and Lettuce Cultivar on Crop Production in Hydroponic Culture. *Horticulturae* 2019, Vol. 5, Page 72, 5(4), 72. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE5040072>
- Sheraliev, J., Rasulov, F., & Sci, A. (2021). VALUABLE ECONOMIC TRAITS OF THE HEAD LETTUCE VARIETY SAMPLES RELATING TO THE GENUS LACTUCA SATIVA VAR. CAPITATA. *Multidisciplinary Peer Reviewed Journal ISSN*, 7.
- Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Emran, T. bin, Khan, Z., Mitra, S., Aljohani, A. S. M., Alhumaydhi, F. A., Al-Awthan, Y. S., Bahattab, O., Thiruvengadam, M., & Suleria, H. A. R. (2022a). Phytochemicals, Nutrition, Metabolism, Bioavailability, and Health Benefits in Lettuce—A Comprehensive Review. *Antioxidants* 2022,

- Vol. 11, Page 1158, 11(6), 1158. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX11061158>
- Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Emran, T. bin, Khan, Z., Mitra, S., Aljohani, A. S. M., Alhumaydhi, F. A., Al-Awthan, Y. S., Bahattab, O., Thiruvengadam, M., & Suleria, H. A. R. (2022b). Phytochemicals, Nutrition, Metabolism, Bioavailability, and Health Benefits in Lettuce—A Comprehensive Review. *Antioxidants* 2022, Vol. 11, Page 1158, 11(6), 1158. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX11061158>
- Smoleń, S., Kowalska, I., & Sady, W. (2014). Assessment of biofortification with iodine and selenium of lettuce cultivated in the NFT hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 166, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.11.011>
- Smoleń, S., Wierzińska, J., Sady, W., Kołton, A., Wiszniewska, A., & Liszka-Skoczylas, M. (2015). Iodine biofortification with additional application of salicylic acid affects yield and selected parameters of chemical composition of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 188, 89–96. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2015.03.023>
- Sularz, O., Smoleń, S., Koronowicz, A., Kowalska, I., & Leszczyńska, T. (2020a). Chemical Composition of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Biofortified with Iodine by KIO₃, 5-Iodo-, and 3,5-Diiodosalicylic Acid in a Hydroponic Cultivation. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 1022, 10(7), 1022. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10071022>
- Sularz, O., Smoleń, S., Koronowicz, A., Kowalska, I., & Leszczyńska, T. (2020b). Chemical Composition of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Biofortified with Iodine by KIO₃, 5-Iodo-, and 3,5-Diiodosalicylic Acid in a Hydroponic Cultivation. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 1022, 10(7), 1022. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10071022>
- Sularz, O., Smoleń, S., Koronowicz, A., Kowalska, I., & Leszczyńska, T. (2020c). Chemical Composition of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Biofortified with Iodine by KIO₃, 5-Iodo-, and 3,5-Diiodosalicylic Acid in a Hydroponic Cultivation. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 1022, 10(7), 1022. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10071022>

- Suzuki, W., Sugawara, M., Miwa, K., & Morikawa, M. (2014). Plant growth-promoting bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* P23 increases the chlorophyll content of the monocot *Lemna minor* (duckweed) and the dicot *Lactuca sativa* (lettuce). *Journal of Bioscience and Bioengineering*, *118*(1), 41–44.
<https://doi.org/10.1016/J.JBIOOSC.2013.12.007>
- Terceros, M. J., & Villacorta, W. B. (2019). Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (NFT) en el cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Estación Experimental Patacamaya, La Paz. *Apthapi*, *5*(2), 1608–1615.
<https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/8>
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*.
- Velasteguí-Silva, F. P. (2021). *Cultivo hidropónico de lechuga Green salad bowl habilitado por IoT en Tungurahua (Ecuador) Trabajo* [UNIR].
<https://reunir.unir.net/handle/123456789/12169>
- Villavicencio, A., & Vásquez, W. (2008). Guía técnica de cultivos. *Repositorio Digital INIAP*, *1*.

7. Anexos

Anexo 1. Construcción del Sistema NFT (A)



Anexo 2. Colocación de semillas para germinación



Anexo 3. Colocación de las plántulas en el soporte



Anexo 4. Plántulas colocadas en el sistema NFT



Anexo 5. Lechugas desarrolladas en el sistema NFT



Anexo 6. Preparación de soluciones madre para el sistema NFT



Anexo 7. Suplemento de Yodo aplicado en sistema NFT



Anexo 8. Extracción de la clorofila de las hojas de lechuga



Anexo 9. Cuantificación de clorofila mediante espectrofotometría



Anexo 10. Lechugas cosechadas y empacadas



Anexo 11. Cosecha de las lechugas



Anexo 12. Tablas de variables respuesta

Longitud de la raíz 14 días

Medias de longitud de raíz a los 14 días expresada en cm.

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------------|----|----------------|-------------------|------|
| Longitud Raíz 14 Días | 21 | 0,78 | 0,68 | 4,38 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0,77 | 6 | 0,13 | 8,16 | 0,0006 |
| TRATAMIENTOS | 0,77 | 6 | 0,13 | 8,16 | 0,0006 |
| Error | 0,22 | 14 | 0,02 | | |
| Total | 0,99 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0157 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|---|
| A3B1 | 3,17 | 3 | 0,07 | A | | |
| A3B2 | 3,13 | 3 | 0,07 | A | | |
| A2B1 | 2,93 | 3 | 0,07 | | B | C |
| A2B2 | 2,83 | 3 | 0,07 | | B | C |
| A1B2 | 2,53 | 3 | 0,07 | | B | C |
| A1B1 | 2,67 | 3 | 0,07 | | | C |
| Testigo | 2,83 | 3 | 0,07 | | | C |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de la raíz 28 días

Medias de longitud de raíz a los 28 días expresada en cm.

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------------|----|----------------|-------------------|------|
| Longitud Raíz 28 Días | 21 | 0,47 | 0,24 | 5,22 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0,86 | 6 | 0,14 | 2,03 | 0,1288 |
| TRATAMIENTOS | 0,86 | 6 | 0,14 | 2,03 | 0,1288 |
| Error | 0,99 | 14 | 0,07 | | |
| Total | 1,85 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0705 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|--|
| A3B1 | 5,07 | 3 | 0,15 | A | | |
| A3B2 | 5,17 | 3 | 0,15 | A | | |
| A2B1 | 5,03 | 3 | 0,15 | A | | |
| A2B2 | 5,00 | 3 | 0,15 | A | | |
| A1B2 | 4,60 | 3 | 0,15 | A | B | |
| A1B1 | 4,67 | 3 | 0,15 | A | B | |
| Testigo | 4,43 | 3 | 0,15 | B | C | |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de la raíz 42 días

Medias de longitud de raíz a los 42 días expresada en cm.

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------------|----|----------------|-------------------|------|
| Longitud Raíz 42 Días | 21 | 0,37 | 0,10 | 3,26 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0,22 | 6 | 0,04 | 1,35 | 0,2995 |
| TRATAMIENTOS | 0,22 | 6 | 0,04 | 1,35 | 0,2995 |
| Error | 0,37 | 14 | 0,03 | | |
| Total | 0,59 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0267 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|--|
| A3B1 | 9,97 | 3 | 0,15 | | B | |
| A3B2 | 10,00 | 3 | 0,15 | A | | |
| A2B1 | 9,84 | 3 | 0,15 | | B | |
| A2B2 | 10,30 | 3 | 0,15 | A | | |
| A1B2 | 9,40 | 3 | 0,15 | | B | |

| | | | | |
|---------|------|---|------|---|
| A1B1 | 7,67 | 3 | 0,15 | C |
| Testigo | 7,17 | 3 | 0,15 | C |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de la raíz 56 días

Medias de longitud de raíz a los 56 días expresada en cm.

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Longitud Raíz 56 Días | 21 | 0,79 | 0,66 | 17,76 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 298,67 | 6 | 49,78 | 7,33 | 0,0011 |
| TRATAMIENTOS | 298,67 | 6 | 49,78 | 7,33 | 0,0011 |
| Error | 95,07 | 14 | 6,79 | | |
| Total | 393,74 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 6,7910 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | |
|--------------|--------|---|------|---|
| A3B1 | 14,17 | 3 | 0,15 | B |
| A3B2 | 14,00 | 3 | 0,15 | B |
| A2B1 | 15,87 | 3 | 0,15 | A |
| A2B2 | 14,97 | 3 | 0,15 | B |
| A1B2 | 14,03 | 3 | 0,15 | B |
| A1B1 | 13,93 | 3 | 0,15 | C |
| Testigo | 12,00 | 3 | 0,15 | C |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de la raíz 70 días

Medias de longitud de raíz a los 70 días expresada en cm

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Longitud Raíz 70 Días | 21 | 0,08 | 0,00 | 16,24 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 15,44 | 6 | 2,57 | 0,20 | 0,9715 |
| TRATAMIENTOS | 15,44 | 6 | 2,57 | 0,20 | 0,9715 |
| Error | 180,83 | 14 | 12,92 | | |
| Total | 196,27 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error:12,9162 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | N | E.E | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|
| A3B1 | 20,10 | 3 | 0,15 | A | |
| A3B2 | 20,33 | 3 | 0,15 | A | |
| A2B1 | 19,50 | 3 | 0,15 | | B |
| A2B2 | 19,43 | 3 | 0,15 | | B |
| A1B2 | 19,33 | 3 | 0,15 | | B |
| A1B1 | 18,33 | 3 | 0,15 | | C |
| Testigo | 16,00 | 3 | 0,15 | | C |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de la raíz 84 días

Medias de longitud de raíz a los 84 días expresada en cm

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Longitud Raíz 84 Días | 21 | 0,49 | 0,26 | 16,16 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 209,60 | 6 | 34,93 | 2,20 | 0,1055 |
| TRATAMIENTOS | 209,60 | 6 | 34,93 | 2,20 | 0,1055 |
| Error | 222,54 | 14 | 15,90 | | |
| Total | 432,14 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error:15,8957 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | |
|--------------|--------|---|-----|---|---|
| A3B1 | 25,33 | 3 | A | | |
| A3B2 | 25,33 | 3 | A | | |
| A2B1 | 21,83 | 3 | A | | |
| A2B2 | 20,77 | 3 | | B | |
| A1B2 | 19,33 | 3 | | B | |
| A1B1 | 18,67 | 3 | | B | |
| Testigo | 16,00 | 3 | | | C |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Peso de hojas a la cosecha

Medias de peso de las hojas en la cosecha expresada en gr.

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------------------|----|----------------|-------------------|------|
| PESO DE HOJAS EN LA COSECHA | 21 | 0,71 | 0,59 | 8,87 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 3538,73 | 6 | 589,79 | 5,72 | 0,0034 |
| TRATAMIENTOS | 3538,73 | 6 | 589,79 | 5,72 | 0,0034 |
| Error | 1441,84 | 14 | 103,06 | | |
| Total | 4981,57 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error:103,0600 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|
| A3B2 | 138,53 | 3 | 5,86 | A | |
| A2B1 | 132,93 | 3 | 5,86 | A | |
| A3B1 | 124,37 | 3 | 5,86 | A | B |
| A2B2 | 124,87 | 3 | 5,86 | A | B |
| A1B1 | 100,67 | 3 | 5,86 | | B |
| A1B2 | 100,07 | 3 | 5,86 | | B |
| Testigo | 99,70 | 3 | 5,86 | B | C |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Número de hojas a la cosecha

Medias del número de hojas en la cosecha

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| NUMERO DE HOJAS COSECHA | 21 | 0,25 | 0,00 | 13,15 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 46,95 | 6 | 7,83 | 0,78 | 0,5975 |
| TRATAMIENTOS | 46,95 | 6 | 7,83 | 0,78 | 0,5975 |
| Error | 140,00 | 14 | 10,00 | | |
| Total | 186,95 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 10,0000 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | |
|--------------|--------|---|------|---|
| A3B2 | 26,67 | 3 | 1,83 | A |
| A3B1 | 24,67 | 3 | 1,83 | A |
| A2B1 | 24,67 | 3 | 1,83 | A |
| A2B2 | 24,00 | 3 | 1,83 | A |
| A1B2 | 23,67 | 3 | 1,83 | A |
| A1B1 | 23,33 | 3 | 1,83 | A |
| Testigo | 21,33 | 3 | 1,83 | A |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de las hojas a los 14 días

Medias de longitud de las hojas a los 14 días expresada en cm

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------------|----|----------------|-------------------|------|
| LONGITUD HOJAS 14 DÍAS | 21 | 0,69 | 0,56 | 6,08 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|-----|----|----|----|---|---------|
|-----|----|----|----|---|---------|

| | | | | | |
|--------------|------|----|------|------|--------|
| Modelo | 0,96 | 6 | 0,16 | 5,23 | 0,0051 |
| TRATAMIENTOS | 0,96 | 6 | 0,16 | 5,23 | 0,0051 |
| Error | 0,43 | 14 | 0,03 | | |
| Total | 1,38 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0305 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|---|---|
| A3B2 | 3,03 | 3 | 0,10 | A | | | |
| A2B1 | 2,93 | 3 | 0,10 | | B | C | |
| A3B1 | 2,77 | 3 | 0,10 | | | C | D |
| A2B2 | 2,74 | 3 | 0,10 | | | C | D |
| A1B2 | 2,97 | 3 | 0,10 | | B | C | |
| A1B1 | 2,80 | 3 | 0,10 | | B | C | |
| Testigo | 3,07 | 3 | 0,10 | A | | | |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de las hojas a los 28 días

Medias de longitud de las hojas a los 28 días expresada en cm

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------------|----|----------------|-------------------|------|
| LONGITUD HOJAS 28 DÍAS | 21 | 0,67 | 0,53 | 4,59 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 1,42 | 6 | 0,24 | 4,78 | 0,0075 |
| TRATAMIENTOS | 1,42 | 6 | 0,24 | 4,78 | 0,0075 |
| Error | 0,69 | 14 | 0,05 | | |
| Total | 2,11 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0495 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|---|--|
| A3B2 | 5,47 | 3 | 0,13 | A | | | |
| A2B1 | 5,10 | 3 | 0,13 | A | B | | |
| A3B1 | 4,97 | 3 | 0,13 | A | B | | |
| A2B2 | 4,93 | 3 | 0,13 | | B | C | |
| A1B2 | 5,30 | 3 | 0,13 | A | B | | |
| A1B1 | 4,90 | 3 | 0,13 | | B | C | |
| Testigo | 4,93 | 3 | 0,13 | | B | C | |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de las hojas a los 42 días

Medias de longitud de las hojas a los 42 días expresada en cm

ADEVA**Análisis de Varianza**

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| LONGITUD HOJAS 42 DÍAS | 21 | 0,59 | 0,41 | 12,93 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo | 28,13 | 6 | 4,69 | 3,32 | 0,0302 |
| TRATAMIENTOS | 28,13 | 6 | 4,69 | 3,32 | 0,0302 |
| Error | 19,78 | 14 | 1,41 | | |
| Total | 47,91 | 20 | | | |

Test Duncan**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 0,0495 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|---|---|
| A3B2 | 5,20 | 3 | 0,69 | A | | | |
| A2B1 | 5,03 | 3 | 0,69 | A | B | | |
| A3B1 | 5,07 | 3 | 0,69 | A | B | | |
| A2B2 | 4,93 | 3 | 0,69 | | B | C | |
| A1B2 | 5,00 | 3 | 0,69 | A | B | | |
| A1B1 | 4,87 | 3 | 0,69 | | | | C |
| Testigo | 4,93 | 3 | 0,69 | | B | C | |

*Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)***Longitud de las hojas a los 56 días***Medias de longitud de las hojas a los 56 días expresada en cm***ADEVA****Análisis de Varianza**

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| LONGITUD HOJAS 56 DÍAS | 21 | 0,38 | 0,11 | 12,13 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|-------|----|------|------|---------|
| Modelo | 24,96 | 6 | 4,16 | 1,41 | 0,2767 |
| TRATAMIENTOS | 24,96 | 6 | 4,16 | 1,41 | 0,2767 |
| Error | 41,17 | 14 | 2,94 | | |
| Total | 66,13 | 20 | | | |

Test Duncan**Test: Duncan Alfa=0,05**

Error: 2,9410 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|---|---|
| A3B2 | 20,33 | 3 | 0,99 | A | | | |
| A2B1 | 12,67 | 3 | 0,99 | A | B | | |
| A3B1 | 10,67 | 3 | 0,99 | | | C | D |
| A2B2 | 11,37 | 3 | 0,99 | | B | C | |
| A1B2 | 20,00 | 3 | 0,99 | A | | | |
| A1B1 | 12,00 | 3 | 0,99 | | B | C | |

Testigo 15,67 3 0,99 A B
 Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de las hojas a los 70 días

Medias de longitud de las hojas a los 70 días expresada en cm

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| LONGITUD HOJAS 70 DÍAS | 21 | 0,17 | 0,00 | 19,44 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 38,94 | 6 | 6,49 | 0,48 | 0,8154 |
| TRATAMIENTOS | 38,94 | 6 | 6,49 | 0,48 | 0,8154 |
| Error | 191,01 | 14 | 13,64 | | |
| Total | 229,95 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 13,6433 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | |
|--------------|--------|---|------|---|
| A3B2 | 23,67 | 3 | 2,13 | A |
| A2B1 | 21,60 | 3 | 2,13 | A |
| A3B1 | 22,00 | 3 | 2,13 | A |
| A2B2 | 22,00 | 3 | 2,13 | A |
| A1B2 | 22,33 | 3 | 2,13 | A |
| A1B1 | 20,67 | 3 | 2,13 | A |
| Testigo | 22,67 | 3 | 2,13 | A |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Longitud de las hojas a los 84 días

Medias de longitud de las hojas a los 84 días expresada en cm

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------------|----|----------------|-------------------|------|
| LONGITUD HOJAS 84 DÍAS | 21 | 0,84 | 0,77 | 7,76 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | Gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|----|-------|-------|---------|
| Modelo | 221,98 | 6 | 37,00 | 12,34 | 0,0001 |
| TRATAMIENTOS | 221,98 | 6 | 37,00 | 12,34 | 0,0001 |
| Error | 41,97 | 14 | 3,00 | | |
| Total | 263,95 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 2,9981 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|
| TESTIGO | 29,37 | 3 | 2,13 | A | |
| A1B1 | 27,00 | 3 | 2,13 | A | |
| A1B2 | 24,67 | 3 | 2,13 | A | B |
| A2B1 | 24,67 | 3 | 2,13 | A | B |
| A3B2 | 23,33 | 3 | 2,13 | A | B |
| A3B1 | 22,33 | 3 | 2,13 | A | B |
| A2B1 | 18,33 | 3 | 2,13 | | B |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Concentración de clorofila

Concentración de clorofila A

Medias de concentración de clorofila A expresada en μmol

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|---------------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| CONCENTRACIÓN CLOROFILA A | 21 | 0,14 | 0,00 | 58,87 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 0,31 | 6 | 0,05 | 0,38 | 0,8814 |
| TRATAMIENTOS | 0,31 | 6 | 0,05 | 0,38 | 0,8814 |
| Error | 1,93 | 14 | 0,14 | | |
| Total | 2,24 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 2,9981 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | |
|--------------|--------|---|------|---|
| A2B2 | 0,88 | 3 | 0,21 | A |
| Testigo | 0,65 | 3 | 0,21 | A |
| A1B2 | 0,63 | 3 | 0,21 | A |
| A1B1 | 0,62 | 3 | 0,21 | A |
| A3B2 | 0,62 | 3 | 0,21 | A |
| A2B1 | 0,58 | 3 | 0,21 | A |
| A3B1 | 0,43 | 3 | 0,21 | A |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Concentración de clorofila B

Medias de concentración de clorofila B expresada en μmol

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|---------------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| CONCENTRACIÓN CLOROFILA B | 21 | 0,58 | 0,40 | 40,06 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-----|----|----|----|---|---------|
|-----|----|----|----|---|---------|

| | | | | | |
|--------------|------|----|------|------|--------|
| Modelo | 1,21 | 6 | 0,20 | 3,21 | 0,0340 |
| TRATAMIENTOS | 1,21 | 6 | 0,20 | 3,21 | 0,0340 |
| Error | 0,88 | 14 | 0,06 | | |
| Total | 2,09 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0630 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | n | E.E | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|
| A3B2 | 0,99 | 3 | 0,21 | A | |
| A2B1 | 0,81 | 3 | 0,21 | A | B |
| A3B1 | 0,80 | 3 | 0,21 | A | B |
| A2B2 | 0,63 | 3 | 0,21 | A | B |
| A1B1 | 0,39 | 3 | 0,21 | | B |
| Testigo | 0,37 | 3 | 0,21 | | B |
| A1B2 | 0,34 | 3 | 0,21 | | B |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Concentración de clorofila total

Medias de concentración de clorofila total expresada en μmol

ADEVA

Análisis de Varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| CLOROFILA TOTAL | 21 | 0,65 | 0,50 | 18,10 |

Cuadro de análisis de la Varianza

| F.V | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|------|------|---------|
| Modelo | 1,34 | 6 | 0,22 | 4,31 | 0,0114 |
| TRATAMIENTOS | 1,34 | 6 | 0,22 | 4,31 | 0,0114 |
| Error | 0,72 | 14 | 0,05 | | |
| Total | 2,06 | 20 | | | |

Test Duncan

Test: Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0630 gl: 14

| TRATAMIENTOS | Medias | N | E.E | | |
|--------------|--------|---|------|---|---|
| A3B2 | 1,61 | 3 | 0,13 | A | |
| A2B2 | 1,57 | 3 | 0,13 | A | |
| A2B1 | 1,39 | 3 | 0,13 | A | |
| A3B1 | 1,23 | 3 | 0,13 | A | B |
| A1B1 | 1,01 | 3 | 0,13 | | B |
| Testigo | 1,01 | 3 | 0,13 | | B |
| A1B2 | 0,97 | 3 | 0,13 | | C |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)