



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

**PRODUCCIÓN DE LECHUGA HIDROPÓNICA (*Lactuca Sativa L.*)
EN SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE BAJO EL EFECTO DE 3
BIOESTIMULANTES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO.

Autor: Walter Iván González José

La Libertad, 2020



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

**PRODUCCIÓN DE LECHUGA HIDROPÓNICA (*Lactuca Sativa L.*)
EN SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE BAJO EL EFECTO DE 3
BIOESTIMULANTES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Walter Iván González José

Tutor: Ing. Mercedes Santistevan Méndez PhD.

La Libertad, 2020

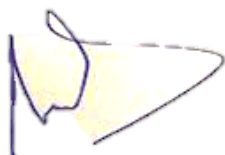
TRIBUNAL DE GRADO



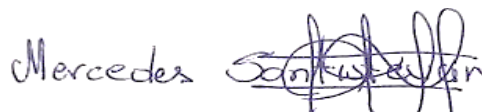
Ing. Néstor Acosta Lozano, PhD.
**DECANO (E) DE LA FACULTAD
CIENCIAS AGRARIAS
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD.
**DIRECTORA CARRERA
AGROPECUARIA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Andrés Drouet Candell, MSc.
**DOCENTE DEL ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Mercedes Santistevan M., PhD.
**DOCENTE TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Abg. Víctor Coronel Ortiz, Mgt.
SECRETARIO GENERAL (E)

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente al ser creador (Dios) por darme esta oportunidad de cumplir una meta más en mi vida.

A mis padres, Ignacio y Agripina, a mis hermanas por ser el pilar fundamental de mis fortalezas y por la confianza que me han dado.

A todos mis amigos que desde un inicio estuvieron presente para apoyarme en mis principales ideas.

A la fundación Plan Internacional Ecuador por brindarme su apoyo desde el inicio de mi carrera y haber desarrollado en mí una actitud positiva y una aptitud competitiva.

A todos los docentes de la Universidad Estatal Península de Santa Elena que aportaron al desarrollo de mis conocimientos para poder realizar este proyecto.

A mis tutoras Ing. Mercedes Santistevan y Ing. Rosa Pertierra por el gran aporte en la preparación, ejecución y presentación de este trabajo de investigación.

“Nadie en la vida logra una meta sin ayuda de los demás”

Walter González José

DEDICATORIA

Este trabajo se lo quiero dedicar especialmente a mis padres, soy el reflejo de cada gota de sudor que ellos dieron por mí, también al resto de personas que ayudaron a forjar mi camino con un poco de actitud positiva, y que este logro sea el ejemplo por alcanzar una educación superior.

Walter González José

RESUMEN

Santa Elena es una zona con mucho potencial productivo en la agricultura, sin embargo, en algunos lugares existe déficit de agua para riego, la constante presencia de plagas y enfermedades en los cultivos ha incrementado el uso inminente de insumos químicos, dando como resultado los altos costos de producción; mientras que su productividad sigue disminuyendo. Frente a esto se plantea cultivar en diferentes sistemas hidropónicos para aumentar los rendimientos de los cultivos, utilizando menor área bajo cultivo y mayor eficiencia en el consumo de agua y nutrientes (fertilizantes), y por consiguiente bajando los costos de producción. El proyecto de investigación tuvo como objetivo evaluar la producción de lechuga hidropónica en el sistema de raíz flotante bajo el efecto de 3 bioestimulantes, para esto se utilizó la lechuga var. Vizir, en un diseño completamente al azar (DCA), distribuido en 6 tratamientos y 4 repeticiones, cada unidad experimental estuvo compuesta por 20 plantas/m², el bioestimulante extracto de alga marina (0.30 g/L) y Oxido de silicio a 0.25 (cc/L) fue mezclado con la solución nutritiva y el aminoácido (1 g/L) aplicación foliar. Como respuesta se obtuvo el rendimiento más alto en el T1 (testigo) con 4, 268.16 g, alcanzando una altura de 14.75 cm, peso fresco de follaje 122.09 g y 12.35 g de peso fresco de raíz. Sin embargo, el T4 (Aminoácidos) tiene el mayor número de hojas con promedios de 26 hojas por planta. El calor acumulado por la variedad Vizir para el desarrollo del escapo floral es de 375.2 grados días acumulados hasta el día 20 ddt dando como indicio a la cosecha. Por otra parte, el consumo de agua fue de 1.39 L/planta/ciclo y el costo de producción es de USD \$ 1,224.19 para 1000 m² de infraestructura, y un valor por unidad de lechugas (134.44 g) producidas de USD \$ 0.09.

Palabras clave: Hidroponía, lechuga, bioestimulantes, producción.

ABSTRACT

Santa Elena is an area with a lot of production potential in agricultura, however, in some places exist water deficit for irrigation, the constant presence of pests and diseases on crops has increased the imminent use of chemical inputs, giving as a result high production costs; while its productivity continues to decline. Against this is posed grow in different hydroponic systems to increase crop yields, using less area under cultivation greater efficiency in water consumption and nutrients (fertilizer), and therefore lowering the production costs. The research Project has the objective of evaluate the hydroponic lettuce production in the floating root system under the effect of 3 biostimulants, for this was used the lettuce var. Vizir, in a completely random design (DCA), distributed in 6 treatments and 4 repetitions, each experimental unit consisted of 20 plants/m², the biostimulant seaweed extract (0.30 g/L) and silicon oxide to 0.25 cc/L was mixed with the nutrient solution and the amino acid (1 g/L) foliar application. As response was obtained the performance higher in the T1 (witness) with 4, 268.16 g, reaching a height of 14.75 cm, fresh weight of foliage 122.09 g and 12.35 g of fresh weight of root, however, the T4 (amino acids) has the largest number of leaves with averages of 26 leaves per plant. The heat accumulated by the variety Vizir for the development of the floral scape is 375.2 degree days accumulated until the day 20 ddt giving as an indication to the harvest. On the other hand, water consumption was 1.39 L/plant/cycle and the cost of production is USD \$ 1,224.19 to 1000 m² of infrastructure, and a value per unit of lettuce produced (134.44 g) to USD \$ 0.09.

Key words: hydroponia, lettuce, biostimulants, production.

“El contenido del presente trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península De Santa Elena”.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Generalidades de la Lechuga.....	4
1.1.1. Variedad Vizir	4
1.2. Producción mundial de lechuga.....	5
1.3. Producción de lechuga en Ecuador	6
1.4. Producción de lechuga en Santa Elena	6
1.5. Grados días (GD)	6
1.6. Luz diaria integrada (LDI).....	7
1.7. Hidroponía	7
1.7.1. Sistema de raíz flotante (SRF)	8
1.7.2. Calidad del agua	9
1.7.3. Soluciones nutritivas	9
1.8. Experiencias de lechuga en sistema de raíz flotante	11
1.9. Bioestimulantes	11
1.9.1. Otras experiencias con bioestimulantes	12
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y METODOS	14
2.1. Ubicación y descripción del lugar del experimento	14
2.2. Material biológico	15
2.3. Materiales y equipos.....	15
2.3.1. Materiales	15
2.3.2. Equipos.....	15
2.4. Infraestructura invernadero.....	16
2.5. Clima.....	17
2.5.1. Temperatura, humedad relativa y radiación – Invernadero	17
2.5.2. Grados días acumulados (GDA)	17
2.5.3. Luz diaria integrada (LDI).....	17
2.6. Parámetro de solución nutritiva	18
2.7. Tratamiento y diseño experimental.....	18
2.7.1. Delineamiento experimental	19
2.8. Manejo del experimento	20

2.8.1.	Semillero	20
2.8.2.	Solución nutritiva	21
2.8.3.	Manejo fitosanitario.....	22
2.8.4.	Cosecha	22
2.9.	VARIABLES EXPERIMENTALES.....	22
2.9.1.	VARIABLES AGRONÓMICAS	22
2.10.	Costo de producción de la lechuga	23
CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES		24
3.1.	VARIABLES CLIMÁTICAS	24
3.1.1.	Temperatura	24
3.1.2.	Humedad relativa.....	26
3.2.	Determinación de gados días acumulados (GDA).....	27
3.3.	Determinación de luz diaria integrada (LDI).....	28
3.4.	Parámetros de solución nutritiva	29
3.4.1.	Temperatura de solución nutritiva	29
3.4.2.	Potencial de hidrógeno (pH).....	30
3.4.3.	Conductividad eléctrica	32
3.5.	Comportamiento de lechuga hidropónica	33
3.5.1.	Altura de la planta	33
3.5.2.	Número de hoja y largo de la hoja.....	34
3.5.3.	Peso fresco del follaje y raíz.....	35
3.5.4.	Peso seco del follaje y raíz.....	37
3.5.5.	Materia seca (%) de follaje y raíz	38
3.6.	Rendimiento	39
3.7.	Análisis foliar	40
3.8.	Consumo de agua	41
3.9.	Costos.....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		43
Conclusiones		43
Recomendaciones		43
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de calidad de agua para sistemas hidropónicos.	9
Tabla 2. Concentración de nutrientes en la solución nutritiva según Hoagland y Arnon, La Molina y la FAO para lechuga.	10
Tabla 3. Composición química de los macronutrientes y micronutrientes.....	10
Tabla 4. Análisis de agua.....	14
Tabla 5. Distribución de los grados de libertad	19
Tabla 6. Composición química de los macros y micros nutrientes.....	21
Tabla 7. Promedios de temperaturas en el invernadero en septiembre/Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica en sistema de raíz flotante.....	25
Tabla 8. Humedad relativa máxima y mínima en los días de septiembre/ Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	26
Tabla 9. Grados días acumulados en los días de septiembre/ Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	27
Tabla 10. Temperatura (°C) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.....	30
Tabla 11. : Potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	31
Tabla 12. Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	33
Tabla 13. Peso completo de la planta de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	39
Tabla 14. Análisis foliar de lechuga variedad Vizir en sistema de raíz flotante.....	41
Tabla 15. Consumo de agua en lechuga variedad Vizir en sistema de raíz flotante..	41
Tabla 16. Costo de producción de lechuga hidropónica en sistema de raíz flotante .	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de sistema de raíz flotante con recirculación.....	16
Figura 2. Unidad experimental (UE) y distribución de las plantas de lechuga.....	20
Figura 3. Distribución de los tratamientos y repeticiones.	20
Figura 4. Presencia de pulgón en cultivo hidropónico de lechuga.	22
Figura 5. Temperaturas en el invernadero en la etapa de la investigación septiembre/ Octubre del 2019, en sistema de raíz flotante.....	24
Figura 6. Humedad relativa máxima y mínima en los días de septiembre/ Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica.	26
Figura 7. Grados días acumulado en los días de septiembre/Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	27
Figura 8. Luz diaria integrada (LDI), en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	28
Figura 9. Temperatura (°C) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.....	29
Figura 10. Potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	31
Figura 11. Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	32
Figura 12. Efecto de bioestimulantes sobre la altura de planta en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.....	34
Figura 13. Efecto de bioestimulantes sobre el número de hojas y largo de la hoja en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.	35
Figura 14. Efecto de bioestimulantes sobre el peso fresco de follaje y raíz en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.....	36
Figura 15. Efecto de bioestimulantes sobre el peso seco de follaje y raíz en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.....	37
Figura 16. Efecto de bioestimulantes sobre materia seca (%) de follaje y raíz en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.....	38
Figura 17. Rendimiento de lechuga hidropónica lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.....	40

ÍNDICE DE ANEXOS

- Tabla 1A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 4 ddt.
- Tabla 2A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 8 ddt.
- Tabla 3A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 12 ddt.
- Tabla 4A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 16 ddt.
- Tabla 5A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 20 ddt.
- Tabla 6A. Evaluación de análisis foliar en lechuga hidropónica.
- Tabla 7A. Datos de radiación y cálculo de LDI.
- Tabla 8A. Parámetros de SN - comparación de pares entre tratamientos.
- Tabla 9A. Consumo de agua en lechuga hidropónica (SRF).
- Tabla 10A. Humedad relativa en el cultivo de lechuga hidropónica.
-
- Figura 1A. Semillero de lechuga.
- Figura 2A. Tanques de solución nutritiva y regla de medición.
- Figura 3A. Trasplante de lechuga en el sistema de raíz flotante.
- Figura 4A. Crecimiento y desarrollo del cultivo de lechuga hidropónica 8 ddt.
- Figura 5A. Cultivo de lechuga hidropónica a los 9 ddt.
- Figura 6A. Desarrollo de raíces en solución nutritiva con óxido de silicio a los 10 ddt.
- Figura 7A. Peso fresco de planta en los días 12 y 16 ddt.
- Figura 8A. Desarrollo de las raíces en el día 20 ddt.
- Figura 9A. Cosecha de lechuga hidropónica en el día 20 ddt.
- Figura 10A. Peso seco del follaje.
- Figura 11A. Resultados del análisis foliar.

INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una planta reconocida por su alto contenido de vitaminas A, C y E, minerales como calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro o selenio. Siendo ideal en el consumo humano para las dietas y circulación de la sangre (Hurtado *et al.*, 2003). Este cultivo en su diferentes formas y colores es una de las hortalizas más consumidas en todo el mundo, siendo producidas en zonas subtropicales a campo abierto e invernadero (Saavedra, 2017).

Según la base de dato FAOSTAT en FAO (2020) la producción mundial de lechuga en el 2018 fue 27.5 millones de toneladas: China produjo el 57% y EE. UU. el 13.5%, seguido por India 4.5%, España 3.4% e Italia 2.8%. Sin embargo, los países con mayor rendimiento t/ha se ubican en el siguiente orden Bulgaria (98.8), Kuwait (46.8), Noruega (41.4), República democrática (41.1), Bélgica (40.8), Jordania (39.8) entre otros. En Sudamérica, Colombia obtiene los mejores rendimientos por hectárea con 22.2 seguido de Venezuela (19.8), Chile (13.4), Perú (10.9) y Ecuador (7.4).

En Ecuador existen 1 145 ha cultivadas de lechugas con rendimientos promedio de 7.9 ton/ha, de las cuales el 70% es lechuga criolla y el 30% es de variedades como la roja, la roma o salad. Las provincias de mayor producción son: Cotopaxi (481 ha), Tungurahua (325 ha) y Carchi (96 ha) y así la lechuga repollo o “criolla” es elegida por los ecuatorianos (Solagro, 2016).

En los últimos tiempos se evidencia la necesidad de producir alimentos en grandes cantidades por el aumento de la población humana. La aplicación de nuevas tecnologías en la producción de cultivos ha obtenido resultados favorables para el productor y consumidor (Arancon *et al.*, 2015). Sin embargo, se ha descuidado un pilar fundamental de los ecosistemas que es el recurso ambiente, producir más implica aumento en la demanda de insumos químicos y sumando los problemas climáticos, las modalidades de los sistemas de producción buscan un cambio para optar por nuevas técnicas amigables con el ambiente y obtener productos inocuos.

La importancia de producir de manera sana y ecológica proviene verdaderamente de las múltiples complicaciones que se está evidenciando en el sector agropecuario,

empezando por la degradación de los suelos y aumento de plagas y enfermedades propiciando el aumento de usos químicos como fertilizantes y plaguicidas (Vega *et al.*, 2015).

La hidroponía es una técnica de “cultivar sin suelo”, se suministra a la planta los nutrientes necesarios para su desarrollo por medio del sistema de riego y puede ser considerada como una alternativa eficaz, para mitigar los problemas presentes en las producciones agrícolas especialmente en zonas rurales y urbanas, aparte se reconoce a esta tecnología por obtener frutos y hortalizas de buena calidad, frescas, sin contaminación, y en mejores condiciones de nutrición (Díaz, 2017).

Según la FAO (2002) en el proyecto "Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA" se implementaron cultivos de hidroponía simplificada (HS) de manera sostenida para mejorar la disponibilidad de alimentos de los niños y niñas menores de 6 años. Producir cultivos hidropónicos implica una alta inversión inicial puesto que se necesita construir estructuras de soporte para el desarrollo de la planta, sistema de riego eficiente y un invernadero para controlar condiciones ambientales como evaporación de agua e incidencia de plagas y enfermedades (Tigrero, 2018).

Santa Elena, una zona semiárida con déficit de recurso hídrico para el desarrollo de la agricultura (Méndez, 2019). Los cultivos hortícolas como el pimiento y pepino son cultivados mayoritariamente tomando en cuenta su estacionalidad puesto que son los meses de mayor producción; como alternativa frente a estas restricciones del clima y escases de recursos se plantea la implementación de cultivos hidropónicos porque al utilizar este sistema las ventajas son varias empezando por: una mejor optimización en el uso agua, cosecha en menor tiempo, mayor rendimiento en menor área y se obtienen productos inocuos.

Estudios realizados en la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), en lechuga hidropónica en diferentes épocas del año con la variedad Acephala cv. “crespa” bajo el sistema de raíz flotante estimó como valor promedio que la planta necesita 505 GDA (grados días acumulado) para pasar a la fase reproductiva (emisión de escape floral) esto, aproximadamente sucede entre 20 – 25 días después del

trasplante quedando en condiciones óptimas para la cosecha con promedio de peso fresco follaje de 126 g y peso fresco raíz de 16 g con solución nutritiva Hoangland/Arnon (Ricardo, 2019). En correspondencia con los antecedentes planteados se formula el siguiente **Problema Científico:**

¿Es posible mejorar la producción / unidad área de lechuga por la aplicación de bioestimulantes en las condiciones climáticas de la provincia de Santa Elena?

Para dar respuesta a este problema se define la siguiente **hipótesis:**

Al menos 1 de los 3 bioestimulantes aplicados producen efectos positivos en el ritmo de crecimiento de las plantas que se expresará en mayor peso comercial.

Para validar esta hipótesis se plantean los siguientes **objetivos:**

Objetivo general

Evaluar la producción de lechuga hidropónica en sistema de raíz flotante bajo el efecto de 3 bioestimulantes.

Objetivos específicos

1. Determinar el rendimiento de lechuga hidropónica (raíz flotante) bajo el efecto de 3 bioestimulantes.
2. Calcular los grados día requeridos por la variedad de lechuga para emitir el escape floral.
3. Analizar el costo de producción de la lechuga hidropónica.

CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Generalidades de la Lechuga.

El origen de la lechuga no está muy claro, pero es muy probable que tuvo sus inicios entre Asia menor y la cuenca del mediterráneo. Hipócrates menciona que en el 430 a. C. la lechuga fue cultivada en Egipto y tuvo su expansión a Grecia, Roma y a toda la región mediterránea. Fue traído a América por Cristóbal Colon en su segundo viaje, en la isla Isabella del año 1494 (Saavedra, 2017).

Según Holguín (2018) la lechuga, nombre científico (*Lactuca Sativa L.*) pertenece a la familia Asteraceae, presenta flores agrupadas en forma de capítulo. Galmarini (2014) menciona que existen un sinnúmero de variedades en la cual se puede clasificar en, formadores de repollo (hojas mantecosas, hojas latinas, y crespas) y no formadores de repollo (Cos Romana y hoja crespas).

El cultivo de lechuga tiene características morfológicas de raíz pivotante de 25 - 30 cm de profundidad con ramificaciones. El tallo en la fase comercial es pequeño, cilíndrico y sin ramificaciones, al terminar esta etapa se prolonga hasta 1.2 m de longitud, con ramificaciones. Las hojas están desplegadas al principio en forma de roseta durante todo su desarrollo (variedades romanas), otras se acogollan, el borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado. La inflorescencia se presenta en capítulos florales amarillos dispuestos en racimos y presentan de 10 a 25 floretes. Su semilla es picuda y plana, botánicamente es un fruto en forma aovada, achatada, con tres a cinco costillas en cada cara, de color blanco, amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 5 mm (Santiago, 2005).

1.1.1. Variedad Vizir

La lechuga de la variedad Vizir pertenece al grupo de lechugas no formadoras de repollo y se conoce comúnmente como “hojas de roble verde” es voluminosa con muy buen peso, recomendado para el aire libre e invernaderos en el periodo de primavera-verano- otoño, es de color verde, de tamaño mediano, de consumo fresco, es resistente al espigado. Posee las siguientes características de resistencia:

HR: Resistencia alta:	Bl: Variedad resistente a las razas de <i>Bremia Lactucae</i> que se indican. 16 -28, 30-32.
	Nr: Variedad resistente a <i>Nasonovia ribisnigri</i>
	TBSV: Variedad resistente a <i>Tomato bushy stunt virus</i> (Lettuce die-back).
IR: Resistencia intermedia:	LMV: Variedad resistente a <i>lettuce Mosaic Virus</i> (virus del mosaico de la lechuga).

Fuente: Elaborado por información extraída de Vitalis, (2017).

Esta variedad de lechuga por ser de hoja se obtiene resultados de masa fresca de 2,575 – 2, 748 gramos por metro cuadrado en sistemas hidropónico – acuapónico (Quispe *et al.*, 2018).

1.2. Producción mundial de lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) sin importar su forma y color es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo (Saavedra, 2017). A nivel mundial son 107 países productores de esta hortaliza (SIAP, 2018). La exportación mundial de lechuga en el 2018 está liderada por los siguientes países:

País	País	Toneladas métricas	% de la exportación mundial
1	España	853.19 Millones	37.3
2	EE. UU.	330.64 Millones	14.35
3	México	211.85 Millones	9.19
4	Países bajo	141.08 Millones	6.12
5	Italia	130.56 Millones	5.67
6	Irán	123.86 Millones	5.38
7	China	96.30 Millones	4.18
8	Bélgica	55.53 Millones	2.41
9	Alemania	45.23 Millones	1.96
10	Francia	41.52 Millones	1.80

Fuente: División de Estadística de las Naciones Unidas, elaborado por Hortoinfo, (2019).

En el 2018 España fue el mayor exportador de lechuga y por ende también es el país que obtuvo el más ingreso con un alrededor de 745.24 millones de euro, representando en 31.1% del valor de las exportaciones de totales del mundo. (Noguera, 2020).

1.3. Producción de lechuga en Ecuador

Según Zea *et al.*, (2020), el principal consumo de esta hortaliza se centra en la región interandina del Ecuador, siendo producido por pequeños y grandes productores. A nivel nacional se siembran 1,278 en la cual se cosechan 1,227 con un total de 9,196 TM llegando a la venta 8,854 TM. (SICA, 2002). De acuerdo a la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) del instituto nacional de Estadística y Censos, el rendimiento promedio por ha en Ecuador es de 7.2 TM (INEC, 2018).

En Ecuador no existe grandes cantidades de producción hidropónica, sin embargo, sus ventajas de ser cosechado en menor tiempo y con calidad óptima ha logrado que de a poco en algunos lugares empiezan a crecer pequeñas empresas. (MAG, 2018).

1.4. Producción de lechuga en Santa Elena

La lechuga no es tradicional para los agricultores en la provincia de Santa Elena por ser un cultivo de clima frío, pero su consumo es muy acogido que sirve para acompañar de gustosos platos de comida. Existe referencia de la lechuga de hoja bajo sistemas hidropónicos de raíz flotante como un sistema de producción alternativo, en la cual se puede realizar hasta 12 cosechas al año con pesos de 115.8 y 150.1 g planta⁻¹, un promedio de 139 gramos (Pertierra & Quispe, 2020).

1.5. Grados días (GD)

El desarrollo de un cultivo depende en gran medida de la temperatura y el fotoperiodo; sin embargo, en el trópico la temperatura ambiental es la variable con mayor influencia en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (López *et al.*, 2011).

Los grados días (GD) es la cuantificación del mismo sobre una temperatura umbral donde las plantas pueden cumplir su desarrollo, es decir cuantifica la acción positiva que ejerce la temperatura en la planta por acumulación de calor (González, 2014). Los

grados día acumulados, es importante para determinar el “tiempo fisiológico” de los cultivos, expresados en número de *grados-días* (°Cd) necesario para la finalización de una etapa o fase fenológica (Trudgill *et al.*, 2005).

1.6. Luz diaria integrada (LDI)

Según Torres & López, (2010) esta unidad representa los números de fotones de luz que se acumula por cada metro cuadrado en un día. Gutiérrez, (2011) menciona que, el cultivo de lechuga es exigente a luz y está relacionado con el agrandamiento de las hojas, aunque en presencia de altas temperaturas la planta puede crecer y madurar, esto concuerda con lo que señalan Silva & Briones, (2016) la combinación de una baja intensidad lumínica y alta temperatura (30 °C) las hojas de lechuga se mantienen más largas que anchas.

1.7. Hidroponía

La hidroponía se define como una técnica para producir cultivos inocuos. Esta técnica permite obtener cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional, mejor sabor y calidad del producto, mayor homogeneidad y producción (Díaz, 2017).

También se puede definir como un conjunto de técnicas que permite cultivar plantas principalmente de tipo herbáceo en un medio libre de suelo. La hidroponía permite el uso de estructuras simples o complejas, cultivando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos e invernaderos climatizados o no, etc. De esta técnica se desarrollaron sustratos para el sostén de las plantas y sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vista las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes (Beltrano & Giménez, 2015).

Según en la revista Encontexto, (2018) el uso de sistemas hidropónicos es una solución para producir sin suelo, el gasto de agua y nutrientes es sumamente bajo (aeroponía), genera un mayor rendimiento por área y por planta. El sistema aeropónico es uno de los más recientes que se está utilizando parecido al de raíz flotante con la diferencia que no sumerge la raíz en la solución y es humedecido por nebulizadores o aspersión en el interior del tanque o cama de almacenamiento.

El sistema NFT y raíz flotante utiliza un sistema de tuberías PVC con perforaciones donde se ubica cada planta, tiene la ventaja que se puede controlar el flujo que circula en el interior de tuberías y está en pleno contacto con las raíces, con ayuda de un temporizador se programa el riego para garantizar una mejor aereación de las raíces (Villarreal & Mendoza, 2018).

1.7.1. Sistema de raíz flotante (SRF)

Pizarro *et al.*, (2019), menciona que para producir hidropónicamente con sistema de raíz flotante es de vital importancia tomar en cuenta 4 factores importantes para lograr el éxito de los cultivos a establecer:

1. **Calidad del agua:** de forma química se debe analizar el pH y los valores que corresponden a la acidez y alcalinidad; conductividad eléctrica (CE) indicando la presencia de sales disueltas en la solución; biológicamente se deberá determinar la presencia de coliformes fecales.
2. **El segundo factor es la aeración u oxigenación:** favorece al desarrollo de raíces y absorción de nutrientes con mayor eficiencia.
3. **Solución nutritiva:** que los aportes de elementos esenciales sean balanceados acorde a las necesidades del cultivo.
4. **Manejo y prácticas culturales bajo invernadero:** poniéndole atención a las condiciones ambientales, sanitarias y productivas.

Este sistema consiste en una plancha de espuma que soporta a la planta y de un recipiente donde se coloca la solución nutritiva, este sistema es sencillo de construir y de bajo costo y no se necesita de energía extra, existen desventajas como necesidad de realizar el cambio o renovar solución semanalmente, aeración diariamente de la solución y formulación frecuente de solución nutritiva. En este sistema los cultivos que mejor se adaptan son aquellos de hoja como lechuga, espinaca y el de plantas aromáticas (Gilsanz, 2007).

Cabe mencionar que para obtener una buena producción bajo este sistema es muy importante airear la solución nutritiva por medio un inyector de aire o un de forma manual y luego vertiendo la solución, esto se realiza al menos 2 veces al día. Una

forma de saber si la oxigenación está mal realizada es por medio de las raíces que se vuelven oscuras impidiendo la absorción de agua y nutrientes (García, 2007).

1.7.2. Calidad del agua

Al igual que en campo en hidroponía se debe contar con un análisis de agua para saber la cantidad de carbonatos y otros factores como el pH y CE para hacer las respectivas correcciones y utilización del tipo de fertilizantes en la preparación de la solución nutritiva, si el pH no es el idóneo para el cultivo se puede usar ácido fosfórico para corregir (Favela, 2006). En lo descrito por Pizarro *et al.*, (2019) que el agua debe cumplir los parámetros de calidad de agua para un sistema hidropónico:

Tabla 1. Parámetros de calidad de agua para sistemas hidropónicos.

Mediación	Unidad	Valores recomendados
pH	-	5.5 – 7.0
CE	dS m-1	< 1
RAS	-	< 6
Na	%	< 35
Cl	mg l-1	< 200
SO4	mg l-1	< 250
HCO3	mg l-1	< 700
Coliformes fecales	NMP 100 ml agua -1	< 1,000

Fuente: Pizarro *et al.*, (2019).

1.7.3. Soluciones nutritivas

En una solución nutritiva (SN) los nutrientes son suministrados a través de sales o fertilizantes químicos que se agregan al agua, diluyéndose en cantidades y concentraciones óptimas, a esta combinación de agua y sales se le denomina solución nutritiva. (Hernán, 2001). Por otro lado, se dice que el tema de saber elegir la solución “mejor” o “balanceada” para los cultivos se necesita de dedicación y tiempo.

Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas (García, 2007). Una solución nutritiva (SN) compone

de agua con oxígeno y de todos los nutrimentos esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de hierro y de algún otro micronutriente que puede estar presente (Steiner, 1968).

Tabla 2. Concentración de nutrientes en la solución nutritiva según Hoagland y Arnon, La Molina y la FAO para lechuga.

Concentraciones (ppm)			
Elemento	Hoagland y Arnon (1938) Estándar	La Molina (2015) Lechuga	FAO (1990)
N	210	189.4	187
P	31	93.6	37.5
K	234	253	400
Ca	160	204	225
S	64	45.5	-
Mg	34	56	45
Fe	2.5	1.2	3.6
Mn	0.5	0.875	0.75
B	0.5	0.54	0.04
Zn	0.05	0.207	0.1
Cu	0.02	0.15	0.1
Mo	0.01	0.108	0.05

Fuente: Vázquez, (2010) y Rodríguez, (2015).

Según Ricardo, (2019) la solución concentrada (Hoagland y Arnon), utilizando estos fertilizantes queda formulado de la siguiente manera:

Tabla 3. Composición química de los macronutrientes y micronutrientes

Hoagland y Arnon			
Fertilizante	Macronutrientes (g/L)	Fertilizante	Micronutrientes (mg/L)
H ₃ PO ₄ (cc L ⁻¹)	0.012	Quelato de Fe	2.470
KNO ₃	0.789	MnSO ₄	0.500
Ca(NO ₃) ₂	0.673	CuSO ₄	0.020
(NH ₄)(NO ₃)	0.040	ZnSO ₄	0.050
MgSO ₄	0.332	Ac. Bórico	0.420
NH ₄ HPO ₄	0.057	Molibdato sodio	0.010

Fuente: Ricardo, (2019).

- **El pH y la CE en soluciones nutritivas**

El pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva es una característica importante para el desarrollo de la mayoría de los cultivos. El pH no es constante desde que se prepara la solución por la presencia de CO₂ en el ambiente, se recomienda de que esta solución este tapado, en caso de alcalinidad con el uso de ácidos se puede mitigar. El rango óptimo de pH de nutrientes en la solución para cultivo hidropónico de lechuga es de 6 – 7 y el rango de la CE está entre 1.2 y 1.8 dS/m. En una solución nutritiva, el pH determina la disponibilidad de elementos vegetales esenciales. Una vez que las plantas crezcan, cambiará la composición de la solución nutritiva por agotamiento nutrientes específicos más rápidamente que otros, eliminar el agua de la solución y alterar el pH por excreción de acidez o alcalinidad (Sharma *et al.*, 2018).

1.8. Experiencias de lechuga en sistema de raíz flotante

Según García (2007) este sistema de raíz flotante para lechuga es uno de los más usados, en un estudio realizado bajo dosis de solución nutritiva de fertilizantes orgánicos bocashi y lombricompostaje demuestra que los rendimientos son bajos frente al uso de fertilizantes comerciales (5.95 kg/m²) y lombricompostaje (3.83kg/m²).

Otros resultados bajo el sistema hidropónico (SRF) en 2 estaciones climáticas diferentes con lechuga tipo mantequilla var. Cortesana, obtuvo en la primavera un peso de 197.2 g/planta a los 32 ddt (días después del trasplante); en el verano 228.5 g/planta a los 24 ddt (Sánchez *et al.*, 2015).

1.9. Bioestimulantes

Yhony *et al.*, (2020), menciona que un bioestimulante es cualquier sustancia o microorganismos que, al aplicarse en las plantas, tienen la capacidad de mejorar la eficacia, en absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico, abióticos y mejorar algunas características agronómicas.

La utilización de productos que ejercen funciones biorreguladoras y bioestimuladoras en el crecimiento de los cultivos constituye la base de la fertilidad del suelo. Asimismo, estos productos presentan un triple aspecto: físico, químico y biológico. Cuando estas

sustancias se aplican a diferentes cultivos son capaces de aumentar los rendimientos, mejorar la resistencia al frío y la tolerancia a la salinidad. Dentro de este grupo se encuentra una serie de productos que tienen en común la mejora del estado vegetativo de la planta sobre la cual se aplican (Borrero *et al.*, 2011).

1.9.1. Otras experiencias con bioestimulantes

Según Estudillo *et al.*, (2017) al utilizar dosis de extracto de alga marina + aminoácidos en lechuga de la variedad Parris Island dosis de 10 g/200 litros + 10 g/200 litro en un sistema de raíz flotante se logra un aumento considerable en las variables longitud de hoja, longitud de raíz, peso fresco y peso seco.

Se ha demostrado que al usar estos productos (bioestimulantes) se obtienen buenos resultados en crecimiento y desarrollo de las plantas, en lechuga verde crespada usando Té de Ortiga obteniendo los siguientes resultados: promedios de 219.10 gramo de materia fresca y en materia seca frente a los tratamientos no hubo diferencia mínima significativa pero sí en peso fresco, siendo un resultado favorable porque el producto se vende fresco (Vega *et al.*, 2015).

La adición de microalgas vivas aporta efectivamente en el rendimiento del cultivo de lechuga en un sistema hidropónico, puesto que permite que las plantas absorban los nutrientes que estas proveen en su etapa de crecimiento. En general, se ha informado que el uso de sustancias tales como aminoácidos, extractos vegetales o bioestimulantes ha mostrado efectos positivos sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas (Chávez, 2018).

Un estudio sobre el efecto de las células vivas de las microalgas en las actividades enzimáticas del suelo se demostró que parecen ser bastante similares en suelos cultivados y no cultivados, esta se debió probablemente a los microorganismos autóctonos del suelo (Barone *et al.*, 2019).

Otro tipo de investigación utilizó 3 productos de bioestimulantes y demostró que los bioestimulantes dan buenos resultados, a partir de los 7 días de siembra se hicieron aplicación foliar (Quitosa) y mostraron un rápido crecimiento con pesos de 15.6 kg/m² (Arteaga *et al.*, 2013).

Según Holguín, (2018) el valor promedio obtenido al realizar el pesaje de las plantas de lechuga por cada tratamiento obtuvo un máximo de 113.33 gramos con el producto “Simplex”, dosis de 2 L/ha. En el mismo experimento con la aplicación de estos biofertilizantes orgánicos se lograron rendimientos de 23,901.67 kg/ha (Enerplant: oligosacáridos) y 22,210.67 kg/ha (Stimplex) respectivamente.

En el uso de bioestimulantes foliar también muestra un efecto positivo en cuanto al rendimiento tal y como lo demuestra Hernandez *et al.*, (2015) en su investigación usando Enerplant (oligosacáridos) en lechuga de variedad *Black Seed Simpson* a los 7 días después del trasplante con la mejor dosis de 1.5 ml/ha, obteniendo rendimientos 11.04 kg/m².

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Ubicación y descripción del lugar del experimento

El experimento se realizó en los predios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), ubicado en el cantón La Libertad de la provincia Santa Elena y las coordenadas corresponden a Latitud: 2°13'57.01"S; longitud: 80°52'29.46"O.



Captura: Ubicación del lugar donde se realizó la investigación.

Las características climáticas del sitio experimental según INAMHI (2017), la precipitación anual de la provincia de Santa Elena es de 200 mm con humedad relativa de 81.6%, la temperatura media anual de 24.5 °C y una altitud de 44 msnm. La instalación cuenta con el servicio de agua potable y mediante un análisis de agua se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 4. Análisis de agua

Parámetro	Interpretación	Parámetro	Interpretación
CE	0.23 dS m-1	HCO ₃	53.7 mg 1-1
TSD	104 mg 1-1	SO ₄	2.5 mg 1-1
pH	7.2	NO ₃	0.0 mg 1-1
Cl	45.5 mg 1-1	CO ₃	0.0 mg 1-1
Ca	23 mg 1-1	Fe	0.03 mg 1-1
Mg	7.8 mg 1-1	B	0.08 mg 1-1
Na	6.9 mg 1-1	RAS	0.32 (meq/l)1/2

Fuente: Laboratorio INIAP-Pichilingue, (2016).

2.2. Material biológico

Variedad Vizir es resistente al espigado. HR: Resistencia alta (BI: Variedad resistente a las razas de *Bremia Lactucae* que se indican. 16 -28, 30-32). IR: Resistencia intermedia (LMV: Variedad resistente a *lettuce Mosaic Virus* (virus del mosaico de la lechuga).

2.3. Materiales y equipos

2.3.1. Materiales

- | | |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1. Tanques 500 litros | 9. Bandejas germinadoras |
| 2. Sistema de riego | 10. Pomas |
| 3. Contenedores de madera | 11. Turba |
| 4. Periódico | 12. Bandejas plásticas |
| 5. Plástico de polietileno negro | 13. Bomba de mano |
| 6. Planchas de espumafon | 14. Hojas de registros |
| 7. Flexómetro | 15. Bioestimulantes |
| 8. Esponja | 16. Fertilizantes |

2.3.2. Equipos

- Programador de riego: GALCON
- Bomba sumergible: Pedrollo Top II de 0,5 HP
- Balanza digital: BOECO BWL 61
- Cámara fotográfica: Samsung A7
- Estufa Equipo Lab: GX125BE
- Balanza analítica Equipo Lab.
- Conductímetro: OAKTON ECTester11
- PH-metro: Milwaukee pH 55
- Luxómetro: HANNA HI 97500
- Termohigrómetro: BOECO

2.4. Infraestructura invernadero

El experimento se realizó en los predios de la UPSE, la misma que posee un invernadero con estructura galvanizada de 200 m² con medidas de 20 m de largo 10 m de ancho, techo de polietileno UV/IR calibre 6, paredes cubiertas por una malla de 50% de sombra.

Las camas de siembra fueron construidas de madera, cada uno posee de 3 m² con dimensiones de 1 m x 3 m; separados en 3 cuartos de 1 m² donde se ubicaron por medio de un soporte flotante (espumafon) las plantas de lechugas. También se utilizó una capa de polietileno que retenía la masa de agua y evitaba la proliferación de algas por la oscuridad que este proporcionaba. La parte aérea de la lechuga estuvo a una altura de 10 cm; distribuido por 8 cm de solución nutritiva (80 Litros de volumen) y los 2 cm restantes fue completado por el espumafom.

El sistema de riego estuvo compuesto por tuberías PVC, que parte de una bomba sumergible de 0.5 HP ubicado en el interior de cada tanque. La tubería de abastecimiento repatria las soluciones desde el tanque a la cama de siembra; la tubería de retorno sirve como drenaje volviendo la solución al tanque para su reutilización o recirculación. Esto será posible con el programador de riego.

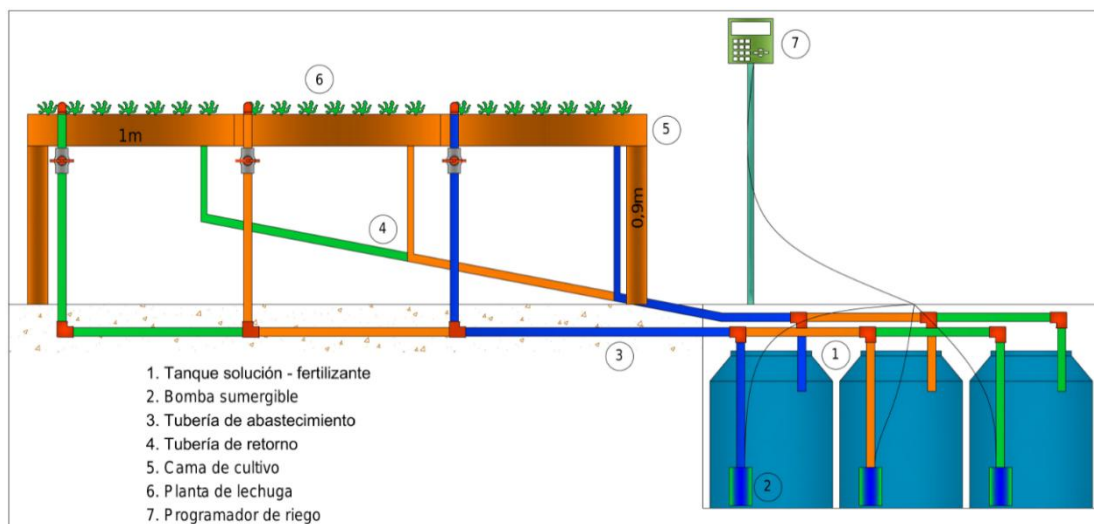


Figura 1. Diagrama de sistema de raíz flotante con recirculación.

2.5. Clima

2.5.1. Temperatura, humedad relativa y radiación – Invernadero

Las variables independientes como temperatura (máxima y mínima), humedad relativa fueron tomadas por un termohigrómetro digital y la radiación por un luxómetro. Los datos se tomaron a 1.2 m de altura con ambos equipos. Las horas que se tomaron los datos de radiación fueron a las 9:00 am y 3:00 pm.

2.5.2. Grados días acumulados (GDA)

Para este cálculo de GD (grados días) se usó el método Ometto propuesto en 1981 y utilizado por Yzarra *et al.*, (2009) en la cual se presentan las siguientes formulas y sus condiciones de uso:

$$GD = \frac{(TM - Tm)}{2} + (Tm - Tb)$$

Cuando $Tm > Tb$ y $TM < TB$

$$GD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)^2}{2(TM - Tm)}$$

Cuando $Tm > Tb$ y $TM > TB$, siendo la TB la temperatura basal máxima.

Donde:

GD: Valor diario de los grados días. **TM:** Temperatura máxima. **Tm:** Temperatura mínima. **TB:** Temperatura base máxima. **Tb:** Temperatura base mínima.

Según Ruiz *et al.*, (2013) la temperatura base del cultivo es de 6 °C y la temperatura base máxima es de 30 °C.

2.5.3. Luz diaria integrada (LDI)

La luz diaria integrada (LDI) requerida para el cultivo de lechuga es de 12 – 17 mol*m⁻²*día⁻¹, que igual a un fotoperiodo de 12 hora luz y 12 horas de oscuridad (Abarca, 2019). Para el cálculo de la Luz diaria integrada se utilizó las fórmulas presentadas por Torres & López, (2010). Se transforma el valor medio horario a partir de la intensidad luminosa en el valor acumulado de radiaciones PAR en el día.

$$LDI (\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}) = I \times p \times 0.0864$$

Donde:

LI = Intensidad de luminosidad (lux). **P** = Factores de conversión ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\text{lux}$) para luz solar es 0.02. El factor **0.0864** es la millonésima parte de segundos al día.

El fotoperiodo la lechuga está clasificada como planta de “día largo” su intensidad de saturación está comprendida entre los 22,000 y 33,000 lux (Guerra, 2014).

2.6. Parámetro de solución nutritiva

Los parámetros de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), concentración de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica (CE) de las camas y los tanques, fueron medidos con un pHmetro y conductímetro todos los días en la mañana al igual que el consumo de agua (con una regla milimetrada). Para mayor precisión de los datos se tomó 3 muestras por tratamiento en las camas para ser comparado con el tanque.

2.7. Tratamiento y diseño experimental

Las disposiciones de los tratamientos estuvieron mediante un diseño completamente al azar (DCA) con 6 tratamiento y 4 repeticiones, todas con solución nutritiva Hoagland.

T1: Hoagland (testigo).

T2: Hoagland + Extr. de alga marina “*L-Amino*” (S*).

T3: Hoagland + Oxido de silicio “*Grandsil*” (S*).

T4: Hoagland + Aminoácidos “*Naturamín-WSP*” (F*).

T5: Hoagland + Extr. de alga marina “*L-Amino*” (S*) + Aminoácidos “*Naturamín-WSP*” (F*).

T6: Hoagland + Oxido de silicio “*Grandsil*” (S*) + Aminoácidos “*Naturamín-WSP*” (F*).

S* = Aplicación en la solución. F* = Aplicación Foliar.

Tabla 5. Distribución de los grados de libertad

Fuente de variación	Grados
Total	23
Tratamiento	5
Error	18

Se determinó la homocedasticidad y normalidad de cada variable. Para el análisis de los datos se utilizó el programa *Infostat* versión estudiantil a una confiabilidad del 95% de los datos, utilizando la prueba de Tukey.

2.7.1. Delineamiento experimental

1	Diseño experimental	DCA
2	Número de tratamientos	6
3	Número de repeticiones	4
4	Número total de parcelas	24
5	Área total de la parcela (m ²)	1
6	Distancia de siembra (m)	0.17x0.17
7	Altura de la unidad experimental (m)	0.9
8	Número de planta por sitio	1
9	Número de planta por UE	32
10	Número de plantas por experimento	768
11	Distancia entre camas (3 UE)	0.8
12	Área neta del ensayo	44 m ²
13	Área total del ensayo	74 m ²

DCA= Diseño completamente al azar



Figura 3. Distribución de los tratamientos y repeticiones.

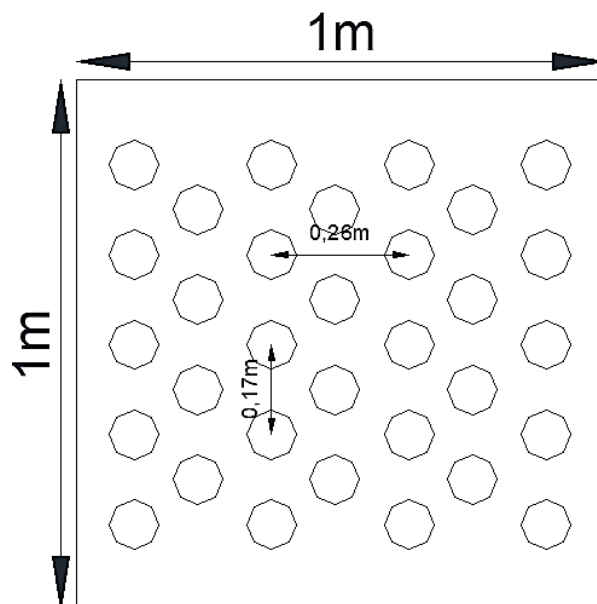


Figura 2. Unidad experimental (UE) y distribución de las plantas de lechuga.

2.8. Manejo del experimento

2.8.1. Semillero

Para la germinación se utilizó bandejas germinadoras de 98 alveolos más sustrato de turba comercial con perlita en proporciones de 85% y 15%. Durante los primeros días

se le dio riego con agua hasta la aparición de las primeras hojas verdaderas, luego se le suministró solución nutritiva Hoangland y se trasplantó cuando tenían 3 hojas verdaderas.

2.8.2. Solución nutritiva

Para los tratamientos se usó soluciones madres 100 veces concentrada, utilizando 3 canecas (20 litros), para preparar la solución nutritiva se mezcló la solución concentrada en el siguiente orden, 1 el ácido fosfórico, 2 macronutrientes, 3 micronutrientes y 4 el calcio; esto se realizó con la intención de evitar la interacción antagonica entre elementos. La solución madre ó concentrada se diluye en una proporción de 1 litro x 100 litros de agua.

Para la mezcla de los bioestimulantes con la solución nutritiva se hizo múltiples pruebas de pH y CE para determinar una dosis adecuada. El extracto de alga se mezcló a una concentración de 0.30 gramos/litro y el óxido de silicio a 0.25 ml/litro. El aminoácido se aplicó de forma foliar 2 veces (1g/L) en el día 7 y 14 después del trasplante.

La solución nutritiva se le proporcionó oxigenación respectiva todos los días 2 veces para que las raíces tuvieran el suficiente oxígeno y facilitar la absorción de los nutrientes, esto se pudo con la ayuda del programador de riego.

Tabla 6. Composición química de los macros y micros nutrientes

Hoangland y Arnon (solución concentrada 100x)			
Fertilizante	Macronutrientes (g/L)	Fertilizante	Micronutrientes (mg/L)
H ₃ PO ₄ (cc L ⁻¹)	0.012	Quelato de Fe	2.470
KNO ₃	0.789	MnSO ₄	0.500
Ca(NO ₃) ₂	0.673	CuSO ₄	0.020
(NH ₄)(NO ₃)	0.040	ZnSO ₄	0.050
MgSO ₄	0.332	Ac. Bórico	0.420
NH ₄ HPO ₄	0.057	Molibdato sodio	0.010

Fuente: Ricardo (2019).

2.8.3. Manejo fitosanitario

Durante el tiempo del cultivo se presentó un leve ataque de *Nasonovia ribisnigri* en la cual fue controlado con una mezcla de solución de ajo y neem con una dosis de 20 cc/4 litros de agua.



Figura 4. Presencia de pulgón en cultivo hidropónico de lechuga.

2.8.4. Cosecha

Para la cosecha se tomó en cuenta la emisión del escapo floral; el tallo empezó a alargarse aceleradamente después de los 11 cm de altura.

2.9. Variables experimentales

Cada tratamiento estuvo conformado por 4 unidad experimental (32 plantas cada uno), días después del trasplante se evaluaron por tratamiento un total de 24 plantas. Todo esto se realizó considerando un efecto borde a pesar de contar con condiciones controladas.

2.9.1. Variables agronómicas

Las evaluaciones se realizaron con una frecuencia de cada 4 días desde el trasplante hasta la cosecha, un total de 6 mediciones.

- **Numero de hojas**

Se contó el número de hojas por planta.

- **Largo de la hoja (cm)**

Se midió la hoja mayor desde el tallo hasta el ápice, haciendo uso de regla.

- **Altura de la planta (cm)**

Se midió desde la base inferior de la planta (cuello) hasta la parte superior, usando una regla.

- **Peso fresco y seco de la parte aérea y radicular (g)**

Mediante una balanza se pesó la parte aérea y raíz de la planta de lechuga en peso fresco y luego mediante la estufa dejó secar por 3 días a 65°C. Y la fórmula utilizada para calcular el porcentaje de peso seco es la siguiente:

$$\%MS = \frac{PS}{PF} * 100$$

Donde:

PS = Peso fresco de la muestra (g). **PF** = Peso fresco de la muestra (g). **MS** = Materia seca.

- **Rendimiento (g)**

Para saber el rendimiento se consideró el peso fresco Kg/m², para obtener un rendimiento adecuado por área

2.10. Costo de producción de la lechuga

Dentro del análisis se obtuvo cuánto cuesta producir lechuga hidropónica en cada aplicación.

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Variables climáticas

3.1.1. Temperatura

Las temperaturas obtenidas en el interior del invernadero durante 20 días después del trasplante (ddt), arrojó un valor promedio de 25 °C/día entre los meses de septiembre y octubre, tal como lo muestran la tabla 7 y figura 5, cabe mencionar que los rangos en el día y la noche fueron: 25 – 33 °C y 19 – 21 °C respectivamente. Ruiz *et al.*, (2013) menciona que para obtener un crecimiento óptimo en el cultivo de lechuga, las temperaturas diurnas y nocturnas son 14 – 18 °C y 5 – 8 °C, sin embargo, en la época que se realizó la investigación las temperaturas entre el día y la noche fueron mucho más altas de lo recomendadas, ocasionando un marchitamiento en las plantas por un balance hídrico negativo durante los primeros 5 ddt, esto ocurre porque la pérdida de agua por transpiración es mayor a la absorción de las raíces (Beltrano & Gimenez, 2015). La alta temperatura también explica la presencia de plaga (pulgón) en el cultivo (Mohammed & Hatcher, 2016).

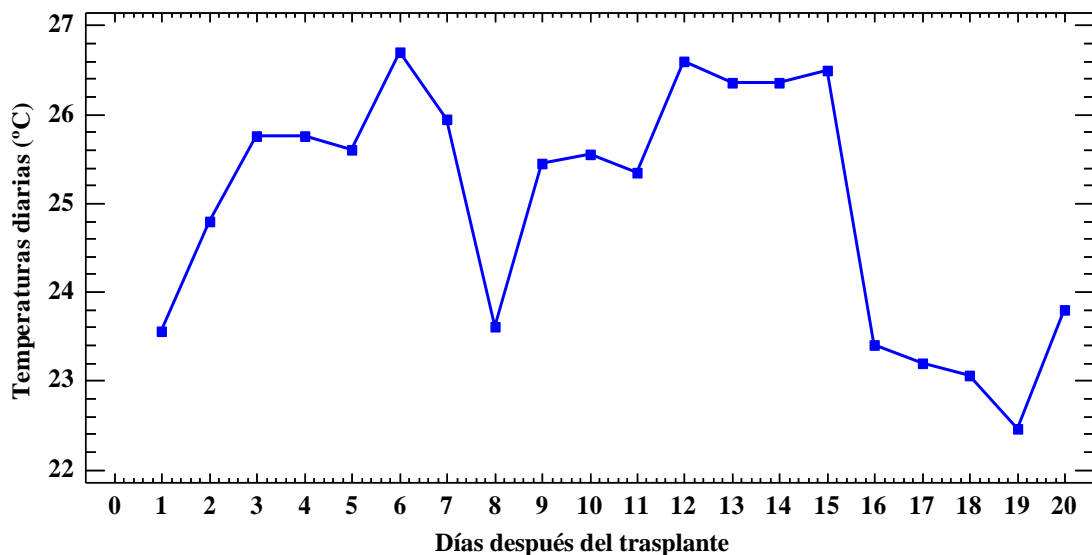


Figura 5. Temperaturas en el invernadero en la etapa de la investigación septiembre/ Octubre del 2019, en sistema de raíz flotante.

De esta misma manera la alta temperatura es la principal causa de que las plantas de lechuga no alcancen un buen peso comercial, su efecto está relacionado con el aceleramiento del desarrollo; provocando la formación del escapo floral, induciendo

la cosecha a los 20 ddt. Miller (2019), en su ensayo determina que el cultivo de lechuga manteca var. Rex en invernadero bajo temperatura de 18 - 21 °C su crecimiento es casi 3 veces más rápido que con temperaturas invernadero de 12 – 15 °C. Para corroborar lo mencionado se cita un ensayo preliminar (lechuga hidropónica en sustrato inerte) realizado en el mismo invernadero y bajo las mismas condiciones climáticas en donde se pudo observar el alargamiento del escapo floral a los 27 días después del trasplante. Esto se justifica según lo mencionado por Gutiérrez (2011), que la temperatura del suelo está más correlacionada con la tasa de crecimiento que con la temperatura del aire. También se dice que la temperatura del aire controla la tasa de aparición de hojas y la expansión foliar, determinando como un factor importante para definir la capacidad de captación fotosintética y por ende se define la acumulación de masa (Grazia, 2001).

Tabla 7. Promedios de temperaturas en el invernadero en septiembre/Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica en sistema de raíz flotante.

Día	Fecha	T °C Máx.	T °C Mín.	T °C Promedio/Día
0	25-sep.	28.5		
1	26-sep.	31.1	18.6	23.6
2	27-sep.	33.0	18.5	24.8
3	28-sep.	33.0	18.5	25.8
4	29-sep.	32.7	18.5	25.8
5	30-sep.	32.7	18.5	25.6
6	1-oct.	31.2	20.7	26.7
7	2-oct.	26.5	20.7	26.0
8	3-oct.	30.2	20.7	23.6
9	4-oct.	30.2	20.7	25.5
10	5-oct.	30.4	20.9	25.6
11	6-oct.	33.2	20.3	25.4
12	7-oct.	33.2	20.0	26.6
13	8-oct.	33.2	19.5	26.4
14	9-oct.	33.2	19.5	26.4
15	10-oct.	26.1	19.8	26.5
16	11-oct.	25.8	20.7	23.4
17	12-oct.	25.9	20.6	23.2
18	13-oct.	24.7	20.2	23.1
19	14-oct.	27.3	20.2	22.5
20	15-oct.		20.3	23.8
Promedio		30.1	19.9	25.0

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Humedad relativa

La tabla 10A y figura 6, presenta los valores de humedad relativa obtenidos durante los 20 ddt. El ensayo tuvo un promedio de 59% humedad relativa diaria, oscilando en un rango de 49 – 71 %, en la época de septiembre se obtuvo un promedio de 56% y octubre con 60% diario (tabla 8).

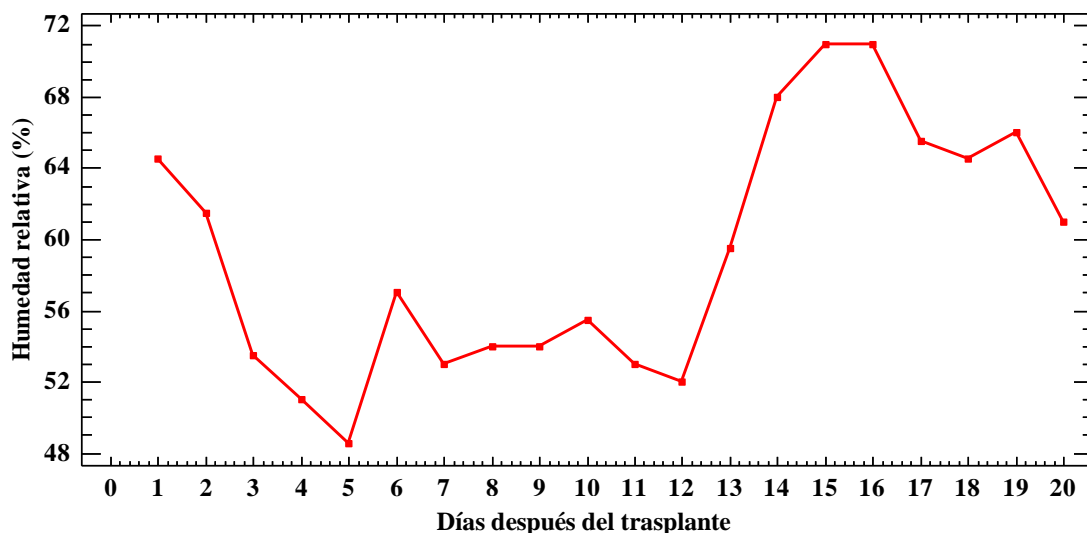


Figura 6. Humedad relativa en los días de septiembre/ Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica.

Según lo manifestado por Infoagro (2010), la humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, pero que en determinados momentos agradece menos del 60%, con estos datos se puede mostrar que la humedad relativa presentada en la etapa de la investigación estuvo dentro de los rangos adecuados. Por otro lado, Sánchez (2009), dice que la falta de la humedad relativa reduce el crecimiento de las plantas y desmejora significativamente la calidad de la producción.

Tabla 8. Humedad relativa máxima y mínima en los días de septiembre/ Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Mes	Septiembre	Octubre
Día	0 - 5	6 - 20
HR% Max	85	85
HR% Min	27	35
Promedio % diario	56	60

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Determinación de gados días acumulados (GDA)

Tal como lo presenta la figura 7 y en la tabla 9, los promedios de grados días fueron de 18.7 °Cd por día y un aproximado de grados días acumulado de 375.2 °Cd para la lechuga var. Vizir (tipo roble verde), sin embargo, un estudio desarrollado por Ricardo (2019), en la misma localidad, determinó un valor promedio de grados días acumulado de 505 °Cd, siendo un indicador determinante para predecir la cosecha entre los 22 – 25 ddt en la lechuga var. acephala (crespa). Aunque la acumulación de grados días para diferentes etapas es relativamente constante e independiente de la fecha de siembra y cada variedad puede tener un valor específico de GD (Qadir *et al*, 2006).

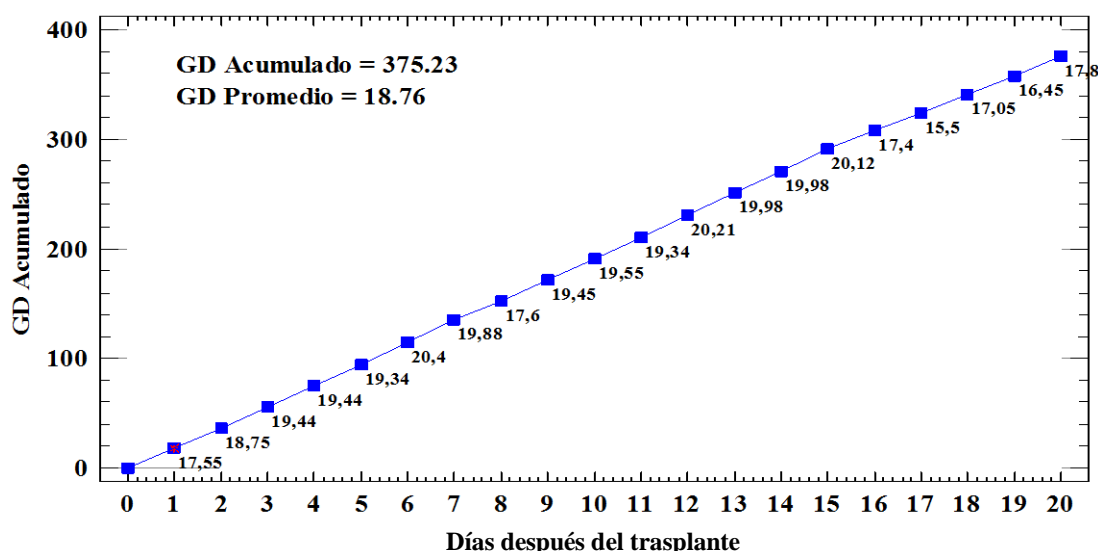


Figura 7. Grados días acumulado en los días de septiembre/Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Tabla 9. Grados días acumulados en los días de septiembre/ Octubre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Días después del trasplante / GD									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17.6	18.8	19.4	19.4	19.3	20.4	19.9	17.6	19.4	19.5
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19.3	20.2	20.0	20.0	20.1	17.4	15.5	17.1	16.5	17.8
GDA = 375.2									

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Determinación de luz diaria integrada (LDI)

La figura 8 y tabla 7A, presentan el promedio de luz diaria integrada que se obtuvo en el periodo de la investigación, el mismo que fue de $35.6 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en el interior del invernadero, siendo el valor máximo en de $78.48 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y el valor mínimo de $19.26 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

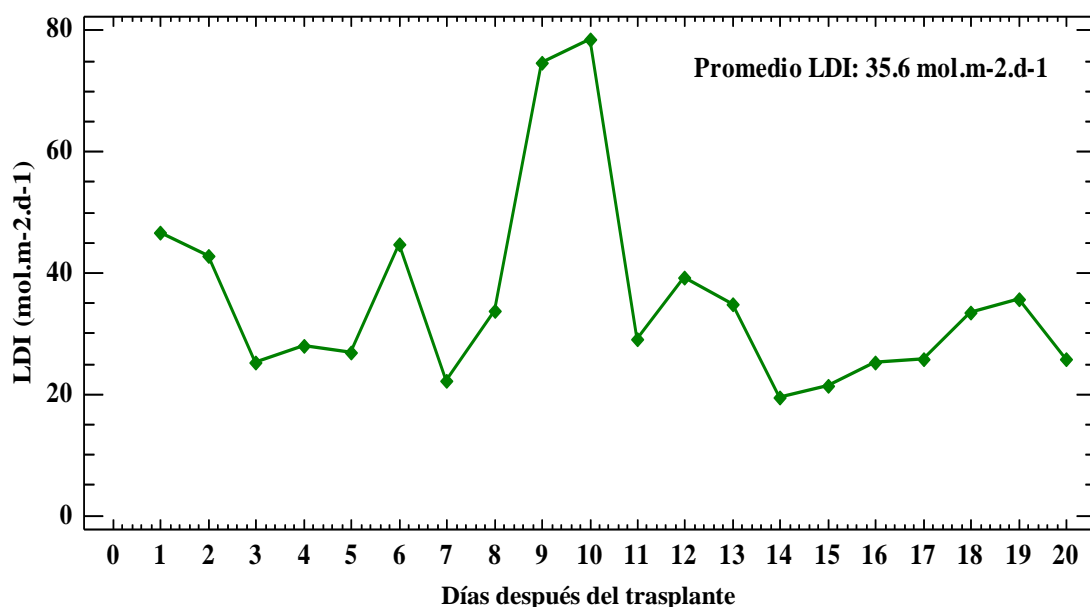


Figura 8. Luz diaria integrada (LDI), en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

En una investigación realizado por Rosa *et al.*, (2014) donde señala que un cultivo bajo sistema hidropónico de lechuga Mimosa verde y rosa con condiciones protegidas (invernadero) encontró que, se obtiene grandes cantidades de clorofila y mayores tasas de asimilación neta de CO_2 con densidades de flujo de fotones fotosintéticos (PPDF) de $1704 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en promedio, que es igual $73.61 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ LDI; mayor a este valor pueden afectar el proceso de foto inhibición de la planta. Otro estudio realizado en aeroponía con lechuga determina que al aumentar los niveles de PPTD también aumenta la tasa de transpiración foliar: a $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y transpira $8 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Albornoz *et al.*, 2014).

3.4. Parámetros de solución nutritiva

3.4.1. Temperatura de solución nutritiva

En la temperatura de la solución nutritiva de los tratamientos se obtuvo un coeficiente de variación 3.49 % y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p-valor: 0.6979), para el análisis de esta variable se lo realizó mediante el análisis de la prueba de Tukey con una confiabilidad del 95%, tal como lo muestra la tabla 8A.

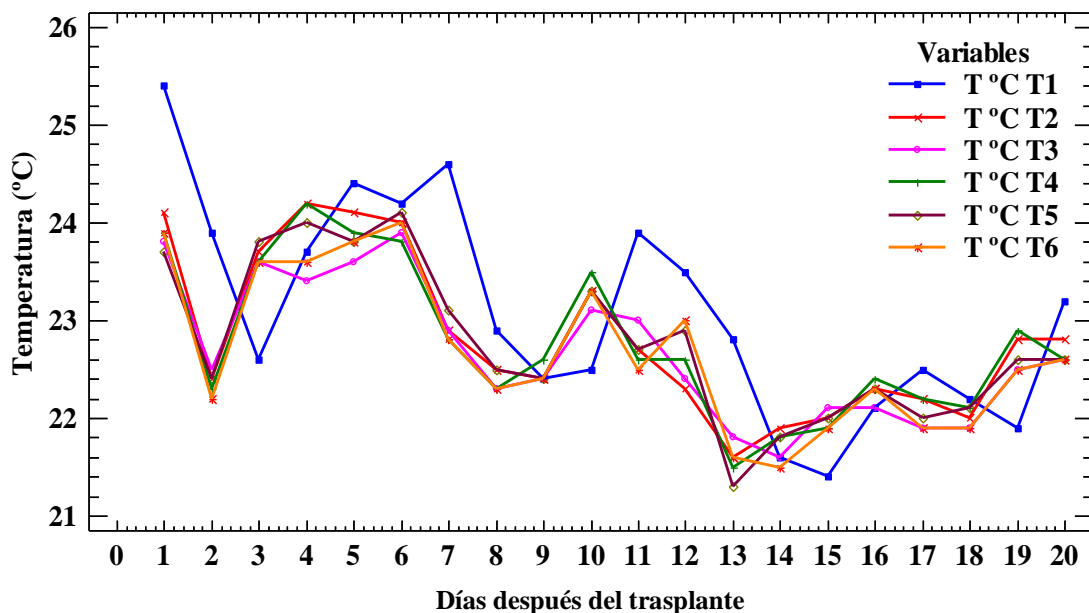


Figura 9. Temperatura (°C) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Durante la etapa de investigación el cultivo de la lechuga, no evidenció problemas en su desarrollo, alcanzando una temperatura promedio de 22.7 °C, en un rango máximo y mínimo de 22.9°C y 22.7 °C (tabla 10), estos se comparan con lo que manifiesta Chávez *et al.*, (2006) que la temperatura óptima de la solución nutritiva para la mayoría de los cultivos es de 16 -22 °C, las misma fuente señala que a medida que baja la temperatura disminuye la absorción de agua y nutrientes, pero sí es menor a 15 °C la endodermis de la raíz se suberiza e impide la absorción. Triyono *et al.*, (2019), también afirma que a una temperatura 16 – 22 °C son las adecuadas para una solución nutritiva y mientras que Miller (2019), manifiesta que el crecimiento del cultivo se mejoró cuando la temperatura de la solución nutritiva aumentó, pero el crecimiento máximo del cultivo se observó bajo una temperatura de solución hidropónica de 22 °C.

Tabla 10. Temperatura (°C) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Día	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	Temperatura (°C)					
1	23.9	24.1	23.8	23.9	23.7	23.9
2	22.6	22.4	22.5	22.3	22.4	22.2
3	23.7	23.7	23.6	23.6	23.8	23.6
4	24.4	24.2	23.4	24.2	24.0	23.6
5	24.2	24.1	23.6	23.9	23.8	23.8
6	24.6	24.0	23.9	23.8	24.1	24.0
7	22.9	22.9	22.9	22.8	23.1	22.8
8	22.4	22.5	22.3	22.3	22.5	22.3
9	22.5	22.4	22.4	22.6	22.4	22.4
10	23.9	23.3	23.1	23.5	23.3	23.3
11	23.5	22.7	23.0	22.6	22.7	22.5
12	22.8	22.3	22.4	22.6	22.9	23.0
13	21.6	21.6	21.8	21.5	21.3	21.6
14	21.4	21.9	21.6	21.8	21.8	21.5
15	22.1	22.0	22.1	21.9	22.0	21.9
16	22.5	22.3	22.1	22.4	22.3	22.3
17	22.2	22.2	21.9	22.2	22.0	21.9
18	21.9	22.0	21.9	22.1	22.1	21.9
19	23.2	22.8	22.5	22.9	22.6	22.5
20	22.6	22.8	22.6	22.6	22.6	22.6
Promedios	22.9	22.8	22.7	22.8	22.8	22.7

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Potencial de hidrógeno (pH)

La figura 10 presentan los valores del potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva, por otro lado, en la tabla 8A, se puede apreciar un coeficiente de variación de 8.46%, con diferencias estadísticamente significativas (p-valor: 0.000) entre los tratamientos, para encontrar esta diferencia se realizó una “comparación de pares”, mediante la prueba de Tukey con un 95% de confiabilidad. Los tratamientos T1 (pH: 6.54) y T4 (pH: 6.44) mantuvieron mejores condiciones óptimas de pH en la solución nutritiva (Tabla 11), en concordancia en lo mencionado por Sharma *et al.*, (2018), que el potencial de hidrogeno (pH) es un factor importante a tomar en la solución nutritiva porque, una vez que las plantas crezcan, cambiará la composición de la solución nutritiva por agotamiento de nutrientes específicos más rápidamente que otros y el rango óptimo de pH para cultivo hidropónico de lechuga es de 6 – 7.

Sánchez *et al.*, (2015) describe que lo único que podría pasar en un sistema de raíz flotante es la salinización, ocasionada por la evapotranspiración, pero que esto sucede

muy leve, manteniendo así los niveles de pH cercano a los valores iniciales debido a la reposición constante de agua y ajuste de pH.

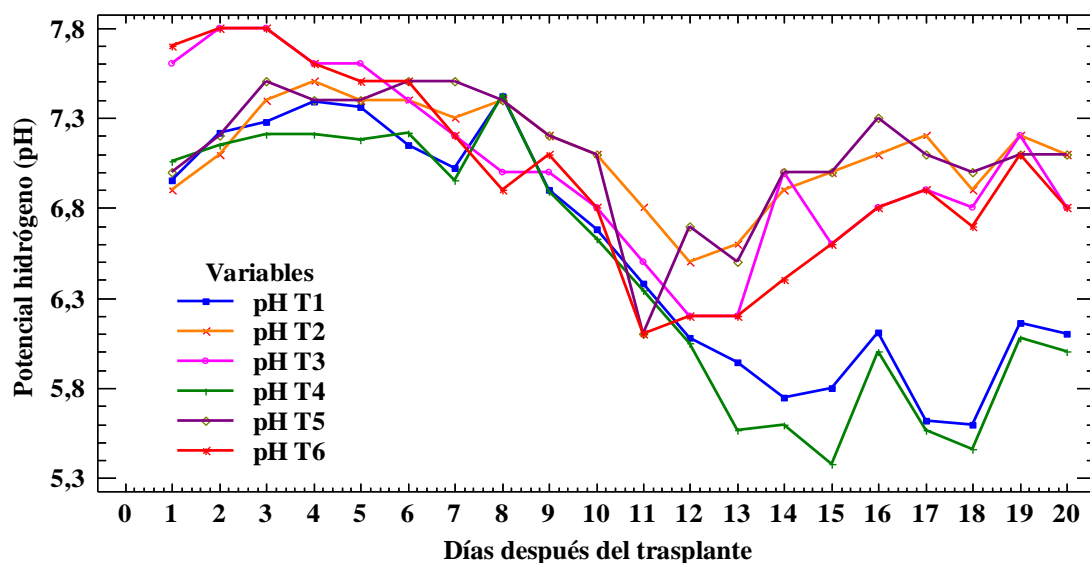


Figura 10. Potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Tabla 11. Potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Días	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	Potencial de hidrogeno (pH)					
1	7.0	6.9	7.6	7.1	7.0	7.7
2	7.2	7.1	7.8	7.2	7.2	7.8
3	7.3	7.4	7.8	7.2	7.5	7.8
4	7.4	7.5	7.6	7.2	7.4	7.6
5	7.4	7.4	7.6	7.2	7.4	7.5
6	7.2	7.4	7.4	7.2	7.5	7.5
7	7.0	7.3	7.2	7.0	7.5	7.2
8	7.4	7.4	7.0	7.4	7.4	6.9
9	6.9	7.2	7.0	6.9	7.2	7.1
10	6.7	7.1	6.8	6.6	7.1	6.8
11	6.4	6.8	6.5	6.3	6.1	6.1
12	6.1	6.5	6.2	6.1	6.7	6.2
13	5.9	6.6	6.2	5.6	6.5	6.2
14	5.8	6.9	7.0	5.6	7.0	6.4
15	5.8	7.0	6.6	5.4	7.0	6.6
16	6.1	7.1	6.8	6.0	7.3	6.8
17	5.6	7.2	6.9	5.6	7.1	6.9
18	5.6	6.9	6.8	5.5	7.0	6.7
19	6.2	7.2	7.2	6.1	7.1	7.1
20	6.1	7.1	6.8	6.0	7.1	6.8
Promedios	6.5	7.1	7.0	6.4	7.1	7.0

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Conductividad eléctrica

En la figura 11 se muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva, tuvo un coeficiente de variación de 4.09 %, encontrando diferencia mínima significativa (p-valor: 0.000), utilizando la prueba de Tukey con un 95% de confiabilidad por lo tanto se hizo una comparación de pares entre tratamientos (tabla 8A).

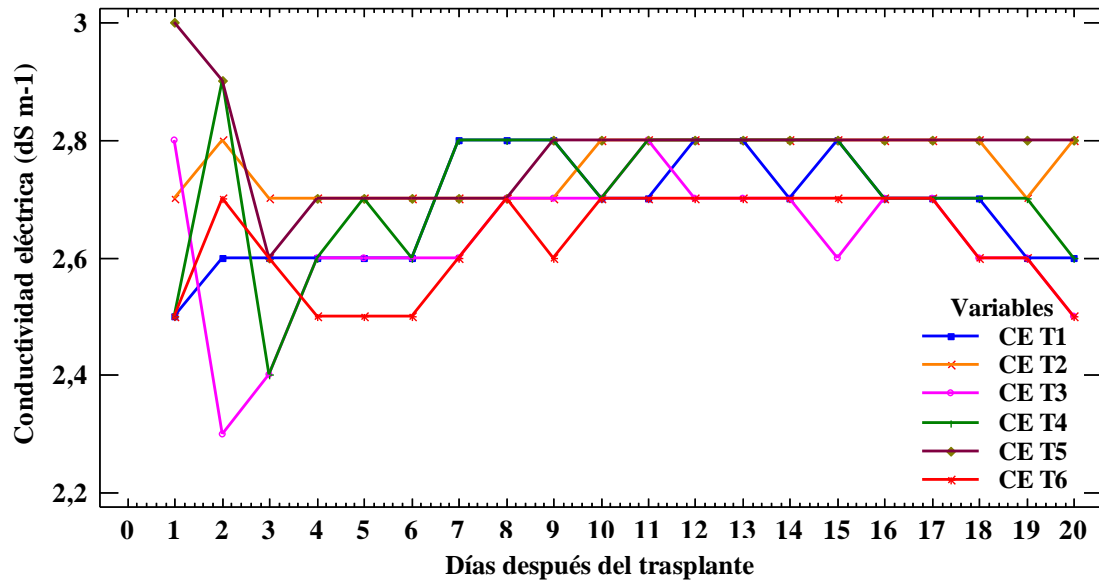


Figura 11. Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

En la tabla 12 se demuestra que la CE en el T6 (2.62) y T3 (2.63) son los que mantuvieron valores cercanos a lo mencionado por Sharma *et al.*, (2018) que, la CE para el cultivo de lechuga debe ser 1.2 y 1.8 dS/m; a mayor conductividad eléctrica impide la absorción de nutrientes debido a la presión osmótica y una baja conductividad afecta gravemente la salud de la planta. Pero si nos damos cuenta, es cierto que los valores de CE estuvieron fuera del rango recomendado, en lo descrito por Jiménez (2017) a una CE de 2.1 – 3.2 dS/m se puede obtener una pérdida de productividad de la lechuga en un 10% - 25%.

Tabla 12. Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Días	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	Conductividad eléctrica (CE)					
1	2,5	2,7	2,8	2,5	3	2,5
2	2,6	2,8	2,3	2,9	2,9	2,7
3	2,6	2,7	2,4	2,4	2,6	2,6
4	2,6	2,7	2,6	2,6	2,7	2,5
5	2,6	2,7	2,6	2,7	2,7	2,5
6	2,6	2,7	2,6	2,6	2,7	2,5
7	2,8	2,7	2,6	2,8	2,7	2,6
8	2,8	2,7	2,7	2,8	2,7	2,7
9	2,8	2,7	2,7	2,8	2,8	2,6
10	2,7	2,8	2,7	2,7	2,8	2,7
11	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7
12	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8	2,7
13	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8	2,7
14	2,7	2,8	2,7	2,8	2,8	2,7
15	2,8	2,8	2,6	2,8	2,8	2,7
16	2,7	2,8	2,7	2,7	2,8	2,7
17	2,7	2,8	2,7	2,7	2,8	2,7
18	2,7	2,8	2,6	2,7	2,8	2,6
19	2,6	2,7	2,6	2,7	2,8	2,6
20	2,6	2,8	2,5	2,6	2,8	2,5
Promedios	2,7	2,8	2,6	2,7	2,8	2,6

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Comportamiento de lechuga hidropónica

3.5.1. Altura de la planta

A pesar de que existieron diferencias significativas (p -valor: >0.05) en los días 4, 16 y 20 después del trasplante, el tratamiento T1 (testigo) siempre llevó la delantera en altura de planta tal como se muestra en la figura 12, alcanzando un promedio de 14.75 cm; mientras que la altura menor fue para el T6 con 11 cm (tabla 5A). Estos resultados son menores a lo obtenido por Ricardo (2019) en su investigación de lechuga hidropónica en la que logró una altura de 16.4 cm bajo el efecto de la solución nutritiva Hoangland, entre 21 – 23 días después del trasplante en la lechuga crespa var. Acephala.

Sánchez (2018), obtuvo un valor superior a lo mencionado anteriormente; altura de 18 cm a los 49 ddt, en el cultivo de lechuga variedad crespa con condiciones de micro

túnel. Esto se debe a que las condiciones ambientales fueron las adecuadas porque no solo su altura aumento sino también el resto de las variables agronómicas.

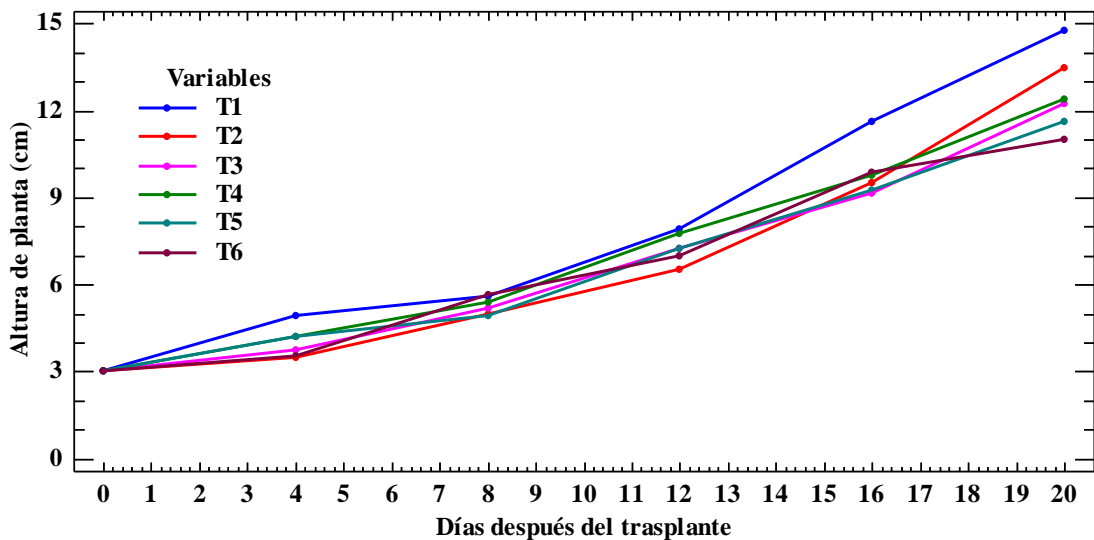


Figura 12. Efecto de bioestimulantes sobre la altura de planta en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

3.5.2. Número de hoja y largo de la hoja

En la variable número de hojas se evidencio diferencia mínima significativa únicamente a los 12 ddt, con un p-valor: 0.013 (Tabla 3A), donde el T1 alcanzó el total de 13.25 hojas/planta, siendo superado por el T4 con 14.25 hojas/planta; los dos tratamientos con promedios altos. Posterior al día 20 después del trasplante se alcanzó un promedio de 26 hojas/planta en el T4 (Hoangland + aminoácidos) tal y como muestra la figura 13. Esto concuerda con lo que señala Estudillo *et al.*, (2017) que, al utilizar aminoácidos (0.10 g/L) + extr. de alga (0.10 g/L) obtuvo 22 hojas/planta, una cantidad ligeramente superior al testigo. Por el contrario, Sánchez *et al.*, (2015) bajo las condiciones de sistema de raíz flotante, registró un promedio 19.1 hojas/planta a los 24 ddt.

En las evaluaciones de la variable largo de hoja, mantuvieron diferencia mínima significativa (p-valor: >0.05) en los días 8, 12, 16 y 20 después del trasplante, culminando con 22.75 cm en el T6 y 21.88 cm en el T4 (figura 13 y tabla 5A); el comportamiento es muy variable por lo que es difícil determinar que bioestimulante condujo a este resultado, pero para argumentar tenemos a Hernandez *et al.*, (2015) que,

al utilizar bioestimulantes oligosacáridos obtuvo 24.3 cm en largo de la hoja; muy similar a lo obtenido.

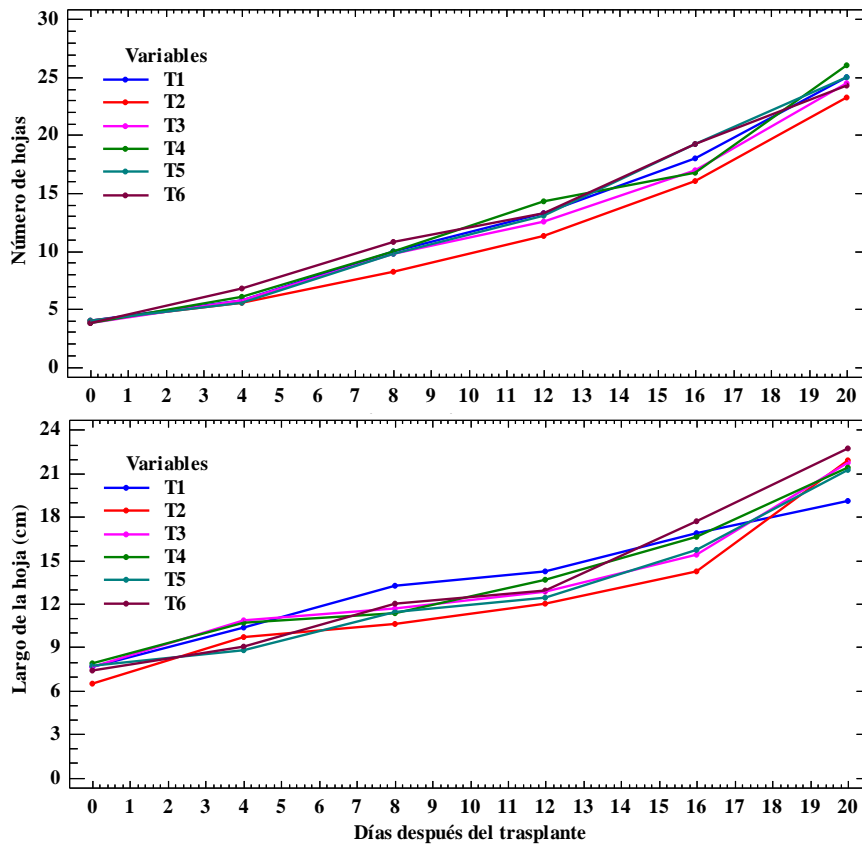


Figura 13. Efecto de bioestimulantes sobre el número de hojas y largo de la hoja en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

3.5.3. Peso fresco del follaje y raíz

En el peso fresco del follaje se encontró diferencia mínima significativa a los 8 y 12 ddt (p-valor: 0.002; 0.008). En la figura 14 muestra que en el día 8 los promedios altos fueron para T1: 11.97 g seguido del T6: 11.63 g; en cambio para el día 12 la aplicación de aminoácidos aumenta considerablemente el peso fresco del follaje en comparación a los que no recibieron la aplicación de aminoácidos (tabla 3A). Coincidiendo con Yhony *et al.*, (2020) que los bioestimulantes al aplicarse en las plantas, tienen la capacidad de mejorar la eficacia, en absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico, abióticos y mejorar algunas características agronómicas. También Arteaga *et al.*, (2013) menciona que los efectos de bioestimulantes tienen mayor efecto si se aplican a los 7 ddt.

Al final del día 20 después del trasplante se obtuvo en el testigo (T1) una acumulación de 122.09 g, seguido del T4 con 118.13 g. Estos se compara con los resultados de Vega *et al.*, (2015) al usar bioestimulante de ortiga en lechuga crespa en campo abierto y con las condiciones de temperaturas óptimas del cultivo, obtuvo valores superiores lo mencionado anteriormente, 219.10 g en follaje/planta.

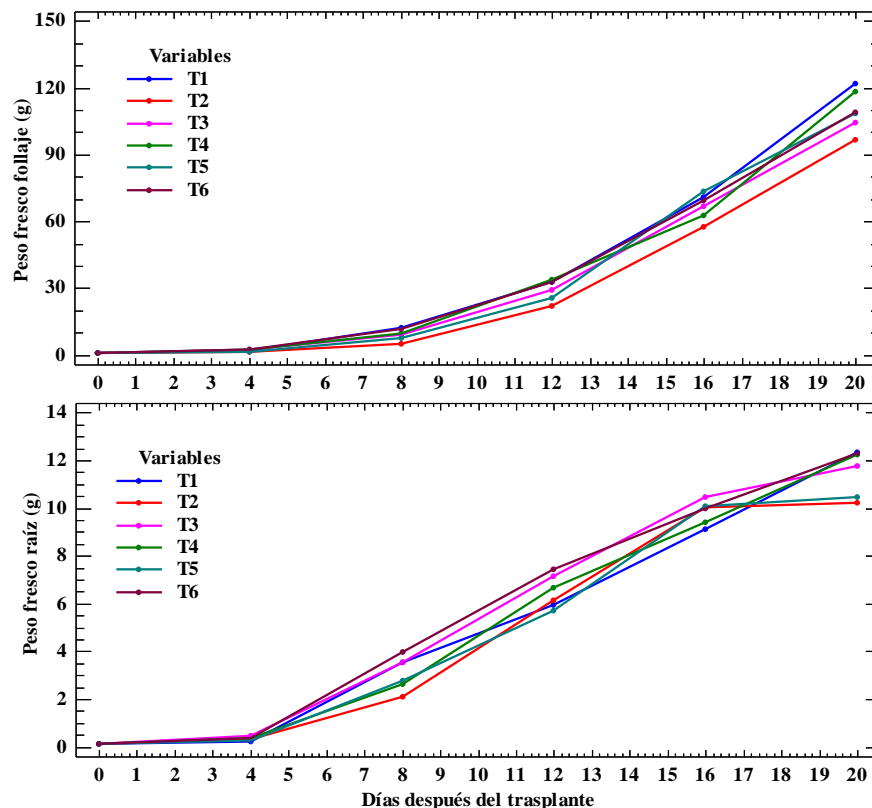


Figura 14. Efecto de bioestimulantes sobre el peso fresco de follaje y raíz en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

En el peso fresco de la raíz únicamente en 8 ddt se encontró diferencia mínima significativa (p-valor: 0.023). Los mejores pesos en esta evaluación fueron para T6 = 3.98 g y T3 = 3.55 g, la constatación de estos resultados también se pudo realizar mediante la observación de la longitud de la raíz (figura 4A), esto claramente explica que, al usar oxido de silicio se obtuvo un efecto positivo en el desarrollo de las raíces en los primeros 8 ddt. Mientras que en el extr. de alga no se evidenció un crecimiento favorable debido probablemente a una alta dosis (Estudillo *et al.*, 2017). En la publicación de Hernández *et al.*, (2019) menciona que la aplicación de extr. de alga marina en dosis elevadas trae como resultado el retardo del crecimiento y desarrollo de raíces por la presencia de ácido abscísico (ABA).

Al final del día 20 después del trasplante no hubo diferencia significativa (p-valor: 0.2051) entre los tratamientos de la variable peso fresco de la raíz (tabla 5A), llegando a un peso promedio de 12.35 g en el T1, seguido del T6 con 12.31 g. Manzano *et al.*, (2018) al probar una dosis baja de potasio, en lechuga hidropónica obtuvo un promedio de 12.06 g a los 24 ddt.

3.5.4. Peso seco del follaje y raíz

El comportamiento del peso seco del follaje manifestó diferencia mínima significativa en los días evaluados 8 y 12 después del trasplante (p- valor: 0.005; 0.018). A los 20 ddt no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, para las variables peso seco de follaje y raíz; llegando alcanzar 4.75 g (follaje) y 0.47 g (Raíz) tal y como se muestra en la figura 15 y tabla 5A.

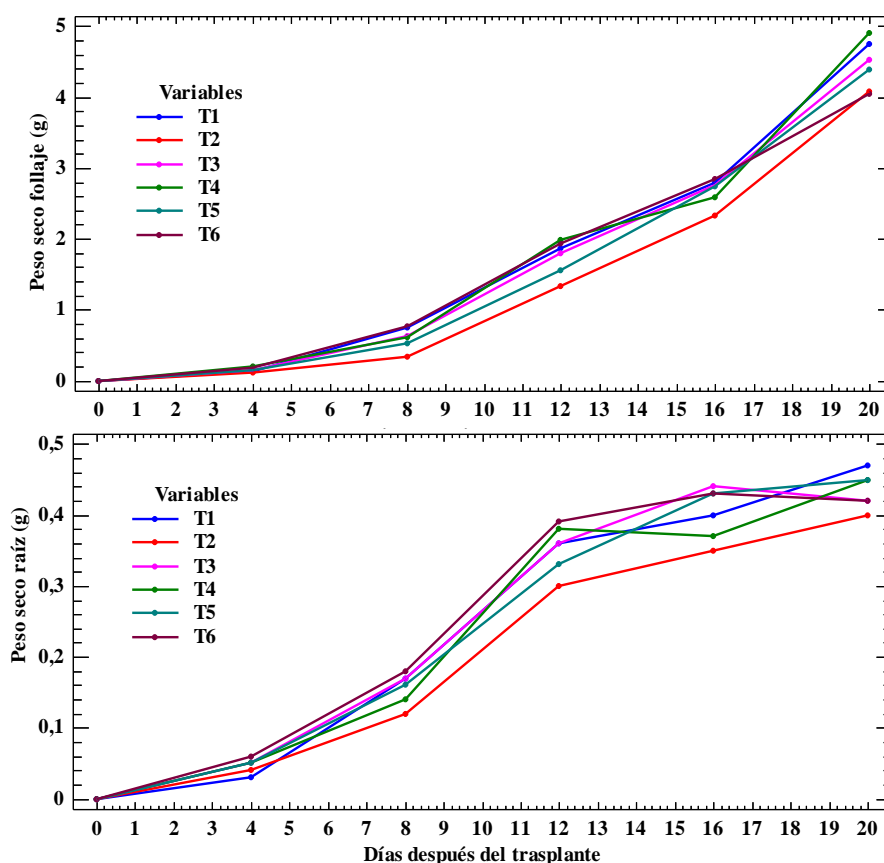


Figura 15. Efecto de bioestimulantes sobre el peso seco de follaje y raíz en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Sumando los pesos secos tenemos que la planta llegó alcanzar un total de 5.22 g/planta. Este valor es inferior a lo obtenido por Ricardo (2019) 7.65 g/planta a los 19 ddt mediante la utilización de solución Hoangland, en cambio Mendoza (2017) en sistema

NFT con la variedad Grand Rapids a los 21 ddt obtuvo 5.34 g/planta. Esto probablemente se deba a que son diferentes variedades de lechuga.

3.5.5. Materia seca (%) de follaje y raíz

En lo que se refiere a esta variable los tratamientos con Extracto de alga (T2 y T5) en los días evaluados 4, 8 y 12 ddt mantuvieron sus valores de acumulación de materia seca (MS) por encima de los demás tratamientos, dando lugar a la existencia de diferencia mínima significativa (p-valor: >0.05) tal como se muestra en la figura 16 y tabla 1A, 2A y 3A. En cambio, a los 20 ddt no se encontró diferencia mínima significativa (p-valor: 0.932; 0.345) en follaje y raíz, siendo el T5 con un promedio de 3.80 % MS/planta. Este valor se asimila mucho a los resultados de Vega *et al.*, (2015) al determinar un promedio de 3,81 % de materia seca con bioestimulante y 3.79 % materia seca sin bioestimulante, también concluyendo de que no hubo diferencia mínima significativa.

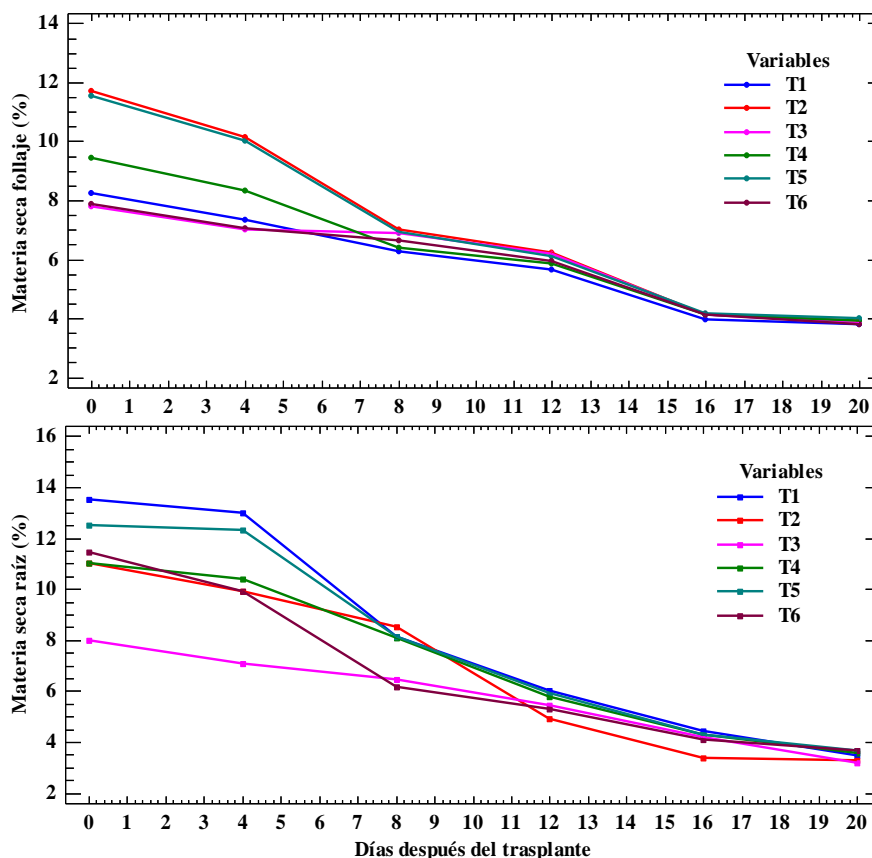


Figura 16. Efecto de bioestimulantes sobre materia seca (%) de follaje y raíz en lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

3.6. Rendimiento

El análisis estadístico con respecto al peso completo de la planta muestra un p-valor: 0.017, dando lugar a una diferencia significativa entre los tratamientos. El mejor rendimiento promedio por planta es para el tratamiento T1 con 134.44 g/planta, seguido del T4 con 133.38 g/planta, respectivamente (tabla 13).

Tabla 13. Peso completo de la planta de lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Tratamientos		
Nº	Bioestimulantes	Peso planta (g)
T1	Testigo	134.44
T2	E.A.	106.70
T3	Oxido de silicio	132.66
T4	Testigo + aminoácido	133.38
T5	E.A. + aminoácido	119.91
T6	Oxido de silicio + aminoácido	121.39
CV (%)		8.54
P-VALOR		0.017

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados se estima un rendimiento promedio de 4,302 gramos por metros cuadrado de superficie para el tratamiento T1, tal como se muestra en la figura 17. Los resultados obtenidos de Quispe *et al.*, (2018) son menores, cosechó a los 21 días después del trasplante y obtuvo un rendimiento de 2,575 g de masa fresca /m² en sistema de raíz flotante. Según información del proveedor de semillas, la lechuga var. Vizir en condiciones de temperatura optimas (sierra) alcanza 280 g/planta a las 6 semanas, bajo el sistema hidropónico raíz flotante; mientras que en Santa Elena se obtiene la mitad de peso y la mitad de tiempo para la producción. El peso se parece a los resultados de Villafuerte (2020) que, alcanzó un rendimiento de 298,9 g/planta a los 30 ddt con la variedad *Romana Parris Island*.

La justificación a los resultados de tratamientos con extracto de alga, junto con las variables agronómicas descritas anteriormente, el uso de E.A. no mejoró en ningún aspecto agronómico al cultivo de lechuga; esto probablemente se debe a que la dosis aplicada fue muy alta, coincidiendo con Estudillo *et al.*, (2017), que obtuvo resultados

por debajo del testigo (SN Steiner al 100%) al utilizar una dosis de 0.1 g E.A. en 1 litros de agua. en consecuencia, el mismo autor, en otro tratamiento modificó la dosis a 0.05 g de E.A. en 1 litro de agua + 0.05 g de aminoácidos en 1 litro de agua, obteniendo un peso promedio de 180 g/planta, superando al testigo.

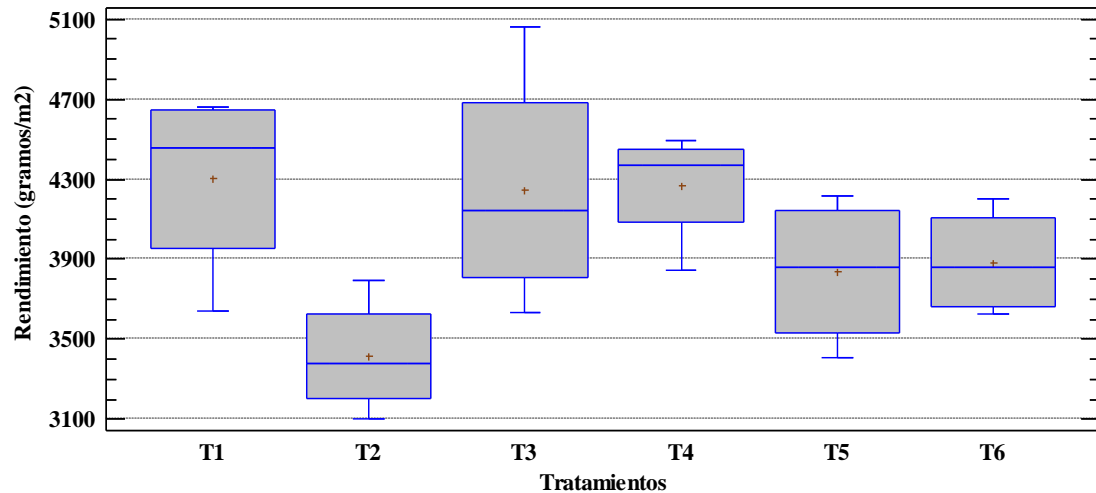


Figura 17. Rendimiento de lechuga hidropónica lechuga hidropónica variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

3.7. Análisis foliar

En el análisis foliar de los tratamientos, se encontró diferencia mínima significativa en los niveles de fósforo con un p-valor de 0.047 y un coeficiente de variación de 8.67%, tal como se muestra en la tabla 14. El promedio más alto para el fosforo es 0.70% en el tratamiento 1, siendo un valor aún superior en lo obtenido por Ricardo (2019) en sus repeticiones de ensayos con la solución Hoangland obtuvo un promedio de 0.6% en fósforo.

A parte del fósforo en los elementos de N, K, Ca y Mg no se encontraron diferencias mínimas significativas, demostrando así que los tratamientos aplicados no infirieron en la acumulación de estos elementos. Al comparar la información de Jiménez (2017) con los resultados obtenido, los niveles de N, P y K son satisfactorios y se mantienen en el margen de condiciones normales, mientras que la concentración de Ca se ubica en una posición ligeramente excedido del rango normal y por el contrario el Mg está en niveles deficientes.

Tabla 14. Análisis foliar de lechuga variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Parámetro químico					
	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)
P-valor	0.4017	0.0471	0.2092	0.2709	0.0565
Sig.	NS	*	NS	NS	NS
CV (%)	6.09	9.99	8.67	9.69	10.55
T1	4.57	0.70	5.32	1.38	0.18
T2	4.13	0.64	4.94	1.45	0.16
T3	4.37	0.59	5.32	1.46	0.17
T4	4.47	0.63	4.96	1.41	0.16
T5	4.50	0.62	5.28	1.55	0.19
T6	4.57	0.51	4.48	1.26	0.14
Niveles normales*	3.5 - 5.0	0.3 - 0.6	4.5 - 6.3	0.5 - 0.75	0.25 - 0.35

Fuente: Elaboración propia, INIAP 2020; *Fuente: Jiménez, 2017.

3.8. Consumo de agua

En la tabla 15 se presenta el consumo de agua, siendo el tratamiento T1 y T4 con un consumo aproximado de $1.39 \text{ L Planta}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$. En lo mencionado por Sánchez *et al.*, (2015) el cultivo de lechuga bajo este sistema de raíz flotante y con recirculación, ahorra agua y fertilizantes, definiendo así un valor promedio de 2 litros por planta en todo su ciclo. Los tratamientos T2-T5 y T3-T6 consumieron 1.20 y $1.23 \text{ L planta}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$, la diferencia de los valores de consumo de agua está enmarcada por el peso de la planta, a mayor follaje, mayor es el consumo de agua por transpiración. Según Ricardo (2019), obtuvo un consumo de $57.5 \text{ L m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ para la solución Hoangland como promedio de los primeros 5 meses del año (tiempo que duró su investigación), mientras que en el tratamiento T1-T4 se obtuvo un consumo de $44.58 \text{ L m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$ debiéndose probablemente a la temperatura, variedad, peso y entre otros factores.

Tabla 15. Consumo de agua en lechuga variedad Vizir en sistema de raíz flotante.

Tratamientos	Consumo de agua		
	$\text{L Planta}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$	$\text{L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$	$\text{L m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$
T1-T4	1.39	2.23	44.58
T2-T5	1.20	1.93	38.51
T3-T6	1.23	1.98	39.66

Fuente: Elaboración propia.

3.9. Costos

El costo de producción de lechuga hidropónica en las condiciones del sistema raíz flotante y en la provincia de Santa Elena, para producciones empresarial es de USD \$1,224.19 para 1,000 m² de infraestructura, divididos en 5 naves de 20 x 10 metros (200 m²), considerando que el cultivo ocupa un 50% de área productiva efectiva (100 m²). Según en lo estimado en mil metros cuadrados se pueden producir 16,000 lechugas por corrida, estimando un 10% de pérdidas, se pueden sacar a la venta 14,400 lechugas con un peso de 134.44 gramos y se calcula su precio de USD \$ 0.09. se detallan los costos en la siguiente tabla:

Tabla 16. Costo de producción de lechuga hidropónica en sistema de raíz flotante

Costo de producción de lechuga hidropónica en 1000 m ²				
Descripción	Unidad	Cantidad	C. unitario (USD)	C. Total (USD)
H3PO4 (cc L-1)	L	0.299	\$ 1.40	\$ 0.42
KNO3	kg	20.532	\$ 1.32	\$ 27.10
Ca(NO3)2	kg	17.512	\$ 0.64	\$ 11.21
(NH4)(NO3)	kg	1.041	\$ 0.50	\$ 0.52
MgSO4	kg	8.647	\$ 0.85	\$ 7.35
NH4HPO4	kg	1.484	\$ 2.00	\$ 2.97
Quelato de Fe	kg	1.072	\$ 12.00	\$ 12.86
MnSO4	kg	0.040	\$ 5.00	\$ 0.20
CuSO4	kg	0.002	\$ 3.50	\$ 0.01
ZnSO4	kg	0.006	\$ 1.00	\$ 0.01
Ac. Bórico	kg	0.063	\$ 2.80	\$ 0.18
Molibdato sodio	kg	0.001	\$ 15.00	\$ 0.01
Semillas	unidad	16800	\$ 0.01	\$ 126.00
Turba + perlita	L	672	\$ 0.21	\$ 141.12
L-Amino	Kg	0.08	\$ 30.00	\$ 2.34
Grandsil	L	0.07	\$ 27.80	\$ 1.81
Naturamín-WSP	Kg	0.002	\$ 35.00	\$ 0.07
Agua	m3	26.04	\$ 0.60	\$ 15.62
Insecticida orgánico	L	33	\$ 0.40	\$ 13.20
Empaquetado	Funda + sticker	14400.00	\$ 0.01	\$ 115.20
Electricidad				\$ 80.00
Mano de obra	Jornal	32	\$ 18.00	\$ 576.00
Transporte	Flete	3	\$ 30.00	\$ 90.00
TOTAL (USD)				\$ 1,224.19
Índice de mortalidad (10%)				1,600
Número de lechugas en venta				14,400
Costo de producción por unidad (USD)				\$ 0.09

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El rendimiento de la lechuga hidropónica bajo el efecto de 3 bioestimulantes y un testigo, se encontró que el mejor rendimiento lo obtuvo el testigo con un peso de 4,302.08 g por metros cuadrados, seguido del T4 con un rendimiento de 4,268.16 g, sin embargo, en las otras variables agronómicas se encontró lo siguiente: altura de planta el T1 alcanzo 14.75 cm, seguido del T2 con un 13,5 cm; en el número de hojas el T4 obtuvo un promedio de 26 hojas por plantas, superando al T1 que alcanzo 25 hojas/plantas. Para el peso fresco del follaje, el T1 alcanzo un promedio de 122,09 g seguido por T4 que obtuvo 118,13 g.

Se determinó que para emitir el escapo floral la variedad de lechuga *Vizir* es de 375.2 grados días acumulado, para la Santa Elena, el mismo que es un indicador para realizar el corte del cultivo.

El costo de producción en lechuga hidropónica bajo el sistema de raíz flotante es de USD \$ 1,224.18 en 1000 metros cuadrados, alcanzando a estimar un precio de USD \$ 0.09 por lechuga de peso promedio 134.44 g.

Recomendaciones

Investigar diferentes dosis de aminoácidos en aplicación foliar.

Probar concentraciones de fertilizantes en relación de 50%, 75% y 100% para reducir costos de producción sin disminuir la producción.

Implementar el método de investigación en otros cultivos como Tomate, pimiento y pepino para fomentar la importancia de este sistema de producción.

BIBLIOGRAFÍA

Abarca, V.H.A., (2019). Influencia de la intensidad y calidad de luz en el crecimiento y propiedades antioxidantes en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Bajo sistema fábrica de plantas. Universidad autónoma de nuevo león.

Albornoz, F., Heinrich, J., Gonzalez, J.A., (2014). Effect of different day and night nutrient solution concentrations on growth, photosynthesis, and leaf NO₃- content of aeroponically grown lettuce. Chilean J. Agric. Res. 74, 240–245. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000200017>

Arancon, N. Q., Schaffer, N., & Converse, C. E. (2015). Effects of Coconut Husk and Sphagnum Moss-Based Media on Growth and Yield of Romaine and Buttercrunch Lettuce (*Lactuca Sativa*) in a Non-Circulating Hydroponics System. Journal of Plant Nutrition. Consultado en: <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.983117>

Arteaga, M.C.J., Gómez, L.G.G., Rodríguez, A.F., Montero, E., (2013). Evaluación de tres bioestimulantes en lechuga en condiciones de organopónico 4.

Barone, V., Puglisi, I., Fragalà, F., Stevanato, P., Baglieri, A., (2019). Effect of living cells of microalgae or their extracts on soil enzyme activities. Archives of Agronomy and Soil Science 65, 712–726. Consultado en: <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1521513>

Beltrano, J., Gimenez, D.O., (2015). Cultivo en hidroponía, Primera edición. ed. Edulp, Buenos aires, argentina.

Borrero, R., Rodríguez, A., Angarica, E.M., Rojas, O., (2011). Efecto de tres bioestimulantes en el cultivo de pimiento (*capsicum annun*, 1) variedad atlas en condiciones de cultivo protegido.

Chávez, E., Preciado-Rangel, P., Benavides-Mendoza, A., (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas.

Chávez, J.E.C., Castro, G.L.O., Tinoco, A. del C.C., García, G.A.C., (2019). Eficacia de bioestimulantes sobre el crecimiento inicial de plantas de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103 10, 14–22.

Díaz, L. A. (2017). Producción de Cultivo Hidropónico Lechuga (*Lactuca Sativa* L.) para la Promoción de la Autogestión en la Escuela Básica Bolivariana “Los Naranjos”. Revista Scientific, 2(4), 204-222. <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.2.4.12.204-222>

Econtexto, (2018). Revista Encontexto Edición 97. La aeroponía: una solución para producir sin suelo. ISSUU.

Estudillo, A.A., González, J.A.-A., López, R.-C.A., Rojas, A.-C.A., (2017). Efecto de Extractos de Algas Marinas y Aminoácidos en el Crecimiento de Lechuga (*Lactuca Sativa L.*) Bajo un Sistema de Raíz Flotante.

FAO, (2002). Proyecto TCP/ECU/066 (a) Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los centros de desarrollo infantil del INNFA. <https://docplayer.es/60013085-proyecto-tcp-ecu-066-a-mejoramiento-de-la-disponibilidad-de-alimentos-en-los-centros-de-desarrollo-infantil-del-innfa.html>

FAO, (2020). Base de datos FAOSTAT. URL <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado: 5/9/20.

Favela, E., Preciado, P., Benavides, A., (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma de Navarra.

Gabriel Saavedra Del R, 2017. Manual Lechuga.pdf.

Galmarini, C., Loyola, P., (2014). Cátedra de Horticultura y Floricultura.

García, E., (2007). Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.* var. longifolia Compositae) en hidroponía. Universidad Rafael Landívar Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas Campus Central, Guatemala.

Gilsanz, J., (2007). Hidroponía. INIA.

González, G., (2014). Transferencia de tecnologías para el mejoramiento productivo de la horticultura en la región de Aysén. Presented at the Seminario Hortícola, Coyhaique.

Grazia, J.D., (2001). Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*). Cátedra de Horticultura y Floricultura, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina. Invest. Agr.: Prot. Veg 16: 355-365.

Guerra, C.R., (2014). UF0008 - Instalaciones, su acondicionamiento, limpieza y desinfección. Editorial Elearning, S.L.

Gutiérrez, J., (2011). Comportamiento de tres cultivares de lechuga (*Lactuca sativa L.*), evaluados al aire libre, en Valdivia. Universidad Austral de Chile, Chile.

Hernán L. P., (2001). Soluciones Nutritivas para Cultivos Hidropónicos]. Disponible en: <http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Soluciones1.html>

Hernández, D.D., Camacho, O.T., Grimaldo, O., González, D., Ceceña, C., Díaz, L.C., López, C.Y.M., Alvarado, C.R., (2019). Compendio Científico en Ciencias Agrícolas y Biotecnología (Vol 2): XXI Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. OmniaScience.

Hernandez, M.B., García, M.A., Masjuan, Y.G., Bertot, I.J., (2015). Respuesta agronómica del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) variedad Black Seed Simpson ante la aplicación de bioestimulantes Enerplant 5.

Hortoinfo, (2019). *España es el mayor exportador mundial de lechuga, pero a mitad de precio que Holanda.* Disponible en: <http://www.hortoinfo.es/index.php/8819-exportacion-mundial-lechuga-161219>.

Hurtado, M., Sánchez Mata, M.C., Torija Isasa, M.E., (2003). Frutas y verduras, fuentes de salud. Servicio de Promoción de la Salud, Madrid.

INAMHI, (2017), Datos climáticos de Santa Elena.

INEC, (2018). Manual del encuestador y supervisor ESPAC 2018.

Infoagro (2010). *Cultivo de lechuga.* Disponible en: <http://www.abcagro.com/hortalizas/lechuga.asp>. Consultada 15 de enero del 2020.

INIAP., (2020). Análisis foliar.

INIAP-Pichilingue, (2016). Análisis de agua.

Jiménez, M., (2017). Necesidades nutricionales y de riego de la lechuga 9.

López, M., Chaves, B., Flórez, V., (2011). Modelos de cultivos y modelos fenológicos. pp. 153–177.

MAG, (2018). *Lechuga se produce de forma hidropónica – Ministerio de Agricultura y Ganadería.* Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/lechuga-se-produce-de-forma-hidroponica/>

Manzano, J.C., Linda, V.A., Cabezas, A., (2018). Evaluación de tres dosis de potasio en la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.* var. Crispa) bajo el sistema hidropónico recirculante NTF bajo invernadero. European Scientific Journal ESJ 14. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p92>

María, H., (2018). Respuesta agronómica del cultivo de lechuga *Lactuca sativa L.* ante la aplicación de dos biofertilizantes con tres dosis.

Mendoza Rodríguez, A.M., (2017). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) hidropónica en sistema recirculante “NFT” tipo piramidal con tres niveles de aireación. Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa, Arequipa - Perú.

Miller, A., (2019). Heating requirements for winter hydroponic lettuce production.

Mohammed, A.A., Hatcher, P.E., (2016). Effect of temperature, relative humidity and aphid developmental stage on the efficacy of the mycoinsecticide Mycotal[®] against *Myzus persicae*. *Biocontrol Science and Technology* 26, 1379–1400. <https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1207219>

Ricardo, J., (2019). Evaluación de cultivo de lechuga hidropónica (*Lactuca Sativa L.*) en raíz flotante bajo diferentes soluciones nutritivas. Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) 93p. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/4808/UPSE-TIA2019-0008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Noguera, P., (2020). España fue el mayor exportador mundial de lechuga en 2018. Proexport. URL <https://www.proexport.es/espana-fue-el-mayor-exportador-mundial-de-lechuga-en-2018/>.

Pertierra Lazo, R., Quispe Gonzabay, J., (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. LA GRANJA. *Revista de Ciencias de la Vida* 31, 118–130. <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.09>

Pizarro, V., Jana, C., Ibacache, G., (2019). Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF): producción de lechugas y berros bajo invernadero (No. 85). INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA Intihuasi, Colina San Joaquín s/n, La Serena.

Qadir, G., Ahmad, S., Fayyaz-ul-Hassan, Cheema, (2006). Oil and fatty acid accumulation in sunflower as influenced by temperature variation. *Pakistan urnal of Botany*, 38(4), 1137-1147.

Quispe, E.W.A., Figueras, M.L.T., Pezoa, A.B., Laguna, O.T., Gonzales, W., Contreras, V.H.E., (2018). Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa L.*) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico. *Anales Científicos* 10. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1145>

Rivera, S., Patricio, E., (2011). Evaluación de la fertilización química Y orgánica en el cultivo de lechuga variedad (Verpia) en la Comunidad De Florencia – Tabacundo, Provincia de Pichincha.

Rodriguez, A., (2015). Formula de solución nutritiva para cultivo de Lechuga (Huancayo, Junín). La Molina.

Rosa, A.M., Seó, H.L.S., Volpato, M.B., Foz, N.V., Silva, T.C. da, Oliveira, J.L.B., Pescador, R., Ogliari, J.B., (2014). Production and photosynthetic activity of Mimoso Verde and Mimoso Roxa lettuce in two farming systems. Rev. Ceres 61, 494–501. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040007>

Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.

Sánchez, F., Gutiérrez, J., Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo., González, L., Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias., Pineda, J., Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo., (2015). Greenhouse lettuce production with and without nutrient solution recycling. Revista Chapingo Serie Horticultura XXI, 43–55. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.12.047>

Sánchez, J., (2018). “Cultivo semi-forzado de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén.” Esperanza, Santa Fe, Argentina.

Santiago, P.H., (2005). LA LECHUGA manual para su cultivo en la agricultura ecológica.

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., Chaurasia, O.P., (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. Journal of Soil and Water Conservation 17, 364. <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>

SIAP, (2018). Atlas Agroalimentario2012-2018.

SICA, (2002). III Censo Nacional Agropecuario - Resultados Nacionales 1.

Silva, G.C., Briones, C.S., (2016). Manual práctico del cultivo de la lechuga. Mundi-Prensa Libros.

Solagro, (2016). *La Solución para el Agro – Lechuga*. Disponible en: <http://www.solagro.com.ec/es/cultivos-2/item/lechuga.html>. Consultado: 27/5/19.

Tigrero, T., 2018. Análisis comparativo de costos de inversión de sistemas hidropónicos. Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4561/1/UPSE-TAA-2018-0027.pdf>

Méndez, H., 2019. Evaluación de fenología y rendimiento de tomate hidropónico *Lycopersicon esculentum* Mill, bajo distintas soluciones nutritivas en clima semiárido. Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4802/1/UPSE-TIA-2019-0002.pdf>

Torres, A.P., Lopez, R., (2010). Producción comercial de cultivos bajo invernadero y viveros.

Triyono, S., Putra, R., Waluyo, S., Amin, M., (2019). The effect of three different containers of nutrient solution on the growth of vegetables cultured in DFT hydroponics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 355, 012092. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012092>

Trudgill, D.L., Honek, A., Li, D., Straalen, N.M., (2005). Thermal time - concepts and utility. Ann Applied Biology 146, 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.04088.x>

Vázquez, R.E., (2010). Producción hidropónica de nopal verdura 22.

Vega Castro, D. A., Garzón Gutierrez, M. H., Niño Linares, S. C., & Rico Belalcazar, P. A. (2015). Bioestimulante para la producción de lechuga. Disponible en: <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.10.19.2015.13-20>.

Villafuerte, C., (2020). Comportamiento agronómico de cuatro cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.) mediante sistema hidropónico en la zona de Babahoyo, Provincia de Los Ríos.

Villarreal, R., Mendoza, (2018). Sistema acuapónico vertical automatizado para la producción de alimentos.

Vitalis, (2017). El ecológico de Enza Zaden.

Yhony, V.-L., Josselyn, M.-Q., Karen, Q.-Q., Alfredo, C.-L., Williams, M.-G., Julio, G.-O., (2020). Los bioestimulantes: Una innovación en la agricultura para el cultivo del café (*Coffea arabica* L) Biostimulants: An innovation in agriculture for coffee cultivation (*Coffea arabica* L) 11, 11.

Yzarra, W., Trebejo, I., Noriega, V., (2009). Evaluation of heat units for growth and development of hard yellow maize crop (*Zea mays* L.) in the central coast of Peru. 10.

Zea, P., Pierre, L., Lucero, G., Larriva, W., Chica, E.J., (2020). Desarrollo y rendimiento de calabacín y lechuga cultivados sobre acolchados vivos en Cuenca, Ecuador. Siembra 7, 043–049. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1811>

ANEXOS

Variables	Paramétrico		Sig	CV (%)	Tratamientos					
	P-Valor	F			Testigo	Extr. de alga	Oxido de Silicio	Testigo + Aminoácidos	E. de alga + Aminoácidos	O. Silicio + Aminoácidos
Altura de la planta (cm)	0.0481	2.81	*	16.17%	4.93 a	3.50 a	3.75 a	4.20 a	3.88 a	3.53 a
Número de hojas	0.1427	1.91	NS	11.52%	5.75 a	5.50 a	5.75 a	6.00 a	5.50 a	6.75 a
Largo de la hoja (cm)	0.0809	2.37	NS	11.52%	10.38 a	9.68 a	10.85 a	10.70 a	8.78 a	9.03 a
Peso fresco follaje (g)	0.0529	2.73	NS	33.94%	1.75 a	1.2 a	2.35 a	2.25 a	1.36 a	2.42 a
Peso fresco raíz (g)	0.1469	1.89	NS	38.29%	0.23 a	0.33 a	0.47 a	0.35 a	0.26 a	0.38 a
Peso seco follaje (g)	0.2873	1.35	NS	32.60%	0.13 a	0.12 a	0.15 a	0.19 a	0.14 a	0.18 a
Peso seco raíz (g)	0.6248	0.71	NS	28.11%	0.03 a	0.03 a	0.03 a	0.04 a	0.03 a	0.03 a
Materia seca follaje (%)	0.0348	3.09	*	19.87%	7.36 a	10.16 a	7.02 a	8.33 a	10.03 a	7.05 a
% Materia seca raíz (%)	0.2821	1.37	NS	34.43%	13.03 a	9.92 a	7.08 a	10.39 a	12.32 a	9.90 a

Tabla 1A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 4 ddt.

Variables	Paramétrico		Sig	CV (%)	Tratamientos					
	P-Valor	F			Testigo	Extr. de alga	Oxido de Silicio	Testigo + Aminoácidos	E. de alga + Aminoácidos	O. Silicio + Aminoácidos
Altura de la planta (cm)	0.7013	0.6	NS	15.08%	5.63 a	5 a	5.2 a	5.38 a	4.9 a	5.63 a
Número de hojas	0.1107	2.11	NS	11.59%	10 a	8.25 a	9.75 a	10 a	9.75 a	10.75 a
Largo de la hoja (cm)	0.0091	4.34	*	7.13%	13.2 a	10.6 b	11.7 ab	11.3 b	11.43 ab	11.97 ab
Peso fresco follaje (g)	0.0017	6.17	NS	23.81%	11.97 a	4.83 b	9 ab	9.55 ab	7.42 ab	11.63 a
Peso fresco raíz (g)	0.0232	3.45	*	24.68%	3.52 ab	2.1 b	3.55 ab	2.6 ab	2.77 ab	3.98 a
Peso seco follaje (g)	0.0049	4.99	*	23.64%	0.75 A	0.34 B	0.62 ab	0.61 ab	0.52 ab	0.77 a
Peso seco raíz (g)	0.0968	2.22		19.20%	0.28 a	0.18 a	0.23 a	0.20 a	0.22 a	0.25 a
Materia seca follaje (%)	0.0133	3.97	*	4.70%	6.26 B	7.03 A	6.89 ab	6.4 ab	6.93 ab	6.62 ab
% Materia seca raíz (%)	0.3085	1.3		23.25%	8.12 a	8.53 a	6.46 a	8.10 a	8.12 a	6.16 a
Peso de la planta (g)	0.0039	5.23	*	23.72%	15.5 A	6.92 B	12.55 ab	12.15 ab	10.2 ab	15.6 a

Tabla 2A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 8 ddt.

Variables	Paramétrico		Sig	CV (%)	Tratamientos					
	P-Valor	F			Testigo	Extr. de alga	Oxido de Silicio	Testigo + Aminoácidos	E. de alga + Aminoácidos	O. Silicio + Aminoácidos
Altura de la planta (cm)	0.0611	2.6	NS	8.75%	7.92 a	6.50 a	7.33 a	7.75 a	7.25 a	7 a
Número de hojas	0.0134	3.97	*	7.74%	13.25 ab	11.25 b	12.50 ab	14.25 a	13.00 ab	13.25 ab
Largo de la hoja (cm)	0.001	6.75	*	4.82%	14.25 a	12.00 c	12.85 abc	13.65 ab	12.45 bc	12.90 abc
Peso fresco follaje (g)	0.008	4.47	*	15.64%	32.92 a	21.68 b	29.00 ab	33.80 a	25.60 ab	32.75 a
Peso fresco raíz (g)	0.5598	0.81	NS	23.87%	5.95 a	6.13 a	7.15 a	6.65 a	5.70 a	7.45 a
Peso seco follaje (g)	0.018	3.68	*	14.82%	1.87 ab	1.34 b	1.80 ab	1.98 a	1.55 ab	1.94 a
Peso seco raíz (g)	0.2184	1.57	NS	15.80%	0.36 a	0.30 a	0.36 a	0.38 a	0.33 a	0.39 a
Materia seca follaje (%)	0.0423	2.92	*	4.20%	5.67 a	6.21 a	6.20 a	5.84 a	6.11 a	5.92 a
% Materia seca raíz (%)	0.3199	1.27	NS	13.08%	6.01 a	4.93 a	5.43 a	5.78 a	5.91 a	5.32 a
Peso de la planta (g)	0.0304	3.21	*	16.20%	38.88 a	27.8 a	36.15 a	40.45 a	31.30 a	40.20 a

Tabla 3A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 12 ddt.

Variables	Paramétrico		Sig	CV (%)	Tratamientos					
	P-Valor	F			Testigo	Extr. de alga	Oxido de Silicio	Testigo + Aminoácidos	E. de alga + Aminoácidos	O. Silicio + Aminoácidos
Altura de la planta (cm)	0.0012	6.62	*	7.20%	11.63 a	9.50 b	9.13 b	9.75 b	9.25 b	9.88 b
Número de hojas	0.178	1.73	NS	11.62%	18.00 a	16.00 a	17.00 a	16.75 a	19.25 a	19.25 a
Largo de la hoja (cm)	0.0015	6.35	*	6.02%	16.88 ab	14.25 c	15.40 bc	16.60 ab	15.75 abc	17.70 a
Peso fresco follaje (g)	0,7144	0,58	NS	19,54%	71.05 a	57.48 a	66.78 a	62.77 a	65.83 a	69.33 a
Peso fresco raíz (g)	0,8389	0,41	NS	15,67%	9.13 a	10.05 a	10.45 a	9.40 a	10.10 a	9.97 a
Peso seco follaje (g)	0,5391	0,84	NS	15,74%	2.80 a	2.32 a	2.75 a	2.59 a	2.74 a	2.85 a
Peso seco raíz (g)	0,6496	0,67	NS	19,98%	0.40 a	0.35 a	0.44 a	0.40 a	0.43 a	0.41 a
Materia seca follaje (%)	0,9317	0,26	NS	6,96%	3.98 a	4.14 a	4.14 a	4.18 a	3.75 a	4.13 a
% Materia seca raíz (%)	0,3540	1,19	NS	16,46%	4.42 a	3.39 a	4.22 a	4.29 a	4.28 a	4.12 a
Peso de la planta (g)	0,7983	0,46	NS	18,61%	80.18 a	67.53 a	77.22 a	72.17 a	75.93 a	79.30 a

Tabla 4A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 16 ddt.

Variables	Paramétrico		Sig	CV (%)	Tratamientos					
	P-Valor	F			Testigo	Extr. de alga	Oxido de Silicio	Testigo + Aminoácidos	E. de alga + Aminoácidos	O. Silicio + Aminoácidos
Altura de la planta (cm)	0.0045	5.07	*	9.53%	14.75 a	13.5 ab	12.25 ab	12.38 ab	11.63 a	11.00 a
Número de hojas	0.5691	0.79	NS	8.36%	25 a	23.25 a	24.50 a	26.00 a	25.00 a	24.25 a
Largo de la hoja (cm)	0.0247	3.39	*	6.27%	19.08 b	21.88 ab	21.75 ab	21.38 ab	21.25 ab	22.75 a
Peso fresco follaje (g)	0.0647	2.56	NS	10.59%	122.09 a	96.47 a	104.24 a	118.13 a	108.5 a	109.08 a
Peso fresco raíz (g)	0.2051	1.62	NS	13.17%	12.35 a	10.23 a	11.75 a	12.23 a	10.44 a	12.31 a
Peso seco follaje (g)	0.1617	1.81	NS	11.56%	4.75 a	4.08 a	4.53 a	4.90 a	4.39 a	4.04 a
Peso seco raíz (g)	0.5290	0.86	NS	13.43%	0.47 a	0.40 a	0.42 a	0.45 a	0.45 a	0.42 a
Materia seca follaje (%)	0.6583	0.66	NS	5.63%	3.79 a	3.93 a	3.84 a	3.93 a	3.93 a	3.79 a
Materia seca raíz (%)	0.5183	0.87	NS	12.70%	3.45 a	3.28 a	3.19 a	3.55 a	3.68 a	3.68 a
Peso de la planta (g)	0.0171	3.73	*	8.54%	134.44 a	106.70 b	124.33 ab	133.38 a	119.91 ab	121.39 ab

Tabla 5A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 20 ddt.

Variables	Paramétrico		Sig	CV (%)	Tratamientos					
	P-Valor	F			Testigo	Extr. de alga	Oxido de Silicio	Testigo + Aminoácidos	E. de alga + Aminoácidos	O. Silicio + Aminoácidos
Nitrógeno (%)	0.4017	1.12	NS	6.09	4.57 a	4.13 a	4.37 a	4.47 a	4.5 a	4.57 a
Fósforo (%)	0.0471	3.17	*	9.99	0.7 b	0.64 ab	0.59 ab	0.63 ab	0.62 ab	0.51 a
Potasio (%)	0.2092	1.7	NS	8.67	5.32 a	4.94 a	5.32 a	4.96 a	5.28 a	4.48 a
Calcio (%)	0.2709	1.47	NS	9.69	1.38 a	1.45 a	1.46 a	1.41 a	1.55 a	1.26 a
Magnesio (%)	0.0565	2.98	NS	10.55	0.18 ab	0.16 ab	0.17 ab	0.16 ab	0.19 b	0.14 a

Tabla 6A. Evaluación de análisis foliar en lechuga hidropónica

Día	Fecha	Klx: 10:00 am	Klx: 2:00 pm	Lux/Día	LDI
1	26/09/2019	6.45	47.48	26965.00	46.60
2	27/09/2019	14.84	34.50	24670.00	42.63
3	28/09/2019	11.70	17.50	14600.00	25.23
4	29/09/2019	12.09	20.30	16195.00	27.98
5	30/09/2019	15.80	15.20	15500.00	26.78
6	01/10/2019	39.60	12.24	25920.00	44.79
7	02/10/2019	9.80	15.80	12800.00	22.12
8	03/10/2019	14.84	24.00	19420.00	33.56
9	04/10/2019	6.07	80.40	43235.00	74.71
10	05/10/2019	18.53	72.30	45415.00	78.48
11	06/10/2019	15.60	17.98	16790.00	29.01
12	07/10/2019	8.82	36.50	22660.00	39.16
13	08/10/2019	21.10	19.00	20050.00	34.65
14	09/10/2019	6.43	15.86	11145.00	19.26
15	10/10/2019	13.48	11.15	12315.00	21.28
16	11/10/2019	10.93	18.30	14615.00	25.25
17	12/10/2019	4.20	25.70	14950.00	25.83
18	13/10/2019	14.52	24.00	19260.00	33.28
19	14/10/2019	22.20	19.10	20650.00	35.68
20	15/10/2019	13.80	16.00	14900.00	25.75

Tabla 7A. Datos de radiación y cálculo de LDI.

Tratamiento	Temperatura		pH		CE	
CV (%)	3.62		8.46		4.09	
P-Valor	0.6979		0.0000		0.0000	
Comparación	Sig.	Diferencia	Sig.	Diferencia	Sig.	Diferencia
T1 - T2	NS	0.25	*	-0.55	NS	-0.07
T1- T3	NS	0.39	*	-0.49	NS	0.05
T1 - T4	NS	0.29	NS	0.10	NS	-0.02
T1 - T5	NS	0.29	*	-0.56	*	-0.09
T1 - T6	NS	0.38	NS	-0.44	NS	0.06
T2 - T3	NS	0.14	NS	0.06	*	0.12
T2 - T4	NS	0.03	*	0.65	NS	0.04
T2 - T5	NS	0.04	NS	-0.01	NS	-0.02
T2 - T6	NS	0.13	NS	0.11	*	0.13
T3 - T4	NS	-0.10	*	0.59	NS	-0.08
T3 - T5	NS	-0.10	NS	-0.06	*	-0.15
T3 - T6	NS	-0.01	NS	0.05	NS	0.01
T4 - T5	NS	0.01	*	-0.66	NS	-0.07
T4 - T6	NS	0.09	*	-0.54	NS	0.08
T5 - T6	NS	0.09	NS	0.12	*	0.15

Tabla 8A. Parámetros de SN - comparación de pares entre tratamientos.

Días ddt	Tanque 1 (T1:T4)	Tanque 2 (T2:T5)	Tanque 3 (T3:T6)
1	0.04 L	0.04 L	0.04 L
2	0.04 L	0.04 L	0.03 L
3	0.04 L	0.04 L	0.05 L
4	0.06 L	0.04 L	0.06 L
5	0.04 L	0.07 L	0.07 L
6	0.08 L	0.04 L	0.10 L
7	0.06 L	0.03 L	0.06 L
8	0.04 L	0.06 L	0.08 L
9	0.05 L	0.05 L	0.04 L
10	0.04 L	0.05 L	0.05 L
11	0.10 L	0.11 L	0.04 L
12	0.14 L	0.11 L	0.12 L
13	0.04 L	0.04 L	0.04 L
14	0.04 L	0.04 L	0.04 L
15	0.17 L	0.05 L	0.04 L
16	0.09 L	0.06 L	0.05 L
17	0.04 L	0.09 L	0.10 L
18	0.08 L	0.11 L	0.09 L
19	0.10 L	0.03 L	0.04 L
20	0.10 L	0.10 L	0.09 L
Planta⁻¹ ciclo⁻¹	1.39 L	1.20 L	1.23 L
m⁻² día⁻¹	2.23 L	1.93 L	1.98 L
m⁻² ciclo⁻¹	44.58 L	38.51 L	39.66 L

Tabla 9A. Consumo de agua en lechuga hidropónica (SRF).

Día	Fecha	HR% Max	HR% Min	Promedio %
0	25-sep.	87		
1	26-sep.	89	42	65
2	27-sep.	87	34	62
3	28-sep.	82	20	54
4	29-sep.	77	20	51
5	30-sep.	90	20	49
6	1-oct.	83	24	57
7	2-oct.	85	23	53
8	3-oct.	85	23	54
9	4-oct.	85	23	54
10	5-oct.	81	26	56
11	6-oct.	83	25	53
12	7-oct.	86	21	52
13	8-oct.	89	33	60
14	9-oct.	91	47	68
15	10-oct.	86	51	71
16	11-oct.	83	56	71
17	12-oct.	83	48	66
18	13-oct.	86	46	65
19	14-oct.	84	46	66
20	15-oct.		38	61
Promedio		85	33	59

Tabla 10A. Humedad relativa en el cultivo de lechuga hidropónica.



Figura 1A. Semillero de lechuga.



Figura 2A. Tanques de solución nutritiva y regla de medición.



Figura 3A. Trasplante de lechuga en el sistema de raíz flotante.



Figura 4A. Crecimiento y desarrollo del cultivo de lechuga hidropónica 8 ddt.



Figura 5A. Cultivo de lechuga hidropónica a los 9 ddt.



Figura 6A. Desarrollo de raíces en solución nutritiva con óxido de silicio a los 10 ddt.



Figura 7A. Peso fresco de planta en los días 12 y 16 ddt.

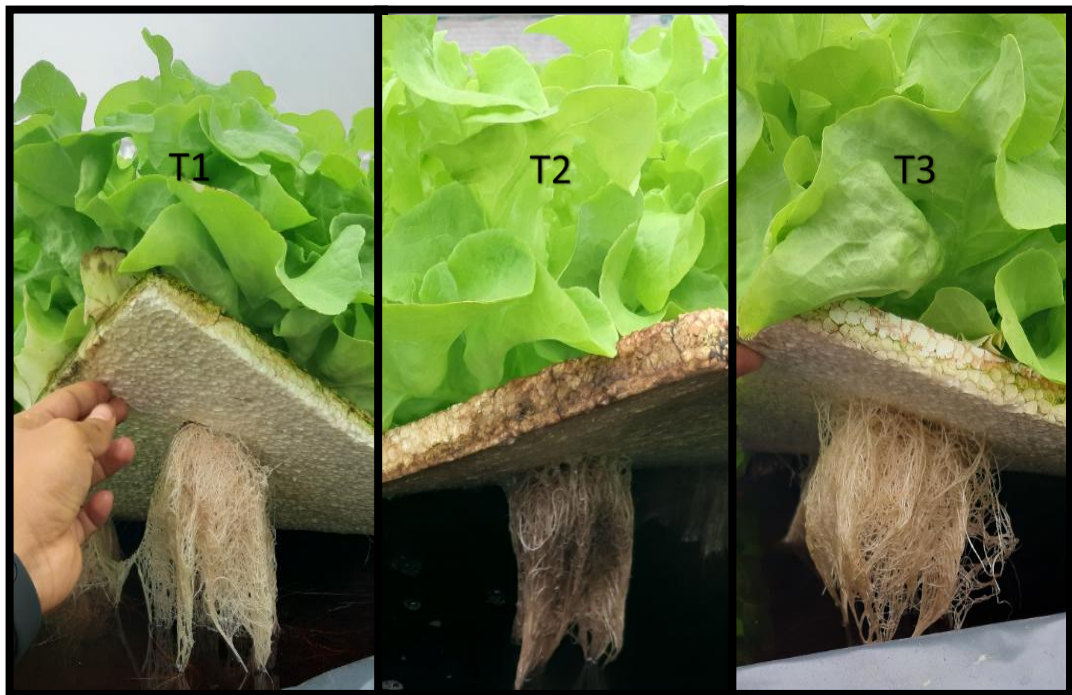


Figura 8A. Desarrollo de las raíces en el día 20 ddt.



Figura 9A. Cosecha de lechuga hidropónica en el día 20 ddt.



Figura 10A. Peso seco del follaje.



INIAP
ESTACION EXPERIMENTAL PICHILINGUE
SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
INFORMACIÓN PARA ANALISIS FOLIAR

Propietario:	Gonzáles José Walter Iván			Nº. Factura	6659
Remitente:				Fecha Muestreo:	23/12/2019
Hacienda:	Campus UPSE			Fecha Ingreso:	23/12/2019
Cultivo:	Lechuga Hidropónica			Fecha Salida:	09/01/2020
Localización:	Santa Elena	La Libertad	La Libertad		
	Provincia	Cantón	Parroquia	Ubicación	

Codigo	Identificación	Concentración %						ppm				
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	Boro	Zinc	Cobre	Hierro	Manganeso
72903	Tratamiento 1 R1	4.6	0.63	4.95	1.48	0.19						
72904	Tratamiento 1 R2	4.5	0.67	5.06	1.48	0.15						
72905	Tratamiento 1 R3	4.6	0.81	5.96	1.18	0.20						
72906	Tratamiento 2 R1	4.3	0.69	4.54	1.67	0.15						
72907	Tratamiento 2 R2	3.9	0.63	4.86	1.30	0.16						
72908	Tratamiento 2 R3	4.2	0.59	5.42	1.38	0.18						
72909	Tratamiento 3 R1	4.3	0.65	6.03	1.55	0.17						
72910	Tratamiento 3 R2	4.4	0.59	4.86	1.42	0.17						
72911	Tratamiento 3 R3	4.4	0.54	5.07	1.40	0.18						
72912	Tratamiento 4 R1	4.6	0.60	5.08	1.34	0.17						
72913	Tratamiento 4 R2	4.3	0.61	5.34	1.47	0.16						
72914	Tratamiento 4 R3	4.5	0.67	4.47	1.42	0.16						
72915	Tratamiento 5 R1	4.5	0.70	5.26	1.39	0.17						
72916	Tratamiento 5 R2	4.3	0.62	5.19	1.57	0.22						
72917	Tratamiento 5 R3	4.7	0.54	5.38	1.70	0.17						
72918	Tratamiento 6 R1	5.2	0.50	4.43	1.38	0.14						
72919	Tratamiento 6 R2	4.1	0.50	4.29	1.22	0.14						
72920	Tratamiento 6 R3	4.4	0.53	4.72	1.19	0.13						

Observaciones:

X. W. Carrillo
 Dr. Manuel Carrillo
 RESPONSABLE DNMSA



[Signature]
 LABORATORISTA

La muestra será guardada en el laboratorio por tres meses. Tiempo a partir de la recepción.

Figura 11A. Resultados del análisis foliar.