



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**  
**Facultad de Ciencias Agrarias**  
**Carrera de Agropecuaria**

**PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*) BAJO  
DISTINTAS CONCENTRACIONES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA  
EN UN SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE Y UN SISTEMA CON  
SUSTRATO INERTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO.**

**Autor(a):**

Núñez Carvajal Gloria Magdalena

**Libertad, 2020**



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**

**PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*) BAJO  
DISTINTAS CONCENTRACIONES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA  
EN UN SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE Y UN SISTEMA CON  
SUSTRATO INERTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Núñez Carvajal Gloria Magdalena

**Tutor:** Ing. Mercedes Solanda Santistevan Méndez PhD.

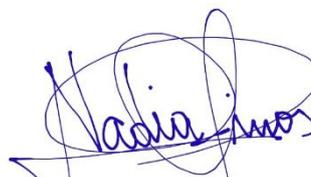
**La Libertad, 2020**

## TRIBUNAL DE GRADO



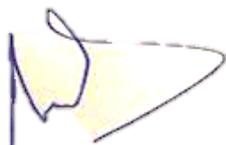
---

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



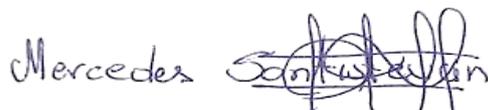
---

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



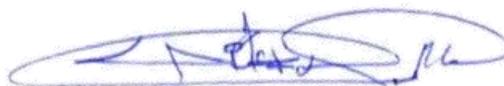
---

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**

*A Dios por ser quien lidera mi camino, por mantener la unión y salud de mis seres queridos.*

*A mi asesora la Ing. Mercedes Solanda Santistevan Méndez PhD por la paciencia, dedicación y el arduo trabajo que día a día realizó para estar presente en cada paso, por creer en cada uno de sus estudiantes y tener ese corazón de madre que la caracteriza.*

*A mi familia, el pilar fundamental de mi vida...mi padre y mis hermanos en especial, por inculcarme valores y formarme como persona.*

*A los amigos que estuvieron presente en el proceso de aprendizaje por la amistad, el apoyo moral y la ayuda brindada en el presente trabajo.*

*A la Universidad Estatal Península De Santa Elena, el segundo hogar del estudiante que me admitió en su establecimiento.*

*A la Facultad de Ciencias Agrarias y al cuerpo docente por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos.*

*A cada uno de ustedes, les agradezco por ser parte de mi vida y aportar  
anécdotas, éxitos...*

*Gloria Núñez Carvajal*

## **DEDICATORIA**

*A Dios como guía espiritual y la fortaleza proporcionada.*

*A mis padres por el apoyo incondicional, emocional y económico, el esfuerzo realizado para ayudarme a conseguir esta meta.*

*A la memoria de mi abuelita, Juana Medina Ávila, mi inspiración...*

*A mis hermanos, por la compañía, motivación y fe en mí.*

*Gloria Núñez Carvajal*

## RESUMEN

Santa Elena es considerada una zona semiárida y el aprovechamiento de los recursos juega un papel muy importante, la aplicación de fertilizantes es una de las labores agrícolas que eleva los costos de producción en un cultivo, la hidroponía se ofrece como alternativa para cumplir las necesidades haciendo uso eficiente de los insumos. Se ha comprobado que la lechuga de hoja cv. Crespa se adapta a las condiciones agroclimáticas de la Península y la formulación Hoagland & Arnon obtuvo los mejores resultados, por lo cual, el objetivo de la presente investigación fue producir lechuga bajo tres concentraciones de solución nutritiva (50%, 75% y 100%) con cuatro repeticiones y una densidad de 32 plantas por unidad experimental en sistema de Raíz Flotante y 39 plantas en Sustrato Inerte, la siembra se realizó a tresbolillo a una distancia de 0.20 m x 0.17 m entre plantas. Para ambos sistemas se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) y para el análisis estadístico la prueba de Tukey con un nivel de confianza al 95%, las variables evaluadas fueron: altura de planta, longitud y número de hojas, peso fresco de follaje, raíz y planta completa, peso seco de raíz y follaje y porcentaje de materia seca de follaje y raíz. Los resultados señalan que en Raíz Flotante se alcanzó los mejores resultados con el 50% de la solución nutritiva, en las variables: 132.05 gr planta<sup>-1</sup>, 20.03 cm de largo de hoja, 3.3 % materia seca foliar, mientras que en Sustrato Inerte se obtuvo un promedio de 186.8 gr planta<sup>-1</sup>, donde el 75% de la solución fertilizante reportó el mayor valor en la variable: 217.57 gr planta<sup>-1</sup>. Por lo tanto, ambos sistemas son considerados apropiados para el cultivo de lechuga y disminuir la concentración de solución nutritiva es aplicable hasta el 50% en Raíz Flotante y máximo un 75% en Sustrato Inerte, de acuerdo a las condiciones de Santa Elena.

**Palabras claves:** Concentración, solución nutritiva, sistemas hidropónicos.

## ABSTRACT

Santa Elena is considered a semi-arid zone and the resources development plays a very important role, the application of fertilizers is one of the agricultural work than raise the production costs in a crop, hidroponics is offered as an alternative to fulfil the needs, making efficient use of inputs. It has been proven that leaf lettuce adapted to the agroclimatic conditions of the Peninsula and the fertilizer formulation Hoagland and Arnon got the best results, therefore, the objective of this investigation was to produce lettuce under three concentrations of nutrient solution (50%, 75% and 100%) with four repeats and a density of 32 plants per experimental unit in floating root system and 39 plants in inert substrate, sowing was carried out in quincunx at a distance of 0.20 m x 0.17 m between plants. For both systems was performed a design completely random (DCA) and for statistical analysis the Tukey test with a confidence level of 95%, the variables evaluated were: plant height, length and number of leaf, fresh weight of root, foliage and complete plant, dry weight and dry matter of root and foliage. Results suggest that in floating root was reached the best results with the 50% of the nutritional solution, in the variables: 132.05 g plant<sup>-1</sup>, 20.03 cm leaf length, 3.3 % dry matter foliage, while in was obtained an average of 186.8 gr plant<sup>-1</sup>, where the 75% of the nutritional solution reported the highest value in the variable: 217.57 gr plant<sup>-1</sup>. Therefore, both systems are deemed appropriate to lettuce crop and decrease the concentration of nutritional solution is applicable until 50% in floating root and maximum 75% in inert substrate, in accordance with the conditions of Santa Elena.

**Key words:** Concentration, nutrient solution, hydroponic systems.

**“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”**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Gloria Nuñez C.", enclosed within a thin black rectangular border.

Gloria Nuñez Carvajal

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
1.1 Cultivo de lechuga.....	4
1.1.1 Generalidades del cultivo .....	4
1.1.2 Variedades de lechuga.....	5
1.2 Lechuga en el mercado ecuatoriano .....	6
1.4 Hidroponía en sistema raíz flotante.....	8
1.5 Sistema hidropónico con sustrato.....	9
1.6 Hidroponía en Ecuador.....	9
1.7 Soluciones nutritivas (SN).....	10
1.7.1 pH y conductividad eléctrica.....	11
1.8 Producción de lechuga en invernadero bajo el sistema raíz flotante.....	12
1.9 Experiencias de distintas concentraciones de solución nutritiva.....	12
1.10 Producción de lechuga bajo distintos sistemas de producción hidropónico	12
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
1.1 Ubicación y lugar del ensayo .....	13
1.2 Material Biológico.....	13
1.3 Materiales y Equipos .....	13
1.3.1 Materiales .....	13
1.3.2 Equipos.....	14
1.4 Infraestructura del invernadero .....	14
1.5 Variables climáticas .....	16
1.5.1 Temperatura, Humedad relativa y Radiación - Invernadero .....	16
1.5.2 Grados días (GD) .....	16
1.6 Luz diaria integrada.....	17
1.7 Parámetros de la solución nutritiva .....	17
1.8 Tratamientos y Diseño Experimental.....	17
1.8.1 Diseño experimental del ensayo.....	19
1.9 Procedimiento del ensayo.....	20
1.9.1 Preparación de las bandejas de polietileno.....	20
1.9.2 Siembra.....	20
1.9.3 Trasplante .....	20

1.9.4 Solución Nutritiva .....	21
1.9.5 Consumo de agua del sistema con Sustrato Inerte .....	22
1.9.6 Manejo fitosanitario .....	24
1.9.7 Cosecha .....	24
1.9.8 Variables experimentales .....	24
1.9.9 Variables agronómicas .....	24
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>26</b>
3.1 Variables climáticas .....	26
3.2 Determinación de Grados Días (GD) .....	30
3.3 Determinación de Luz Diaria Integrada (LDI) .....	31
3.4 Parámetros químicos de la solución nutritiva.....	32
3.4.1 Temperatura (T °C) .....	32
3.4.2 Potencial de hidrógeno (pH).....	37
3.4.3 Conductividad Eléctrica (CE) .....	40
3.5 Comportamiento de lechuga hidropónica en el sistema Raíz Flotante y Sustrato Inerte .....	44
3.5.1 Sistema Raíz Flotante .....	44
3.5.2 Sistema con Sustrato Inerte .....	48
3.6 Cosecha de lechuga hidropónica .....	51
3.7 Rendimiento .....	54
3.8 Análisis foliar .....	57
3.9 Consumo de agua .....	59
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>62</b>
Conclusiones .....	62
Recomendaciones.....	63
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características resistentes de la variedad Vizir.....	5
Tabla 2. Superficie de cultivos sin suelo en diferentes países .....	8
Tabla 3. Principales sustratos utilizados en hidroponía .....	9
Tabla 4. Disponibilidad de nutrientes según el pH.....	11
Tabla 5. Grado de tolerancia de algunos cultivos a las sales, según el rendimiento .....	11
Tabla 6. Disposición de los tratamientos.....	18
Tabla 7. Grados de Libertad .....	18
Tabla 8. Fertilizantes (gr/lit) y concentraciones utilizados en la preparación de la solución nutritiva.....	21
Tabla 9. Composición química de los macros y micro nutrientes.....	22
Tabla 10. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo y el requerimiento de agua por planta para lechuga .....	23
Tabla 11. Promedios de temperaturas internas del invernadero en Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de Lechuga en sistema Raíz Flotante y Sustrato inerte. ....	27
Tabla 12. Humedad relativa máxima y mínima en los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de Lechuga hidropónica en los sistemas Raíz Flotante y Sustrato Inerte. ....	29
Tabla 13. Temperatura (°C) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica en los sistemas de raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	35
Tabla 14. Temperatura de la solución nutritiva drenada, en el cultivo de lechuga hidropónica bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	36
Tabla 15. Potencial de hidrogeno (pH)de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica en sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	38
Tabla 16. Potencial de hidrógeno en la solución nutritiva drenada, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.....	40

Tabla 17. Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica bajo el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	42
Tabla 18. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva drenada, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	44
Tabla 19. Peso de plantas y producción en Kg m <sup>2</sup> obtenidos a tres concentraciones de solución nutritiva Hoagland/Arnon en el Sistema de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	56
Tabla 20. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva sobre la concentración de nutrientes en cultivo de lechuga, expresado en porcentaje, en Raíz Flotante.....	58
Tabla 21. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva sobre la concentración de nutrientes en cultivo de lechuga, expresado en porcentaje, en Sustrato Inerte y Raíz Flotante. ....	59
Tabla 22. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el consumo de agua, en el cultivo de lechuga bajo los sistemas de Raíz Flotante. ....	60
Tabla 23. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el consumo de agua, en el cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Lugar donde se realizó la investigación .....	13
Figura 2. Diagramada del sistema de riego .....	15
Figura 3. Unidad experimental de camas bajas .....	15
Figura 4. Distribución de los tratamientos y repeticiones.....	19
Figura 5. Sistema Raíz Flotante .....	20
Figura 6. Sistema con Sustrato inerte .....	20
Figura 7. Temperaturas internas del invernadero durante el ensayo desde Noviembre/Diciembre del 2019, en sistema Raíz Flotante y Sustrato Inerte.....	26

Figura 8. Humedad relativa máxima y mínima en los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica. ....	28
Figura 9. Grados días acumulados total en los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de lechuga en los sistemas de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	30
Figura 10. Grados días acumulados promedio diario durante los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica en los sistemas de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	30
Figura 11. Luz diaria integrada (LDI), en el cultivo de lechuga hidropónica bajo el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	32
Figura 12. Temperaturas registradas durante los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de lechuga en el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	33
Figura 13. Temperatura (°C) registrada en el drenaje de la solución nutritiva, en cultivo de lechuga hidropónica bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	36
Figura 14. Potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica en el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	37
Figura 15. Potencial de hidrógeno (pH) registrado en el drenaje de la solución nutritiva, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	39
Figura 16. Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> ) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica en el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte. ....	41
Figura 17. Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> ) registrada en el drenaje de la solución nutritiva, en cultivo de lechuga bajo sistema con Sustrato Inerte. ....	43
Figura 18. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en la altura de la planta, en cultivo de lechuga bajo el sistema de Raíz Flotante. ....	45
Figura 19. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el número de hojas y largo de hoja, en cultivo de lechuga bajo el sistema de Raíz Flotante. ....	45
Figura 20. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el peso fresco del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema de Raíz Flotante. ....	46

Figura 21. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el peso seco de follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema de Raíz Flotante.....	47
Figura 22. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en la materia seca del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema Raíz Flotante. ....	47
Figura 23. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva la altura de la planta, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	48
Figura 24. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el número y largo de hojas, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	49
Figura 25. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el peso fresco del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	49
Figura 26. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el peso seco del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.....	50
Figura 27. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el porcentaje de materia seca del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte. ....	51
Figura 28. Rendimiento de lechuga hidropónica var. Vizir bajo diferentes concentraciones de solución nutritiva, en el sistema de Raíz Flotante (A) y con Sustrato Inerte (B), entre los días de Noviembre/Diciembre del 2019 en la península de Santa Elena.....	55
Figura 29. Consumo de agua por planta en Lechuga var. Vizir para el sistema de Raíz Flotante. ....	60

## ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla 1A. Análisis estadístico de los parámetros químicos de la solución nutritiva en los sistemas de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte

Tabla 2A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 4 ddt

Tabla 3A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 8 ddt

Tabla 4A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 12 ddt

Tabla 5A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 16 ddt

Tabla 6A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 20 ddt

Tabla 7A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 24 ddt

Tabla 8A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 28 ddt

Tabla 9A. Datos de Radiación

Tabla 10A. Análisis estadístico de los parámetros químicos de la solución nutritiva del drenaje en sistema con Sustrato Inerte

Tabla 11A. Rendimiento de lechuga hidropónica en tres concentraciones de solución nutritiva bajo dos sistemas de producción

Figura 1A. Calculo de la ETo en Cropwat

Figura 2A. Siembra de semillas

Figura 3A. Plántulas de lechuga 1ra semana después de la siembra

Figura 4A. Plántulas de lechuga 3ra semana después de la siembra

Figura 5A. Trasplante de lechuga en el sistema de Raíz Flotante (Izquierda) y con Sustrato Inerte (Derecha)

Figura 6A. Preparación de solución madre

Figura 7A. Lavado de plántulas y preparación de unidades experimentales para el trasplante..

Figura 8A. Cultivo de lechuga a los 20 ddt en sistema de Raíz Flotante (Izquierda) y con Sustrato Inerte (Derecha)

Figura 9A. Medición de las variables climáticas con ayuda del termohigrómetro (Izquierda) y luxómetro (Derecha) fuera y dentro de la infraestructura

Figura 10A. Medición de los parámetros químicos de la solución nutritiva (pH, T° C y CE)

Figura 11A. Peso seco de la parte radicular y aérea de la planta

Figura 12A. Sistema radicular en Raíz Flotante a los 5 ddt (Izquierda) y 22 ddt (Derecha)

Figura 13A. Muestreo de las plantas de lechugas en Raíz Flotante a los 24 ddt (Izquierda) y en Sustrato Inerte a los 28 ddt (Derecha)

## INTRODUCCIÓN

La lechuga es una de las hortalizas de alto consumo a nivel mundial, ocupando el cuarto lugar por sus beneficios medicinales, este cultivo aporta diversas vitaminas como folatos, vitamina A o beta-caroteno, vitamina C, minerales, fibra y muy pocas calorías.

Según Pérez B., (2017), la producción mundial de lechuga batió récord al registrar estadísticamente un rendimiento total de 24.97 millones de kilos en 1.16 millones de hectáreas como superficie cultivada, de los cuales; China produce 13.65 millones de kilos (54.64 %) en 584.459 ha, Estados Unidos 3.7 millones de kilos (15.17 %) en 107.240 ha, India 1.09 millones de kilos (4.4 %) en 172.432 ha, España 902 millones de kilos (3.6 %) en 33.868 ha y el quinto lugar lo ocupa Italia con 709 millones de kilos (2.84 %) en 32.991 ha.

De acuerdo con INEC (2016), en Ecuador se cultivan 1.499 ha de lechuga y se cosechan 1478 ha anuales con una producción de 19.432 Tn. Entre las principales provincias productoras se encuentran: Pichincha (15.575 Tn), seguida de Chimborazo (1.905 Tn) y Tungurahua (1.030 Tn).

No existen datos relevantes en cuanto a la producción de lechuga en Santa Elena, sin embargo, se han realizado ensayos comparativos de lechuga variedad Crespa bajo las soluciones Hoagland, Steiner y la Molina y se ha llegado a obtener un peso promedio de 130 gr con una cosecha a los 25 días después del trasplante.

En las últimas décadas el sector agropecuario se ha visto afectado por los cambios ambientales, además, estos factores desencadenan una serie de problemas para la producción agrícola, sin embargo, la agricultura busca de forma imperiosa altos rendimientos por unidad de superficie para satisfacer la creciente demanda alimenticia (Grageda et al., 2012).

Actualmente se cultiva lechuga en invernadero con fines de exportación, esta técnica permite el establecimiento de cultivos sin suelo y el desarrollo del sistema radicular en

agua o sustrato inerte proporcionando los minerales necesarios a través de solución nutritiva.

Dentro de los sistemas de producción hidropónica uno de los más empleados es el de Raíz Flotante, cuya principal característica es desarrollar el cultivo dentro de una lámina de agua y recirculación de la solución fertilizante, seguido de NFT horizontal y vertical, constituidos por tubos de PVC. Sin embargo, el cultivo en un medio inerte (sustratos) también se ha establecido como alternativa frente a problemas como la degradación de suelos, proporcionando a la planta otros medios de sostén como arena de río, fibra de coco, perlita, entre otros (Resh, 2019). El material más utilizado para el sustrato es la cascarilla de arroz ya sea cruda o quemada, sin embargo, presenta limitantes en la retención de humedad (Carrión J., 2011). Por otro lado, las telas de puntos no convencionales (chaquetas desgastadas con cortes de diferente tamaño) son otra alternativa que promueve Storck et al., (2019) con respuestas favorables al evaluarlo como medio de sustrato para la germinación y crecimiento de plántulas de 14 especies de cultivo.

Santa Elena es una provincia que posee condiciones semiáridas y suelos salinos, estos factores limitan la producción de cultivos sensibles de importancia comercial, ya que la calidad del producto final se ve afectado negativamente, teniendo como consecuencia la devaluación del precio original, esto lleva a la constante búsqueda de especies hortícolas resistentes y/o tolerantes a las condiciones peninsulares, así como sistemas de producción alternativos ante el método convencional. Por otro lado, la adquisición de productos químicos es una de las fuentes principales de un elevado costo de producción de cualquier especie.

Ante lo mencionado, el presente proyecto titulado “Producción de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo distintas concentraciones de solución nutritiva en un sistema de raíz flotante y un sistema con sustrato inerte” pretende identificar el sistema de producción hidropónica y la concentración de solución nutritiva que permita al cultivo adquirir un peso promedio admisible en el mercado mediante la reducción de insumos, ya que al hacerlo equivale a la mantención de la ganancia monetaria para el agricultor a partir de un menor costo de producción.

La investigación busca brindar alternativas de producción a los agricultores de la provincia, específicamente en una posible la eficiencia de insumos como la reducción del uso de fertilizantes y aprovechamiento de espacio físico.

En correspondencia con los antecedentes planteados se formula el siguiente **Problema Científico:**

¿Es posible llegar a producir lechuga (*Lactuca sativa L.*) mediante la reducción en la concentración del fertilizante en un sistema de raíz flotante y un sistema con sustrato inerte en Santa Elena?

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

Al menos uno de los sistemas de producción hidropónica permite al cultivo alcanzar el peso estándar pese a la reducción en la concentración de solución nutritiva.

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

#### **Objetivo general**

Evaluar la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*) var. Vizir bajo dos sistemas hidropónicos (Raíz Flotante y con Sustrato Inerte) con el uso de diferentes dosis de solución nutritiva en Santa Elena.

#### **Objetivos específicos**

1. Evaluar el comportamiento agronómico de lechuga var. Vizir bajo el sistema de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.
2. Percibir la adaptabilidad del cultivo en ambos sistemas hidropónicos bajo las condiciones de la península.
3. Calcular los grados días acumulados en ambos sistemas para la Lechuga var. Vizir.
4. Exponer los efectos negativos al disminuir la concentración de solución nutritiva en el peso fresco del cultivo en ambos sistemas.
5. Determinar la dosis de solución nutritiva más eficiente para la producción de lechuga expresada en el rendimiento para ambos sistemas.

## **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 Cultivo de lechuga**

La lechuga pertenece a la familia Asterácea, es una hortaliza cuya principal fuente alimenticia son las hojas frescas y existe una amplia variedad de especies.

Hasta el año 2011 China es considerada como el país con mayor producción, (13.430.000 tn) seguido de Estados Unidos, India, España, Irán, Japón, Turquí, México e Italia y en América Latina México y Chile con 370.066 y 101.559 respectivamente (Noreña et al., 2014).

#### **1.1.1 Generalidades del cultivo**

El origen de la lechuga tiene diferentes argumentos según los autores, por su parte IICA, (2007) menciona que la evolución de *Lactuca serriola* una especie silvestre propia de Asia menor y la cuenca Mediterráneo es el antecesor directo de *Lactuca sativa*, la especie de mayor consumo a nivel mundial y que fue en Egipto donde se culminó este proceso de transición. Pertenece a la familia: Asteraceae, Género: *Lactuca*, Especie: *sativa* (Saavedra G., 2017).

Dentro de sus características botánicas de forma general el cultivo presenta: una raíz pivotante y a su vez raíces laterales, normalmente de 4 a 8 cm, cuyas ramificaciones rara vez llegan a los 25 cm de profundidad. La longitud del tallo depende de la variedad, es cilíndrico y ramificado. La forma de las hojas, así como el color también es en función de la variedad, aunque por lo general son lanceoladas, aserrado o dentado y de borde liso. Las flores forman una inflorescencia denominada capítulo de tipo racimo, el florete tiene brácteas, pétalos amarillos o blancos y el androceo formado por cinco estambres. La semilla es pequeña con 2 a 5 mm de forma achatada y ovalada, por cada gramo hay alrededor de 500 semillas (Simbaña E., 2015).

Es moderadamente tolerable a las heladas y en periodos normales de siembra tiene un ciclo vegetativo de 2 a 3 meses. La germinación se da a partir del tercer día después de la siembra con una temperatura entre 15 y 20°C., de 14 a 18°C para el crecimiento vegetativo. Sin embargo, temperaturas por debajo de 6°C sufre quemaduras

produciendo coloraciones en las hojas de tipo rojizo, en cuanto a humedad relativa la óptima se encuentra en un rango de 60 a 80 % (Romero C., 2015).

En requerimientos edáficos se adapta mejor a pH de 6.6, una profundidad de 0.5 cm y en texturas franco con contenido de materia orgánica (Leiva M., 2017).

### 1.1.2 Variedades de lechuga

Según Gutiérrez G., (2011) y Saavedra G., (2017) se han clasificado 4 subespecies botánicas de interés en la agricultura:

Lechugas con hojas (*Lactuca sativa L. var. Capitata*), lechugas arrepolladas o con formación de cabeza (*Lactuca sativa L. var. crispa*), lechugas romanas (*Lactuca sativa L. var. longifolia*), lechugas de corte (*Lactuca sativa L. var. acephala*).

*Lactuca sativa L. var. Acephala* corresponde a las lechugas que no forman cabezas, son de hojas sueltas no envolventes, muy utilizadas en restaurantes y definidas como tipo gourmet, por lo que se comercializan completas. Son recomendadas para los sistemas hidropónicos NFT y raíz flotante.

Conductividad eléctrica y pH idóneos en la producción hidropónica según el rendimiento esperado. En el caso de la lechuga el pH recomendado para su crecimiento y desarrollo es entre 5,5 a 6,0 ligeramente ácido.

- **Vizir**

Esta variedad es considerada hoja de roble fresca, verde, tiene un marco de planta grande, alta uniformidad, base de hojas pequeñas, tolerancia al espigado, pudiendo ser cultivada en primavera, otoño y verano. Las resistencias se describen a continuación:

**Tabla 1. Características resistentes de la variedad Vizir**

HR (resistencia alta estándar)	BI (Variedad resistente a las razas de <i>Bremia Lactuca</i> ): 16-28, 30-32
	Nr (Variedad resistente a <i>Nasonovia ribisnigri</i> ): 0
IR (resistencia moderada intermedia)	LMV (Variedad resistente a <i>Lettuce Mosaic Virus</i> ):1

**Fuente:** Enza Zaden, (2000).

## **1.2 Lechuga en el mercado ecuatoriano**

El informe anual del Sistema de información Geográfico Agropecuario (Sigragro) realizado en 2005 señala que se a nivel nacional, destinó 1.288 ha para cultivo de lechuga obteniendo un rendimiento promedio de 7.6 toneladas por hectárea y que para entonces Tungurahua lideraba el mercado con 3.2 tn/ha en un área de 640 ha, seguido de Chimborazo con 2.5 tn/ha en 366 ha, Pichincha 548 tn/ha en 68 ha (Rendón V., 2012).

El censo realizado en 2001 por el INEC, MAG y SICA estima que la superficie cultivada en Ecuador fue de 1.278 ha, 1.227 ha cosechadas y una producción total de 9.196 toneladas, lo que equivale a 7.494,7 Kg ha<sup>-1</sup> (Gutiérrez F., 2014).

## **1.3 Hidroponía**

Según Arano C., (2007) menciona que el inicio de la hidroponía se atribuye al geólogo botánico Sir John Woodward a finales del siglo XVII al confirmar su ideología *“las plantas se alimentan de agua y de elementos contenidos en la tierra disueltos en ella, cuando se consiga conocer cuáles son esos elementos, podremos prescindir de la tierra para cultivar las plantas”* al cultivar bajo tres tipos de aguas: agua destilada, agua de un lago, agua de lago más tierra, en las cuales colocó ejemplares de menta previamente crecidas en suelo común y teniendo como resultado pesos de 10.04 gr, 16.13 gr y 24.36 gr respectivamente. Desde entonces esta técnica se ha venido mejorando gracias al avance tecnológico, cabe recalcar que, de la hidroponía se desprenden muchos otros sistemas y de estos depende la utilización de sustratos o películas de agua como medio de sostén y nutrición.

El mismo autor señala que ya en el año 70 del siglo XX el inglés Allen Cooper desarrolló la técnica de la película nutritiva, lo que dio gran popularidad a los cultivos sin suelo y desde entonces se transita en la utilización de soluciones nutritivas para la nutrición de cultivos hidropónicos.

Se define como hidroponía a la técnica de producir plantas, preferentemente herbáceas, bajo condiciones controladas de agua, nutrientes, temperatura, luz, la acción de

patógenos y plagas, etc. En este sistema el aporte de macro y micro elementos se realiza por medio de la solución nutritiva y la densidad de siembra aplicable permite el aprovechamiento del espacio físico pudiendo duplicar el número de plantas/m<sup>2</sup> y por ende el rendimiento. Por otra parte, la producción hidropónica se presenta como una alternativa frente a factores como la reducción de zonas agrícolas, contaminación, cambio climático, aumento de asentamientos del sector urbano y rural, entre otras (Beltrano J. y Giménez D., 2015).

- **Ventajas**

1. Eficiencia del uso de insumos: agua, fertilizantes, solución nutritiva, etc.
2. Mayor producción en menor espacio.
3. Control en las prácticas de manejo: podas, cosecha, monitoreo, etc.
4. No se necesita control de malezas.
5. Mejor desarrollo radicular debido al sistema empleado.

- **Desventajas**

1. Alto costo de producción inicial.
2. No permite la producción de cultivos perennes y anuales.
3. Todos los requerimientos nutricionales deben ser evaluados antes de suministrarse debido a que un exceso puede perjudicar de forma inmediata al cultivo, causando pérdida del mismo.

Según INTAGRI, (2017) a nivel mundial se estima que la hidroponía genera ingresos de \$ 821 millones con un crecimiento anual de 4.5% de 2011 a 2016. En Norteamérica, el tomate representa el 56% de la superficie hidropónica, mientras que en Sudamérica la lechuga ocupa el 49% de cultivos bajo invernadero. México, posee cultivos bajo cubierta de tomate (54%), pepino (16%), pimiento (15%), berenjena (10%), otros (5%), con un crecimiento del 15-20% anual. España ocupa el primer lugar en producción de pimiento con una superficie de 32.000 ha de las cuales solo el 5% se cultiva bajo el sistema invernadero de alta tecnología y del que se obtiene un rendimiento de 12-18 kg m<sup>2</sup>. A su vez se ha determinado que posee una superficie de 5.500 ha destinadas a cultivos sin suelo.

**Tabla 2. Superficie de cultivos sin suelo en diferentes países**

<b>País</b>	<b>Ha</b>
Países bajos	4300
Francia	1200
Bélgica	1000
Japón	690
Israel	650
Alemania	560
España	500
Reino Unido	460
Sudáfrica	420

**Fuente:** INTAGRI, (2017).

#### **1.4 Hidroponía en sistema raíz flotante**

La producción agrícola hidropónica se lleva a cabo de diferentes métodos, siendo uno de estos el sistema de raíz flotante, el mismo que consiste en el desarrollo de plantas colocadas sobre una superficie de unicel que se mantienen a flote con solución nutritiva, no se necesita utilizar sustrato y es posible obtener buenos resultados en menor tiempo, así como el ahorro significativo de insumos (Hydroenvironment, 2015). Esto lo corrobora Sommantico S., (2017) quien menciona que dicho sistema es una técnica de cultivo donde las plantas crecen y desarrollan su parte aérea en una placa de Telgopor, que se mantiene a flote dentro de un recipiente y manteniendo sumergidas las raíces dentro de la solución nutritiva. El objetivo es aportar los requerimientos esenciales del cultivo para su crecimiento y desarrollo por medio del recurso hídrico.

Según Sánchez *et al.*, (2014) definen al sistema raíz flotante como un sistema cerrado debido a que la solución nutritiva vuelve a utilizarse en el cultivo por segunda vez con una previa esterilización, ajuste de pH, concentración de nutrientes y conductividad eléctrica. Mediante un proyecto enfocado en la producción de pepino bajo sistemas abiertos y cerrados se determinó que con raíz flotante existe una mayor acumulación de materia seca y rendimiento por unidad de superficie siendo éste de aproximadamente 44 frutos por m<sup>2</sup> y un peso promedio de fruto de 270 gr.

### 1.5 Sistema hidropónico con sustrato

Según López G. y Heredia M., (2013) mencionan que el uso de esta técnica es principalmente para el empleo de cultivos hortícolas de porte alto, se colocan las camas o mangas de forma horizontal sobre el suelo y bajo un sistema de riego preferentemente localizado, aunque su principal desventaja es que se requiere uniformidad en el riego debido a que la raíz se encuentra en un medio confinado. En cada unidad resulta más sencillo el control fitosanitario del cultivo, requiere técnicas de poda, ofrece un sistema de drenaje, etc.

**Tabla 3. Principales sustratos utilizados en hidroponía**

<b>Orgánicos</b>			
<b>Sustrato</b>	<b>M.O</b>	<b>Ceniza</b>	<b>Otros</b>
Turba	80-90%	4-20%	CIC 60-120 meq/l.
Cascarilla de arroz	87%	13%	-
Mantillo	60%	40%	-
Residuos de lana	50%	20%	-
<b>Inorgánicos</b>			
<b>Sustrato</b>	<b>Descripción</b>		
Arcilla	CIC 30% y arcillas de 200 a 300 meq/l.		
Arena	CIC 5-10 meq/l y Porosidad 40%.		
Tierra volcánica	CIC y poder amortiguador depreciables.		
Perlita	Estructura inalterable, pH neutro.		

**Fuente:** (López G. y Heredia M., 2013).

### 1.6 Hidroponía en Ecuador

El proyecto INNFA obtuvo como logro establecer 8 huertos hidropónicos implementados y funcionando con producción hortícola especializada en un área de 400 a 800 metros cuadrados, mediante asistencia técnica de la FAO. En la Región Sierra se asentaron 5 huertos entre las provincias de Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo, teniendo éxito en cultivos hortícolas como tomate, lechuga, rábano, acelga, pepino zuchini, zanahoria y betarraga. Mientras que, en la Región Costa,

Guayas fue el centro de 3 invernaderos para la producción de lechuga y zanahoria (INNFA, 2000).

Cuenca es una de las provincias que produce cultivos hidropónicos, al evaluar tres variedades de pimiento bajo la solución nutritiva “La Molina”, se determinó que de la var. Tropical Irazú es posible obtener 19.440 kg ha<sup>-1</sup> con una relación beneficio costo de \$1.30 (Orellana C. y León E., 2011).

Ecuador como país, empieza a incursionar en cultivos hidropónicos en los años 90, sin embargo, la dependencia de tecnología ocasionó un alto costo de producción y por ende no viable. Actualmente sectores de la Sierra como Cuenca, Latacunga y Quito han incrementado el cultivo bajo condiciones controladas debido que el consumidor prefiere productos sin residuos de agroquímicos o los llamados productos “inocuos” (Carsten R., 2017).

Ecuador no posee grandes extensiones de cultivos en invernadero debido a la elevada inversión inicial que implica este tipo de agricultura, además de que el mercado como tal no paga un producto por el hecho de ser hidropónico. Hace aproximadamente un año en el Cantón Latacunga se realiza un cultivo hidropónico de lechuga, el agricultor ha llegado a formar una microempresa al contar con el apoyo del MAG en el proceso de comercialización, el cultivo sale a la venta en menor tiempo precisamente por ser hidropónico y con el triple de la producción esperada (MAG, 2018).

INIAP promueve los cultivos en agua en la Costa Ecuatoriana. Esta iniciativa nace de las experiencias traídas de México y Perú en el 2005, una de las etapas del proyecto se llevó a cabo en la zona de Manglaralto, provincia de Santa Elena donde se desarrolló con éxito cultivos de lechuga, tomate y pimiento (El Universo, 2009).

### **1.7 Soluciones nutritivas (SN)**

En hidroponía la solución nutritiva es un factor fundamental, ya que de ello depende la calidad y cantidad productiva final. Esta SN tiene la finalidad de cubrir las necesidades nutricionales y es independiente para cada cultivo, es decir; depende del ciclo vegetativo, el tipo de cultivo, las condiciones ambientales y la variedad. Los aspectos que trabajan sobre una SN y que deben regularse son: relación anión-catión,

concentración de los fertilizantes en función a su riqueza, pH y conductividad eléctrica (Herrera A., 1999).

### 1.7.1 pH y conductividad eléctrica

Según Benavides A., (2014) en hidroponía y en cualquier método de agricultura el pH influye directamente en la absorción de nutrientes disponibles para la planta, con un pH neutro (7) los macronutrientes son mayormente disponibles mientras que los micronutrientes son más solubles en pH ácido (5.5). Cabe recalcar que al obtener valores muy alcalinos es posible corregir la solución nutritiva mediante el uso de ácidos.

**Tabla 4. Disponibilidad de nutrientes según el pH**

No absorbible a pH $\leq 5$	No absorbible a pH $\geq 6$
Nitrógeno (N)	Boro (B)
Molibdeno (Mo)	Fosfatos (PO)
Azufre (S)	Cobre (Cu)

**Fuente:** Anthura, (2018).

La conductividad eléctrica (CE) es un indicador indirecto de la concentración de sales del agua y la solución nutritiva y se expresa en dS/m. La tolerancia de sales es independiente de cada cultivo (Benavides A., 2014).

**Tabla 5. Grado de tolerancia de algunos cultivos a las sales, según el rendimiento**

Cultivo	CE (dS/m)			
	100%	90%	80%	50%
Melón	2,2	3,6	5,7	9,1
Lechuga	1,3	2,1	3,2	5,2
Cebolla	1,2	1,8	3,2	4,3
Tomate	2,5	3,5	5,0	7,6
Pimiento	1,5	2,2	3,3	5,1

**Fuente:** Benavides A., (2014).

### **1.8 Producción de lechuga en invernadero bajo el sistema raíz flotante**

El sistema es llamado así ya que las raíces siempre permanecen sobre una lámina de agua, por la cual absorben los nutrientes. Investigaciones recientes han comprobado que el sistema NFT si influye en el rendimiento esperado y que está estrechamente relacionado a la variedad con que se trabaje y otros factores de vital importancia como la radiación y la temperatura, ya que se asocian a una reducción del contenido de clorofila. La lechuga Great lakes ha mostrado diferencias significativas desde el almácigo hasta la cosecha (Cruz A., 2016).

### **1.9 Experiencias de distintas concentraciones de solución nutritiva**

Según Norori J., (2005) mencionan que la concentración de solución nutritiva puede variar y realizarse de forma creciente durante el periodo vegetativo del cultivo siempre que se cuente con un sistema de oxigenación para las raíces, lo cual, es proporcionado por el sistema recirculante de raíz flotante. Tal es el caso que durante un ensayo realizado en lechuga variedad verónica se monitoreó la solución nutritiva iniciando con 25% en etapa de pre-trasplante, 50% y 75% 24 días después de trasplante y donde se pretendía llegar al 100%, sin embargo, esto no fue posible debido a una cosecha prematura no planificada por la precocidad del cultivo. Aun con esta limitante se logró determinar que la concentración establecida al 50% desde sus inicios, genera resultados significativamente inferiores que una concentración creciente al 75% en relación a peso (gr).

### **1.10 Producción de lechuga bajo distintos sistemas de producción hidropónico**

Estadísticamente el sistema Raíz Flotante presenta menor peso/planta en relación a otros sistemas de producción hidropónica con sustrato, y es que, al evaluar tres sistemas de producción bajo condiciones controladas, se determinó mediante análisis estadístico que el sistema NFT horizontal tuvo un peso de 31 gr, superior a los sistemas de Raíz flotante y NFT vertical, que presentaron valores de 28 y 27 gr respectivamente (Zambrano A., 2014).

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1 Ubicación y lugar del ensayo

El trabajo de investigación se ejecutó en las Instalaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) en la Facultad de Ciencias Agrarias, ubicada en las coordenadas WS6584, latitud sur 2°13'56" y longitud oeste 80°52'30".



**Figura 1. Lugar donde se realizó la investigación**

### 1.2 Material Biológico

La variedad Vizir se caracteriza por su adaptabilidad a climas cálidos, pudiendo producirse en campo abierto como en invernaderos, posee una alta resistencia a enfermedades causadas por las razas de *Brernia Lactucae* y a *Lettuce Mosaic Virus*.

### 1.3 Materiales y Equipos

#### 1.3.1 Materiales

- Bandejas de polietileno
- Sustrato
- Tanques de 500 litros
- Esponja
- Sistema de riego
- Polietileno negro
- Contenedores de madera
- Solución nutritiva (macro y micronutrientes)

- Pomas
- Plancha de espumaflex
- Bandejas plásticas
- Bomba de mochila 20 lt
- Flexómetro

### **1.3.2 Equipos**

- Bomba sumergible: Pedrollo top II de 0.5 HP
- pH-metro: Milwaukee pH55
- Programador de riego: Galcon
- Luxómetro: Hanna HI97500
- Balanza digital: BOECO BWL 61
- Termohigrómetro: Testlab modelo BOE327
- Estufa Equipo Lab: GX125BE
- Conductímetro: OAKTON ECTester11

## **1.4 Infraestructura del invernadero**

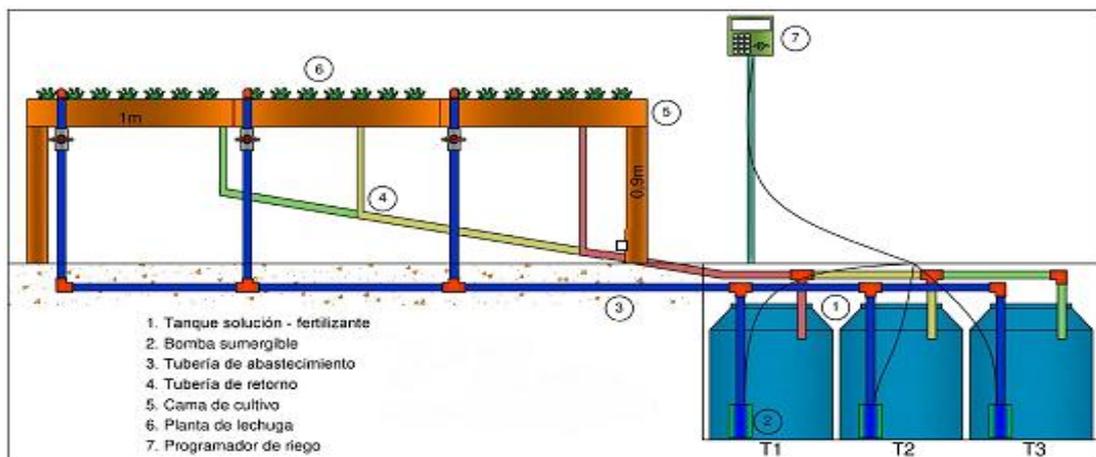
El ensayo se realizó en un invernadero de 20 m x 10 m galvanizado con un área de 200 m<sup>2</sup>, paredes cubiertas por malla blanca proporcionando 50% sombreado, techo de polietileno UV/IR calibre 6.

Las camas para el sistema raíz flotante fueron construidas de madera con un área de 3 m<sup>2</sup> siendo las dimensiones 3 m largo x 1 m ancho x 0.10 m de alto cada unidad experimental (a su vez divididos en tres cuartos de 1 m<sup>2</sup>), cada cama fue cubierta por plásticos de polietileno negro para la retención del agua. Los 10 cm/cama fueron compartidos de la siguiente manera; 8 cm de solución nutritiva que equivalen a 80 lt/cama donde se desarrollaría la parte radicular, dejando así 2 cm restantes para incrustar las planchas de espumaflex y que estos sirvieran como soporte para la parte aérea del cultivo.

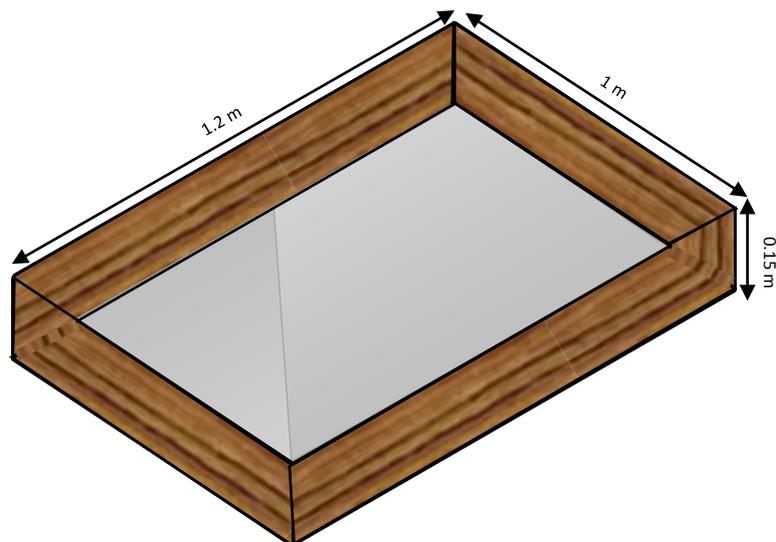
El sistema con sustrato estuvo compuesto por cajones al nivel del suelo construidas de madera con las dimensiones de 1 m ancho x 1.2 m largo 15 cm alto y en su interior sustrato inerte de arena de río 50% y cascarilla de arroz quemada 50%, bajo un sistema

de riego por goteo sin recirculación y se establecieron 3 líneas de riego. La captación del drenaje se realizó en el extremo inferior de la cama.

Para el sistema de riego se utilizó una bomba sumergible de 0.5 HP en el interior de cada tanque conectadas a tuberías de PVC que suministraban la solución a cada cama, mientras que en la base de las camas se colocó un conector de salida para el drenaje y así permitir la recirculación de la lámina.



**Figura 2. Diagramada del sistema de riego**



**Figura 3. Unidad experimental de camas bajas**

## 1.5 Variables climáticas

### 1.5.1 Temperatura, Humedad relativa y Radiación - Invernadero

La medición de temperatura y humedad relativa (máxima y mínima) se realizó usando el termohigrómetro digital a una altura de 1.2 m desde el nivel del suelo. Mientras que la radiación se tomó con ayuda del luxómetro a las 9:00 am y 3:00 pm.

### 1.5.2 Grados días (GD)

De conformidad con Méndez C., (2015) es una forma de evaluar el tiempo fisiológico expresado en GD cuya única variable determinante es la temperatura. El cálculo se realizó empleando las fórmulas establecidas a nivel investigativo, siguiendo el método OMETTO, planteado por Yzarra *et al.*, (2009), tomando la temperatura base que tolera el cultivo (6°C) según Iglesias N., (2006).

#### Fórmula 1.

Las temperaturas máximas y mínimas registrada son superior a la temperatura máxima que necesita el cultivo para su desarrollo.

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

Cuando:  $Tm > Tb$ ;  $TM > TB$

#### Fórmula 2.

La temperatura mínima diaria es mayor a la temperatura base del cultivo y la temperatura máxima diaria es menor a la temperatura máxima del desarrollo del cultivo.  $GD = \left(\frac{TM - Tm}{2}\right) + (Tm - Tb)$

Cuando:  $Tm > Tb$ ;  $TM < TB$

Donde:

TM: Temperatura máxima diaria

Tm: Temperatura mínima diaria

Tb: Temperatura base del cultivo

TB: Temperatura máxima del desarrollo del cultivo

### **1.6 Luz diaria integrada**

Luz diaria integrada (LDI) es la cantidad de luz que recibe la planta por metro cuadrado por día ( $\text{mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ), disponible para llevar a cabo la fotosíntesis (James E., 2019.). Para el cálculo de esta variable se tomó en cuenta la intensidad lumínica en el día y la fórmula establecida por Torres A. y López R., (2002).

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

Donde:

Ll: Intensidad de luminosidad (lux).

P: Factor de conversión ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\text{lux}$ ) para luz solar es 0.02.

El factor 0.0864 representa la millonésima parte de segundos al día.

### **1.7 Parámetros de la solución nutritiva**

En los sistemas A (Raíz flotante) y B (Sustrato inerte) la temperatura, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno fueron tomados con ayuda de un pHmetro y conductímetro diariamente en horas de la mañana. En la toma de datos se iniciaba con el sistema A, del cual se registró un mínimo de dos muestras/tratamiento, posteriormente se avanzaba con los tanques y finalmente el sistema B cuyos datos se tomaban previo al riego, esto debido a la programación establecida mediante el uso del programador de riego.

### **1.8 Tratamientos y Diseño Experimental**

La disposición de los tratamientos se realizó mediante un diseño completamente al azar (DCA), dando lugar a 3 tratamiento para el sistema A y B con 4 repeticiones cada uno de los tratamientos, utilizando la solución nutritiva Hoagland/Arnon.

#### **Factores: Sistemas de Producción Hidropónica**

- Sistema raíz flotante (cerrado o con recirculación).

- Sistema con sustrato inerte (abierto o si recirculación compuesto por cascarilla de arroz quemada y arena de río).

**Niveles: Concentraciones de Solución Nutritiva**

- Solución Hoagland 100%
- Solución Hoagland 75%
- Solución Hoagland 50%

**Tabla 6. Disposición de los tratamientos**

<b>Tratamiento</b>	<b>Sistemas de producción</b>	<b>Concentración de Sol. N</b>
<b>T1</b>	Raíz Flotante	100%
<b>T2</b>	Raíz Flotante	75%
<b>T3</b>	Raíz Flotante	50%
<b>T1</b>	Sustrato inerte	100%
<b>T2</b>	Sustrato inerte	75%
<b>T3</b>	Sustrato inerte	50%

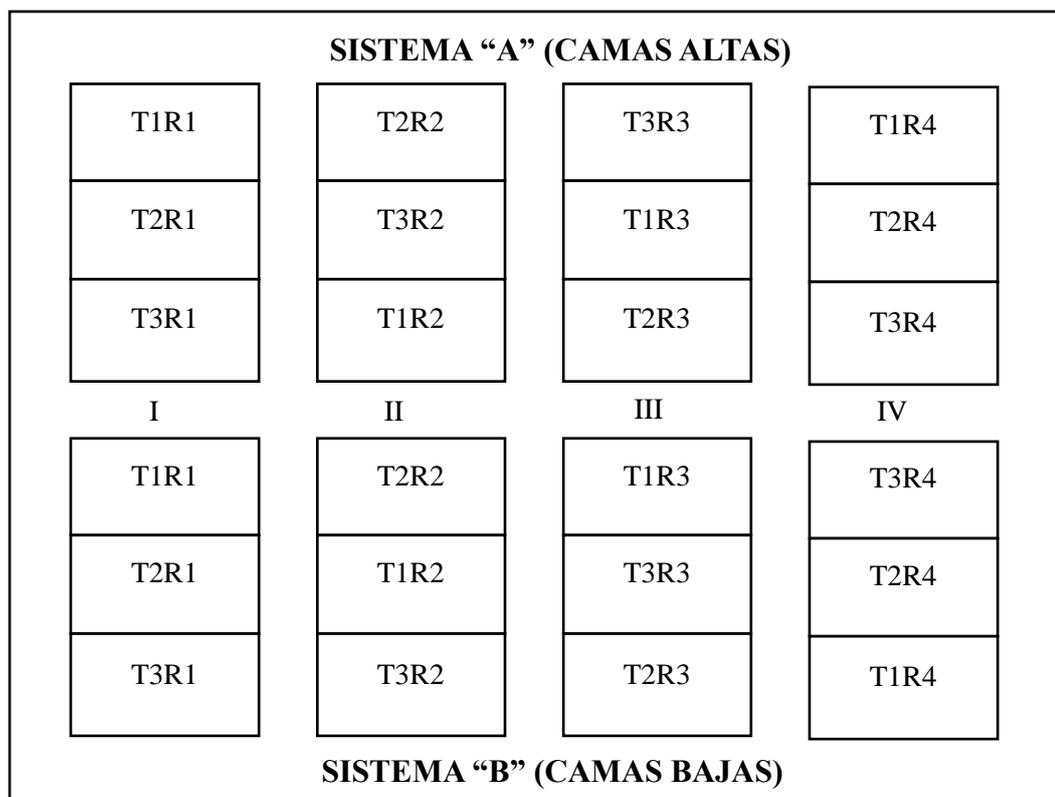
Para el análisis estadístico se utilizó el programa *InfoStat* con la finalidad de determinar homocedasticidad y normalidad de cada variable a evaluar, con una confiabilidad del 95% (5% margen de error) mediante la aplicación del test de comparaciones múltiple de Tukey. Los grados de libertad correspondientes se detallan a continuación:

**Tabla 7. Grados de Libertad**

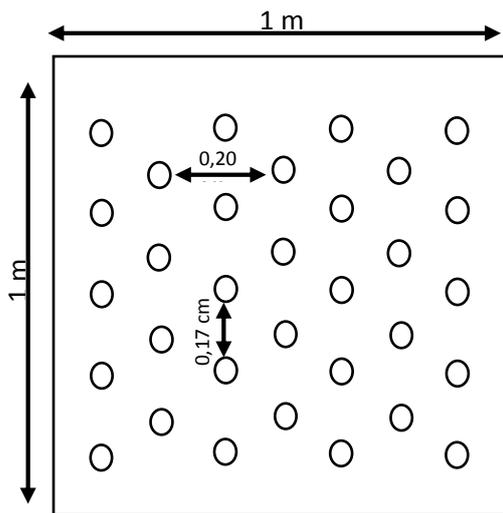
<b>Fuente de variación</b>	<b>Sistema A</b>	<b>Sistema B</b>
	<b>gl<sup>-1</sup> (n-1)</b>	<b>gl<sup>-1</sup> (n-1)</b>
Total	11	11
Tratamientos	2	2
Error	9	9

### 1.8.1 Diseño experimental del ensayo

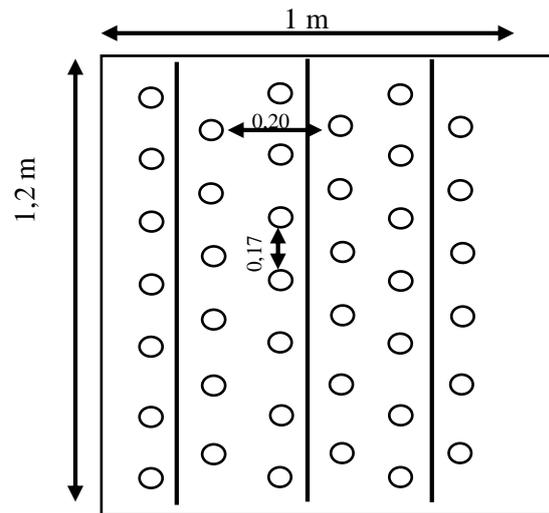
	<b>Sistema A</b>	<b>Sistema B</b>
<b>a.</b> Diseño Experimental	DCA	DCA
<b>b.</b> Número de tratamientos	3	3
<b>c.</b> Repeticiones	4	4
<b>d.</b> Número total de unidades experimentales	12	12
<b>e.</b> Área total de unidad experimental	1 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>
<b>f.</b> Distancia de siembra	0.17×0.20	0.17×0.20
<b>g.</b> Longitud de la línea de siembra	1 m	1.2 m
<b>h.</b> Número de plantas por sitio	1	1
<b>i.</b> Número de plantas por línea	5	7
<b>j.</b> Número de plantas por unidad experimental	32	39
<b>k.</b> Número de plantas por experimento	384	468
<b>l.</b> Distancia entre unidad experimental	0.80	0.80



**Figura 4. Distribución de los tratamientos y repeticiones**



**Figura 5. Sistema Raíz Flotante**



**Figura 6. Sistema con Sustrato inerte**

## 1.9 Procedimiento del ensayo

### 1.9.1 Preparación de las bandejas de polietileno

El sustrato se preparó con una proporción de 85% turba y 15% perlita. Debido a que el experimento cuenta con 24 unidades experimentales se requieren 9 bandejas en total para llevar a cabo el ensayo.

### 1.9.2 Siembra

La siembra de la semilla se realizó en bandejas de polietileno de 35×27 cm, con capacidad de 128 alveolos, utilizando como medio de sostén sustrato a base de turba y perlita, una semilla por sitio a 5 mm de profundidad. Se mantuvo la temperatura en un rango límite de 15-25°C para asegurar un buen porcentaje de germinación, el riego se hizo con agua pura hasta observar la emergencia de las primeras hojas verdaderas, es decir; durante los primeros 11 días, dos días posteriores se realizó el riego con solución nutritiva al 50%, al comprobar la inexistencia de quemadura foliar durante la fertilización, los días restante se regó con solución nutritiva al 100%.

### 1.9.3 Trasplante

El trasplante se realizó cuando las plántulas presentaron tres hojas verdaderas, a los 19 días después de la siembra en semillero. Se inició sacando las plántulas del semillero

con cuidado y realizando un lavado de raíces con agua pura para eliminar la mayor parte de sustrato y evitar contaminar la solución nutritiva del sistema “A”. Las plántulas limpias fueron envueltas con una tira de esponjilla de 5 cm de largo por 2 cm de ancho, como medio de soporte, luego fueron colocadas en la estructura de espumafón en tres bolillos a una distancia de 0.17x0.20 cm.

Para el sistema “B”, se empleó la misma distancia de siembra y no se realizó el lavado de raíces.

#### 1.9.4 Solución Nutritiva

Se prepararon las concentraciones correspondientes para cada tanque, es decir, al 100%, 75% y 50% para el total del ciclo, la relación que se estableció para la preparación de solución madre (SM) fue de 1:100, 1:75 y 1:50 lt, respectivamente.

También se consideró la preparación de macronutrientes, calcio y micronutrientes por separado para disminuir las posibilidades de precipitación de la SM y evitar antagonismo entre elementos. Las soluciones madres se prepararon en pomos de 20 lt, cada una por separado como se muestra en la tabla 7. Al realizar la mezcla en el tanque como solución nutritiva se inició con la aplicación del  $H_3PO_4$  (cc L-1), seguido de los macronutrientes, micronutrientes y finalmente el calcio.

**Tabla 8. Fertilizantes (gr/lt) y concentraciones utilizados en la preparación de la solución nutritiva**

Fertilizantes	Concentración de la solución			
	100%	75%	50%	Solución madre
$H_3PO_4$ (cc L-1)	0.012	0.009	0.006	A
$KNO_3$	0.789	0.592	0.395	A
$Ca (NO_3)_2$	0.673	0.505	0.337	B
$(NH_4) (NH_3)$	0.040	0.030	0.020	A
$MgSO_4$	0.332	0.249	0.166	A
$NH_4HPO_4$	0.057	0.043	0.029	A
Quelatos de Fe	2.470	1.853	1.235	C

Sulfato de Mn	0.500	0.375	0.250	C
Sulfato de Cu	0.020	0.015	0.010	C
Sulfato de Zn	0.050	0.038	0.025	C
Ácido bórico	0.420	0.315	0.210	C
Molibdeno de sodio	0.010	0.008	0.005	C

**Fuente:** Tabla adaptada por Morales, J., (2019).

Al abastecer a ambos sistemas la reposición por tanque se realizó con una frecuencia de 3 días ya que durante este tiempo se llegaba a 250 lt/tanque.

Posteriormente se programó el riego 2 veces al día para mejorar la oxigenación de las raíces en el sistema de raíz flotante.

En el sistema hidropónico con sustrato inerte siempre se regó a capacidad de campo (CC) y no se realizó circulación de la SN.

En 1938 Hoagland y Arnón formularon la solución nutritiva empleada en la nutrición de los cultivos hidropónicos. Se trata de una solución proveniente de laboratorios caseros y la más usada desde su creación. Sin embargo, después de haber sido revisada en 1950 por Arnon, ha sufrido innumerables modificaciones para poder agregar los quelatos de hierro (Tabla 9).

**Tabla 9. Composición química de los macros y micro nutrientes**

Solución Hoagland y Arnon (concentración 1:100 lt)					
Macronutrientes			Micronutrientes		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	cc L <sup>-1</sup>	0.012	Quelatos de Fe	g L <sup>-1</sup>	2.470
KNO <sub>3</sub>	g L <sup>-1</sup>	0.789	Sulfato de Mn	g L <sup>-1</sup>	0.500
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	g L <sup>-1</sup>	0.673	Sulfato de Cu	g L <sup>-1</sup>	0.020
(NH <sub>4</sub> ) (NH <sub>3</sub> )	g L <sup>-1</sup>	0.040	Sulfato de Zn	g L <sup>-1</sup>	0.050
MgSO <sub>4</sub>	g L <sup>-1</sup>	0.332	Ácido bórico	g L <sup>-1</sup>	0.420
NH <sub>4</sub> HPO <sub>4</sub>	g L <sup>-1</sup>	0.057	Molibdato de sodio	g L <sup>-1</sup>	0.010

**Fuente:** Peada P., (2001).

### 1.9.5 Consumo de agua del sistema con Sustrato Inerte

En el sistema con Sustrato Inerte del presente ensayo se determinó la evapotranspiración del cultivo (la cantidad de agua efectiva que es utilizada por la planta), en base al coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) en la etapa de desarrollo y la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), mediante las siguientes fórmulas establecidas por Alveal M. y Campos K., (2014):

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

Donde:

$ET_c$ = Evapotranspiración real.

$ET_o$ = Evapotranspiración del cultivo de referencia.

$K_c$ = Coeficiente de cultivo.

Y posteriormente calcular el requerimiento hídrico/planta en base a la siguiente fórmula:

$$V_a = ET_c \cdot S_p \cdot S_h \left( \frac{lt}{día} \right)$$

Donde:

$ET_c$ = Evapotranspiración real.

$S_p$ = Separación entre plantas.

$S_h$ = Separación entre hileras.

Siguiendo las fórmulas previamente mencionadas y  $K_c$  en la etapa de desarrollo y la  $ET_o$  calculada en Cropwat 8.0 con los datos meteorológicos de la estación SALINAS-GENERAL-ULPIANO extraído desde Climwat 2.0 (Tabla 10).

**Tabla 10. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo y el requerimiento de agua por planta para lechuga**

Etapa de desarrollo (días)	Evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ )	Coeficiente del cultivo ( $K_c$ )	Evapotranspiración real del cultivo ( $ET_c$ ) mm/día	Requerimiento de agua lt/planta/día
28	3.08	0.6	1.848	0.259

**Fuente:** Alveal M. y Campos K., (2014)

### **1.9.6 Manejo fitosanitario**

Se evaluó el ataque de plagas y enfermedades durante el ciclo vegetativo y se observó la presencia de pulgón rojo en el sistema con sustrato inerte a los 24 DDT para lo cual se realizó la aplicación de extracto de ajo y neem como método de control cultural.

### **1.9.7 Cosecha**

Para la cosecha se tomó como referencia la altura del tallo o emisión del escapo florar para ambos sistemas. En el sistema “A” se obtuvo a los 24 ddt y en el sistema “B” a los 28 ddt.

### **1.9.8 Variables experimentales**

Se evaluó un total de 7 plantas por unidad experimental (UE) en el sistema raíz flotante y 8 pl/UE en el sistema con sustrato inerte desde la siembra a la cosecha.

### **1.9.9 Variables agronómicas**

- **Número de hojas (unidades)**

Se contabilizó el número de hojas totales desde el trasplante hasta la cosecha, con un período de 4 días desde el trasplante.

- **Longitud de hoja (cm)**

Se midió la hoja más grande desde la base hasta la cúspide.

- **Longitud radicular (cm)**

Se determinó desde la base del tallo a la punta de la raíz.

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

Mediante el uso de una balanza con un mínimo de error en precisión. Se cortó el follaje y del mismo modo la parte radicular para pesar de forma individual. Posteriormente se colocó la muestra en una estufa a 65 °C durante 3 días y se aplicó la siguiente fórmula:

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

Donde:

**MS:** Materia seca

**PF:** Peso fresco (gr)

**PS:** Peso seco (gr)

- **Rendimiento (gr) en ambos sistemas**

Ya que la investigación se puntúa en dos sistemas se evaluó el rendimiento de forma independiente tomando en cuenta el peso fresco total y se determinó los Kg m<sup>2</sup>.

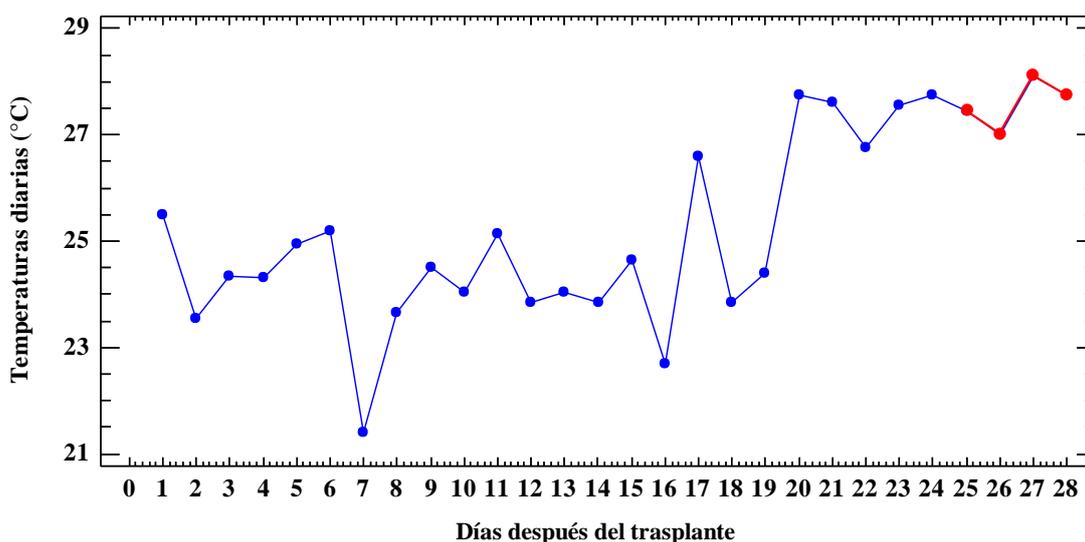
## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 3.1 Variables climáticas

- **Temperatura**

Durante el ensayo se registró una temperatura máxima promedio de 28.9°C y una mínima promedio de 21.4°C en el interior del invernadero. Ambos sistemas presentaron temperaturas similares registradas por los termohigrómetros (Figura 7 y Tabla 11).

Las primeras dos semanas el cultivo se mantuvo en una temperatura inferior a 30°C, y siete días previo a la cosecha la temperatura interna del invernadero llegó a registrar 33.9 °C, según Iglesias N., (2006) la lechuga soporta como temperatura máxima los 30°C y como mínima hasta 6°C. Esto lo corrobora Chabla J. y Sánchez R., (2008) al mencionar que las hojas pierden turgencia, se ocasiona un efecto de marchitez temporal y se produce un desbalance fenológico con temperaturas que exceden los 30°C.



**Figura 7. Temperaturas internas del invernadero durante el ensayo desde Noviembre/Diciembre del 2019, en sistema Raíz Flotante y Sustrato Inerte.**

Cuando el cultivo se expone a temperaturas superiores a las que puede tolerar, existe un cierre estomático parcial en la planta que da lugar al estrés hídrico, y aunque en el presente ensayo el cultivo no mostró necrosis en el ápice, planchazos, hojas amarillentas o color apagado, si se observaron hojas decaídas y problemas en el

desarrollo al no alcanzar el peso estándar de comercialización, este dilema ya se había observado en el estudio de Ricardo J., (2019) que registró una temperatura promedio máxima de 36.8°C, al evaluar lechuga var. Acephala cv. crespa. Cuando la temperatura del aire asciende de 1 a 4°C también incrementa la temperatura foliar, lo cual afecta drásticamente la transpiración y el déficit hídrico es alto (Tarqui M. et al., 2017).

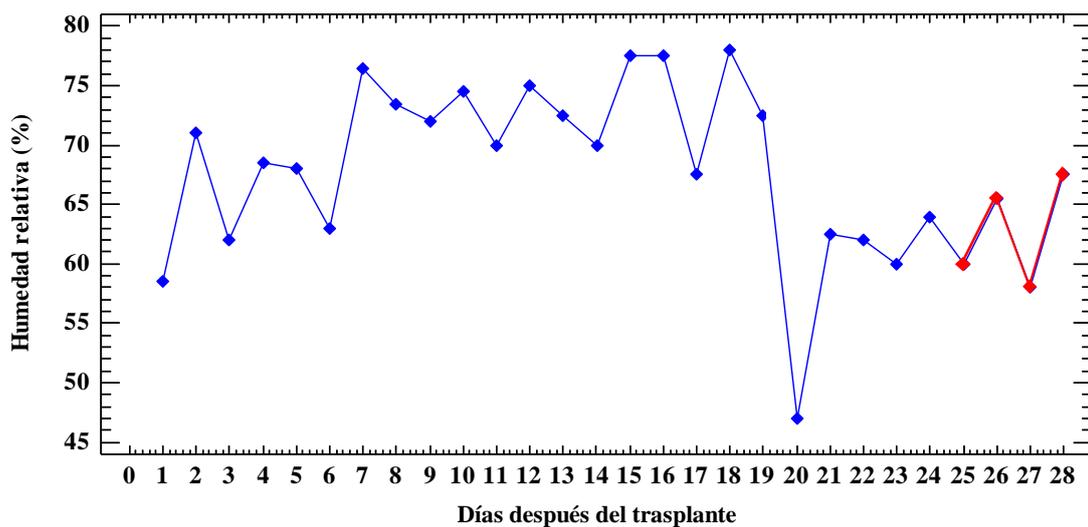
**Tabla 11. Promedios de temperaturas internas del invernadero en Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de Lechuga en sistema Raíz Flotante y Sustrato inerte.**

Día	T °C registrada en el Termohigrómetro			
	Fecha	T °C Max	T °C Min	T °C promedio
0	5-nov.	29.20		
1	6-nov.	25.40	21.80	25.50
2	7-nov.	27.60	21.70	23.55
3	8-nov.	27.30	21.10	24.35
4	9-nov.	28.50	21.30	24.30
5	10-nov.	29.30	21.40	24.95
6	11-nov.	22.30	21.10	25.20
7	12-nov.	26.10	20.50	21.40
8	13-nov.	27.90	21.20	23.65
9	14-nov.	27.10	21.10	24.50
10	15-nov.	28.30	21.00	24.05
11	16-nov.	26.00	22.00	25.15
12	17-nov.	26.70	21.70	23.85
13	18-nov.	28.30	21.40	24.05
14	19-nov.	25.00	19.40	23.85
15	20-nov.	23.30	24.30	24.65
16	21-nov.	31.00	22.10	22.70
17	22-nov.	26.10	22.20	26.60
18	23-nov.	27.20	21.60	23.85
19	24-nov.	33.90	21.60	24.40
20	25-nov.	33.20	21.60	27.75
21	26-nov.	31.90	22.00	27.60
22	27-nov.	32.70	21.60	26.75
23	28-nov.	33.60	22.40	27.55
24	29-nov.	32.30	21.90	27.75
25	30-nov.	33.10	22.60	27.45
26	1-dic.	34.00	20.90	27.00
27	2-dic.	33.70	22.20	28.10
28	3-dic.		21.80	27.75

**Fuente:** Elaboración propia

- **Humedad relativa**

La humedad relativa promedio diaria fue de 65% durante el ciclo productivo, se llegó a registrar un promedio máximo de 85.85% y un mínimo de 49.10%, a partir del día 20 ddt se obtuvieron valores inferiores a 45%, los datos obtenidos por los termohigrómetros fueron exactamente iguales en sistemas de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte (Figura 8. y Tabla 12). La humedad relativa conveniente para la Lechuga se encuentra entre los 60-80%, aunque en determinados momentos prefiere hasta menos de 60% (Iglesias N., 2006).



**Figura 8. Humedad relativa máxima y mínima en los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica.**

Con lo antes mencionado se entiende que la humedad relativa para el cultivo durante el ensayo, se mantuvo dentro del rango óptimo, según JoAnn Peery, (2017) si la humedad relativa es alta, el uso de agua de la planta es lento, aun cuando el proceso de transpiración sea normal.

Por otro lado, el mismo autor menciona que, si la humedad es muy baja y la temperatura es alta, la planta cierra las estomas para minimizar el marchitamiento por pérdida de agua, al realizar este proceso, la fotosíntesis es lenta y por ende el crecimiento de la planta también lo será.

**Tabla 12. Humedad relativa máxima y mínima en los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de Lechuga hidropónica en los sistemas Raíz Flotante y Sustrato Inerte.**

<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>HR % Max.</b>	<b>HR % Min.</b>	<b>Promedio</b>
0	5-nov.	83		
1	6-nov.	84	34	58.50
2	7-nov.	85	58	71.00
3	8-nov.	86	39	62.00
4	9-nov.	83	51	68.50
5	10-nov.	82	53	68.00
6	11-nov.	91	44	63.00
7	12-nov.	88	62	76.50
8	13-nov.	91	59	73.50
9	14-nov.	91	53	72.00
10	15-nov.	88	58	74.50
11	16-nov.	90	52	70.00
12	17-nov.	87	60	75.00
13	18-nov.	89	58	72.50
14	19-nov.	80	51	70.00
15	20-nov.	91	75	77.50
16	21-nov.	89	64	77.50
17	22-nov.	91	46	67.50
18	23-nov.	91	65	78.00
19	24-nov.	66	54	72.50
20	25-nov.	85	28	47.00
21	26-nov.	83	40	62.50
22	27-nov.	84	41	62.00
23	28-nov.	86	36	60.00
24	29-nov.	82	42	64.00
25	30-nov.	88	38	60.00
26	1-dic.	90	43	65.50
27	2-dic.	90	26	58.00
28	3-dic.		45	67.50

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2 Determinación de Grados Días (GD)

Durante el ensayo se registró un total de 451.73 GDA en Raíz Flotante y 536.12 GDA en Sustrato Inerte a los 24 y 28 Días después del trasplante, respectivamente (Figura 9), mientras que el promedio diario, en Raíz Flotante fue de 19.15 GD y en Sustrato Inerte de 18.82 GD (Figura 10).

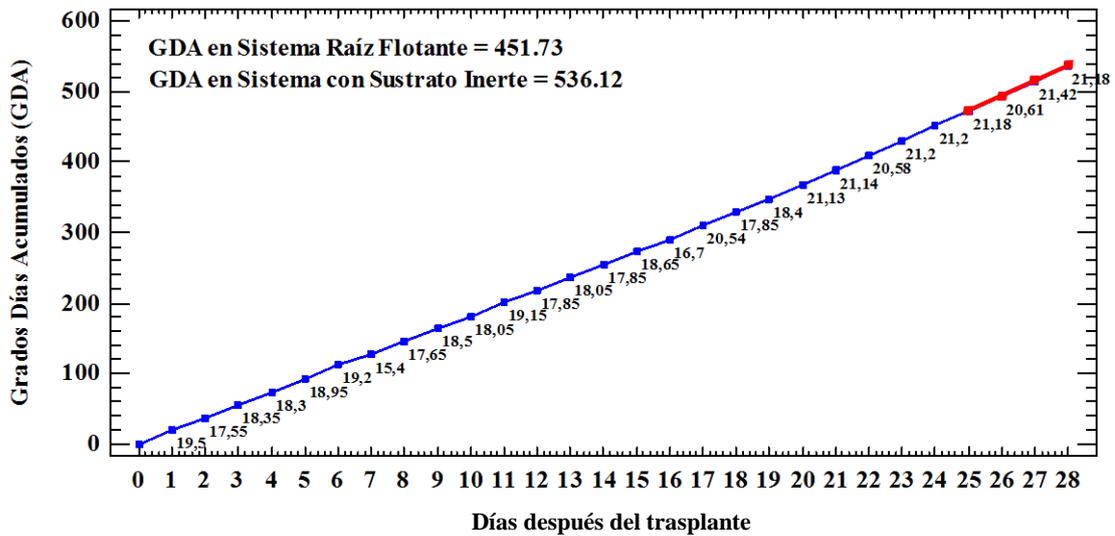


Figura 10. Grados días acumulados total en los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de lechuga en los sistemas de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.

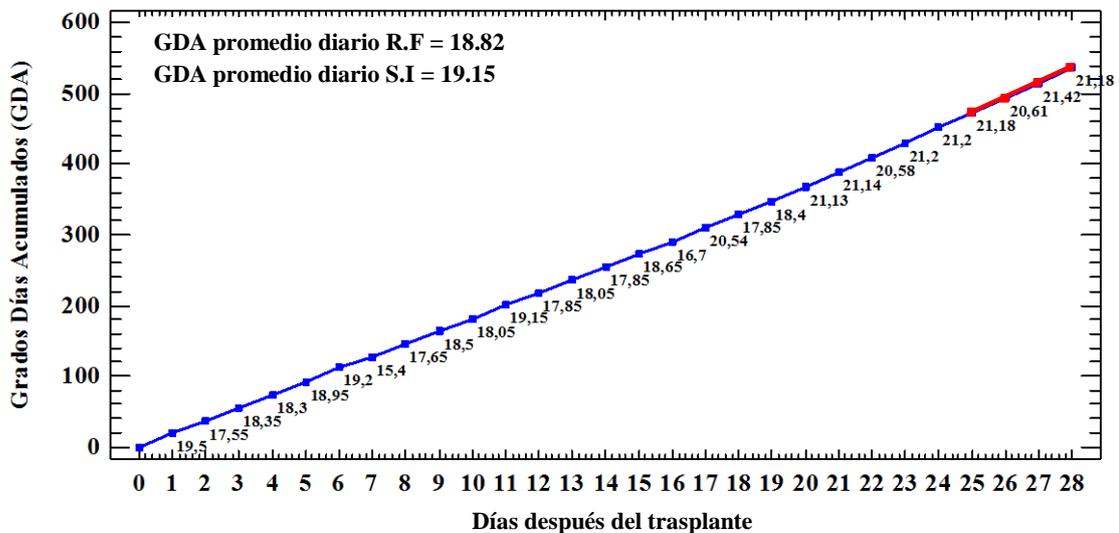


Figura 10. Grados días acumulados promedio diario durante los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de lechuga hidropónica en los sistemas de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.

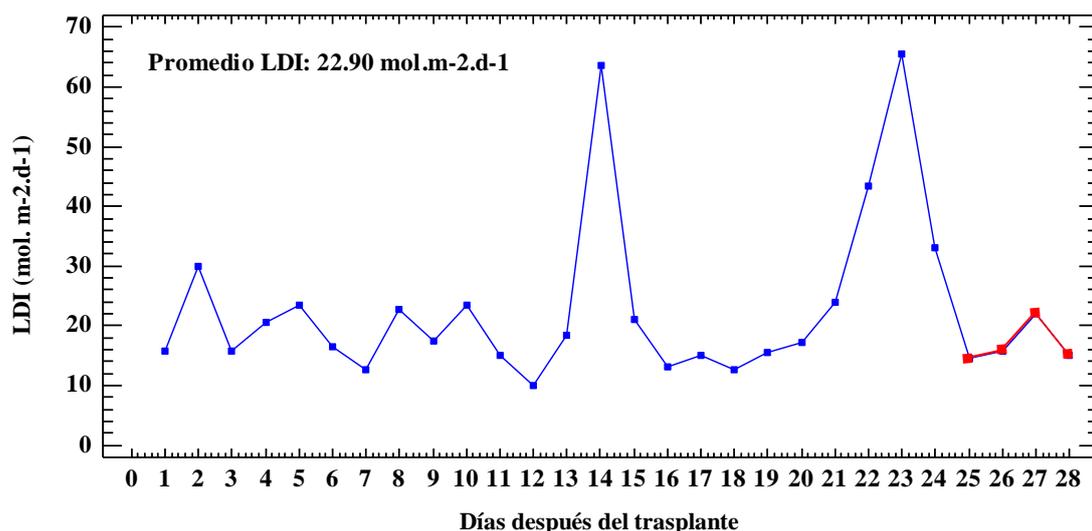
Estos datos se acercan a los obtenidos por Gutiérrez G., (2011) quien registró 441GD en Lechuga Verpia y Sanguine (var. Capitata y var. acephalla) y 540 GDA en Lechuga Desert Storm (var. crispa) realizando la cosecha a los 50 y 60 días después de la siembra, respectivamente al aire libre. Sin embargo, estos valores difieren de los obtenidos por Ricardo J., (2019) quien obtuvo un promedio de 505 GDA durante 4 ciclos de cultivo de Lechuga var. Crespa. Esta diferencia se atribuye a que la variedad empleada para cada ensayo es diferente, cabe recalcar que la temperatura varió en dependencia de la zona de cultivo, así como la temporada de plantación.

En la investigación realizada con Sustrato Inerte se obtuvo 556.80 GD acumulados y un promedio diario de 19.16 GD a los 28 días después del trasplante, Rudloff Ide, (2018) Alcanzó 642 Grados Días Acumulados al evaluar Lechuga cv. Divina y cv. Sierra como materiales vegetativos, temperatura base de 7°C, bajo sistema de riego por goteo, plantas trasplantadas con un promedio de cuatro hojas y teniendo como factores de estudio cultivos al aire libre y bajo invernadero.

Según Sun et al., (2016) al mediodía (veranos) a menudo la zona de la raíz supera los 30°C, siendo menor a la temperatura ambiente, es decir; mientras la zona radicular alcanza los 35°C en el aire se encuentra a 38°C, esto explica el hecho de que los Grados días acumulados necesarios en el sistema con Sustrato Inerte fueran mayores al sistema de Raíz Flotante y el período de cosecha se haya alargado.

### **3.3 Determinación de Luz Diaria Integrada (LDI)**

La luz diaria integrada promedio durante el ensayo fue de 22.62 mol m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> en el interior del invernadero (Figura 11) con un valor máximo de 65.55 mol m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> y un mínimo de 10.03 mol m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> como se muestra en el Tabla 9A, en ambos sistemas, Torres A. y López R., (2002) señalan que el LDI varía entre 15 a 25 mol m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> al aire libre durante el mes de noviembre, y en invernadero rara vez exceden los 25 mol m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> mientras que el requerimiento para el cultivo de lechuga va de los 12.000 a 30.000 lux/día, que equivalen a 20.74 y 51.84 mol m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, mayor a 22-33 lux/día se considera saturación de luz para la planta manifiestan Hydroenvironment, (2015) y Luna J., (2017).



**Figura 11. Luz diaria integrada (LDI), en el cultivo de lechuga hidropónica bajo el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.**

Una intensidad lumínica baja reduce la fotosíntesis neta debido a una alteración en la estructura de los cloroplastos, lo cual implica mayor competencia por los fotoasimilados, además de la disminución de ciertas enzimas, afectando directamente al desarrollo y la producción de la planta y en condiciones extremas de baja intensidad lumínica la planta reacciona produciendo etiolación, según Fischer G. y Pérez P., (2012).

Cada especie vegetativa tiene su óptimo energético en la cual se desarrolla adecuadamente. Si una planta recibe más energía de la que necesita (fotoinhibición), ésta debe ser expulsada a través de distintos mecanismos que ocasionan daños en el tejido y provocan estrés. Si por el contrario recibe energía en condiciones limitantes se origina retraso en el crecimiento reduciendo la acumulación de biomasa, pues la planta no dará el máximo de sus posibilidades. Ambos casos traen como consecuencia una respuesta fisiológica negativa en el área foliar; aunque la planta crezca y se note más grande, presenta disminución en el peso fresco afectando la calidad de la planta (Casierra F., 2007) y (Reol E., 2003).

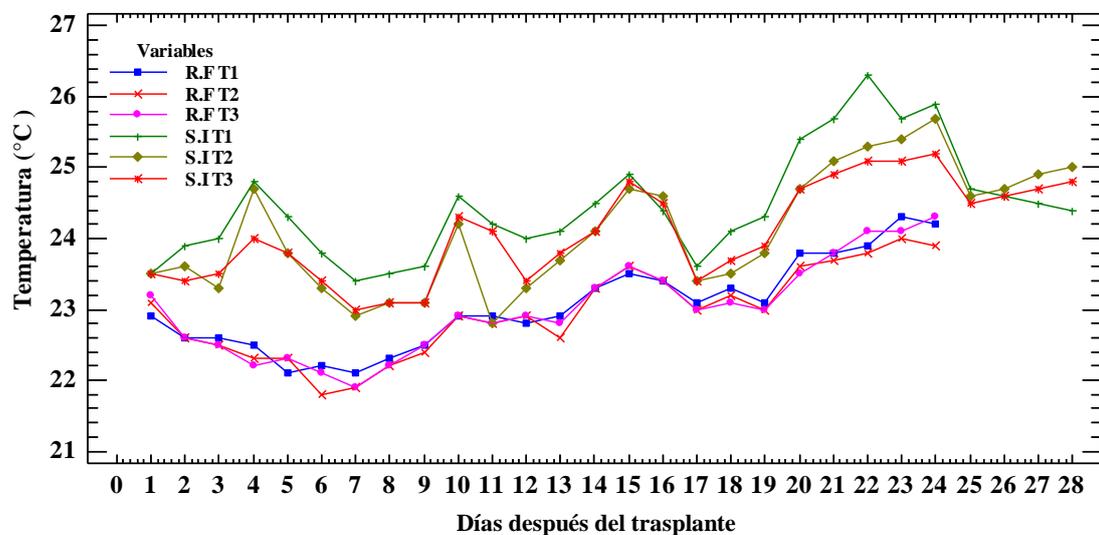
### **3.4 Parámetros químicos de la solución nutritiva**

#### **3.4.1 Temperatura (T °C)**

Las temperaturas diarias registradas durante el ensayo se muestran en la Figura 12 y Tabla 13.

El sistema Raíz Flotante presentó una temperatura promedio de 23 °C con un máximo de 24.3 °C y un mínimo de 21.8 °C, sin mostrar diferencias significativas entre el T1, T2 y T3 (CV: 2.45%).

El cultivo establecido en sistema con Sustrato Inerte registró una temperatura promedio de 24.2 °C, máxima y mínima de 26.3 °C y 22.8 °C respectivamente y sin diferencias significativas en el T1, T2 y T3 (CV: 2.01%). El análisis de los tratamientos en ambos sistemas se lo realizó mediante la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad como se presenta en la Tabla 1A.



**Figura 12. Temperaturas registradas durante los días de Noviembre/Diciembre del 2019, en el cultivo de lechuga en el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.**

En el sistema de Raíz Flotante la temperatura promedio de los tratamientos se mantuvieron dentro del rango mientras que en el sistema con Sustrato Inerte fue 1.2 °C superior, según Hernández J. y Hernández JL., (2005) la temperatura óptima se encuentra entre 18-23 °C, y de conformidad con Gutiérrez J., (2011) registró una media de 20 °C en raíz flotante mientras que en sustrato con y sin recirculación de la solución nutritiva, la temperatura varió entre 14.4 a 28 °C al evaluar lechuga tipo mantequilla cv Cortesana M1, datos corroborados 4 años más tarde por Moreno et al., (2015) en un artículo del mismo trabajo.

Por otro lado, Hydroenvironment, (2018) menciona que en la solución nutritiva la temperatura debe ser 22 °C en promedio, al encontrarse <12°C o >30°C la raíz deja de crecer por lo tanto la absorción y asimilación disminuirán, la concentración de oxígeno y la disponibilidad de nutrientes se ven afectados negativamente.

Según Teixeira et al., (2006) se corroboró la presencia de micelios, estructuras sexuales y asexuales de *Phytium* a los 21°C y 30°C en raíces de lechuga var. verónica, y cuya tasa de crecimiento se produjo hasta los 37°C. Las temperaturas fuera del rango establecido forman el medio idóneo para patógenos y enfermedades a nivel radicular causados principalmente por *Phytium*.

En la solución nutritiva la temperatura por lo general difiere de la temperatura ambiente, se han realizado muchos ensayos sobre cultivos hidropónicos, sin embargo, muy pocos se enfocan en la temperatura de la zona radicular muy a pesar de ser uno de los factores de gran importancia en los procesos de crecimiento de la planta. Trabajos previos argumentan que la fotosíntesis puede ser mejorada al reducir la temperatura de las raíces, tal es el caso que He et al., (2009) obtuvieron una mayor tasa fotosintética en *Lactuca sativa* con una temperatura radicular de 20 °C frente a la temperatura ambiente.

**Tabla 13. Temperatura (°C) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica en los sistemas de raíz Flotante y con Sustrato Inerte.**

Día	Temperatura (°C)					
	Sistema Raíz Flotante			Sistema con Sustrato Inerte		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	22.9	23.1	23.2	23.5	23.5	23.5
2	22.6	22.6	22.6	23.9	23.6	23.4
3	22.6	22.4	22.5	24.0	23.3	23.5
4	22.5	22.3	22.2	24.8	24.7	24.0
5	22.1	22.3	22.4	24.3	23.8	23.8
6	22.2	21.8	22.1	23.8	23.3	23.4
7	22.1	21.9	21.9	23.4	22.9	23.0
8	22.3	22.1	22.1	23.5	23.1	23.1
9	22.5	22.4	22.5	23.6	23.1	23.1
10	22.9	22.8	22.9	24.6	24.2	24.3
11	22.9	22.8	22.8	24.2	22.8	24.1
12	22.8	22.8	22.9	24.0	23.3	23.4
13	22.8	22.6	22.8	24.1	23.7	23.8
14	23.3	23.2	23.2	24.5	24.1	24.1
15	23.5	23.5	23.6	24.9	24.7	24.8
16	23.4	23.4	23.4	24.4	24.6	24.5
17	23.1	23.0	23.0	23.6	23.4	23.4
18	23.3	23.1	23.1	24.1	23.5	23.7
19	23.1	23.0	23.0	24.3	23.8	23.9
20	23.8	23.6	23.5	25.4	24.7	24.7
21	23.7	23.7	23.8	25.7	25.1	24.9
22	23.9	23.8	24.0	26.3	25.3	25.1
23	24.2	24.0	24.1	25.7	25.4	25.1
24	24.2	23.9	24.3	25.9	25.57	25.23
25				24.7	24.6	24.5
26				24.6	24.7	24.6
27				24.5	24.9	24.7
28				24.40	25.03	24.80
<b>Promedios</b>	<b>23.0</b>	<b>22.9</b>	<b>23.0</b>	<b>24.5</b>	<b>24.1</b>	<b>24.1</b>

**Fuente:** Elaboración propia

A partir de los 10 días, los cambios de los parámetros químicos en la solución nutritiva drenada del sistema con Sustrato Inerte fueron más evidentes. La temperatura se mantuvo en un promedio de 25.35 °C, es decir; 1 grado más de la solución nutritiva entrante, con un valor máximo de 26.80 °C y un mínimo de 24.20 °C, sin diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 13, Tabla 14 y Tabla 10A).

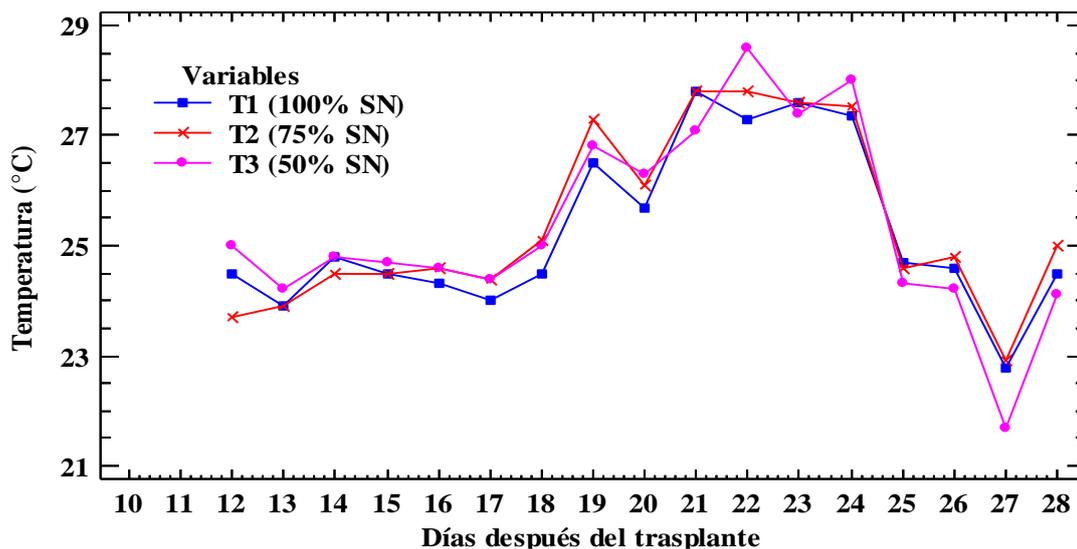


Figura 13. Temperatura (°C) registrada en el drenaje de la solución nutritiva, en cultivo de lechuga hidropónica bajo el sistema con Sustrato Inerte.

Tabla 14. Temperatura de la solución nutritiva drenada, en el cultivo de lechuga hidropónica bajo el sistema con Sustrato Inerte.

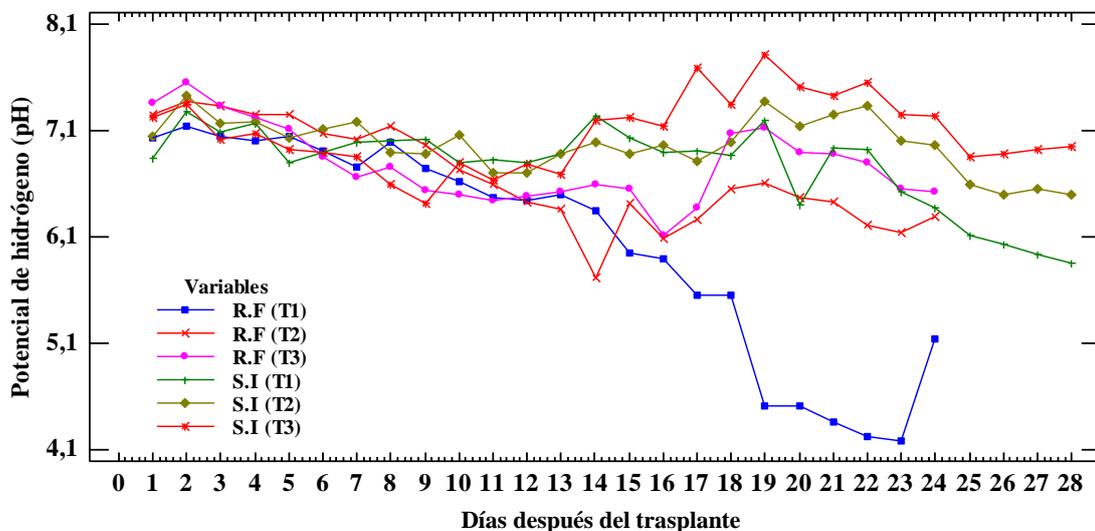
Día	Temperatura (°C)		
	T1 (100% SN)	T2 (75% SN)	T3 (50% SN)
12	24.50	23.70	25.00
13	23.90	23.90	24.20
14	24.80	24.50	24.80
15	24.50	24.50	24.70
16	24.30	24.60	24.60
17	24.00	24.40	24.40
18	24.50	25.10	25.00
19	26.50	27.30	26.80
20	25.70	26.10	26.30
21	27.80	27.80	27.10
22	27.30	27.80	28.60
23	27.60	27.60	27.40
24	27.37	27.53	28.00
25	24.70	24.60	24.30
26	24.60	24.80	24.20
27	22.79	22.91	21.70
28	24.50	25.00	24.10
<b>Promedio</b>	<b>25.26</b>	<b>25.42</b>	<b>25.36</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Potencial de hidrógeno (pH)

De acuerdo con el análisis estadístico, se mostraron diferencias significativas entre el T1, T2 y T3 del sistema Raíz Flotante para el potencial de hidrógeno de la solución nutritiva como se muestra en la Tabla 14, Figura 15 y en la Tabla 1A el p-valor y C.V. En este sistema tanto el T1 (6.04) se mantuvo dentro del rango óptimo para el cultivo de lechuga bajo condiciones controladas a diferencia del T2 (6.67) y T3 (6.79).

El cultivo en Sustrato Inerte por el contrario no mostró diferencias significativas en el T1, T2 y T3 al realizar el análisis estadístico (CV: 4.37%), cabe mencionar que dentro de este sistema el T1 (6.8) fue el único tratamiento que mantuvo condiciones cercanas en potencial de hidrógeno para el cultivo.



**Figura 14. Potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica en el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.**

Según Arcos et al., (2011) sugieren que la solución nutritiva debe tener un pH de 5.8 o un rango aceptable de 5.6 a 6.0 al aplicarlo en invernadero.

pH muy alcalinos o básicos traen como defecto el antagonismo, lo que conlleva a la competencia entre elementos haciendo más difícil la absorción por el medio radicular y causando estrés en la planta.  $\text{pH} > 6.5$  por lo general producen hojas oscuras (azuladas) y disminuye la asimilación de elementos como Mn (moteado amarillo), Fe (ápice clorótico), B, Zn, P y Cu (INTAGRI, 2017).

Según Anderson et al., (2017) el pH de la solución nutritiva está relacionado no solo a la absorción de nutrientes sino también al transporte, ya que afecta la cantidad de energía que la planta debe gastar para importar iones  $H^+$  a través de la membrana celular y el tonoplasto contra gradientes electroquímicos, e indica que al trabajar con pH 7 obtuvo una reducción del 26% en la biomasa del peso fresco de lechuga frente a pH 5.8.

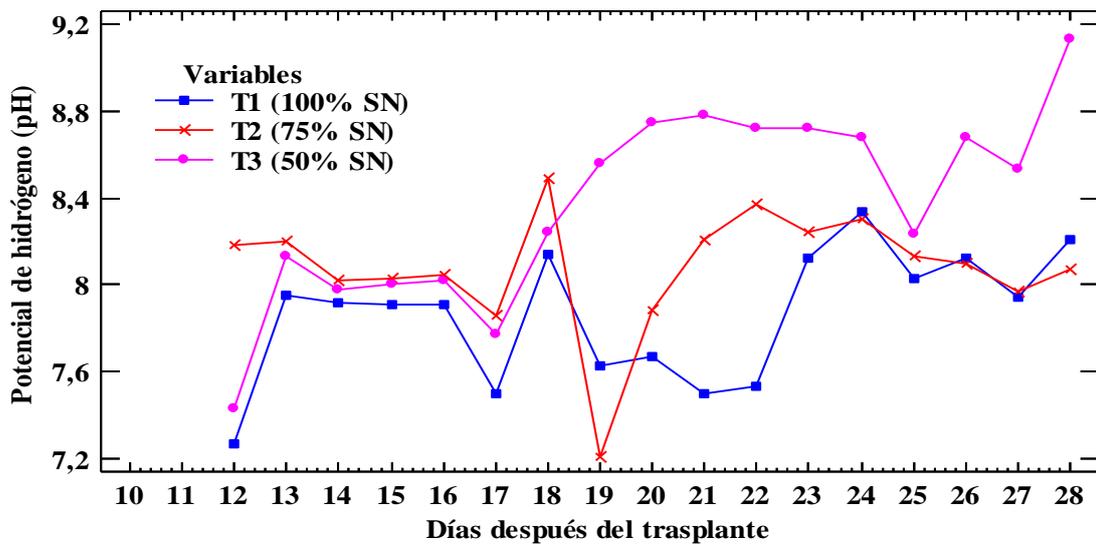
**Tabla 15. Potencial de hidrogeno (pH)de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica en sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.**

Día	Potencial de Hidrógeno (pH)					
	Sistema Raíz Flotante			Sistema con Sustrato Inerte		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	7.04	7.26	7.38	6.84	7.05	7.22
2	7.15	7.39	7.55	7.28	7.43	7.35
3	7.06	7.33	7.35	7.09	7.17	7.02
4	7.01	7.25	7.24	7.17	7.18	7.07
5	7.05	7.26	7.12	6.80	7.04	6.93
6	6.91	7.07	6.86	6.90	7.11	6.90
7	6.76	7.02	6.66	7.00	7.19	6.85
8	6.99	7.15	6.76	7.01	6.90	6.6
9	6.74	6.97	6.54	7.02	6.89	6.41
10	6.62	6.73	6.51	6.80	7.06	6.8
11	6.47	6.60	6.45	6.83	6.70	6.63
12	6.45	6.43	6.49	6.8	6.71	6.79
13	6.50	6.37	6.54	6.89	6.88	6.69
14	6.35	5.73	6.59	7.24	7.00	7.20
15	5.96	6.42	6.55	7.04	6.88	7.22
16	5.90	6.08	6.13	6.90	6.96	7.15
17	5.55	6.28	6.38	6.91	6.81	7.70
18	5.55	6.55	7.09	6.87	7.00	7.35
19	4.51	6.61	7.13	7.20	7.38	7.82
20	4.51	6.47	6.90	6.4	7.14	7.51
21	4.35	6.44	6.89	6.94	7.25	7.43
22	4.22	6.21	6.88	6.92	7.34	7.55
23	4.17	6.15	6.56	6.52	7.01	7.26
24	5.15	6.30	6.53	6.37	6.96	7.24
25				6.12	6.60	6.86
26				6.03	6.50	6.89
27				5.94	6.55	6.92
28				5.85	6.50	6.95
<b>Promedio</b>	<b>6.04</b>	<b>6.67</b>	<b>6.79</b>	<b>6.8</b>	<b>7.0</b>	<b>7.1</b>

**Fuente:** Elaboración propia

El pH drenado en el sistema con Sustrato Inerte sin recirculación de la solución nutritiva, ascendió aproximadamente 1 unidad por tratamiento. Se mantuvo en un

rango de 7.86 (T1) a 8.37 (T3) sin diferencias significativas (Tabla 16, Figura 15 y Tabla 10A).



**Figura 15. Potencial de hidrógeno (pH) registrado en el drenaje de la solución nutritiva, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.**

En un sistema donde el medio es sustrato, si la planta absorbe la misma cantidad de iones ( $\text{iones}^-$ ) y cationes ( $\text{iones}^+$ ) el pH no variará, ya que el hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) se une al hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) formando agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) con carga neutra, si no existe este equilibrio a medida que se liberan cationes el pH disminuye y, a medida que se liberan iones el pH aumenta, ó, dicho de otra forma, a pH altos la planta absorbe cationes liberando iones  $\text{OH}^-$ , lo cual alcaliniza el medio y el pH del drenaje tiende a aumentar. Este principio funciona de manera contraria en un sistema donde el medio donde se desarrolla el cultivo es 100% agua (Anthura, 2018).

**Tabla 16. Potencial de hidrógeno en la solución nutritiva drenada, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.**

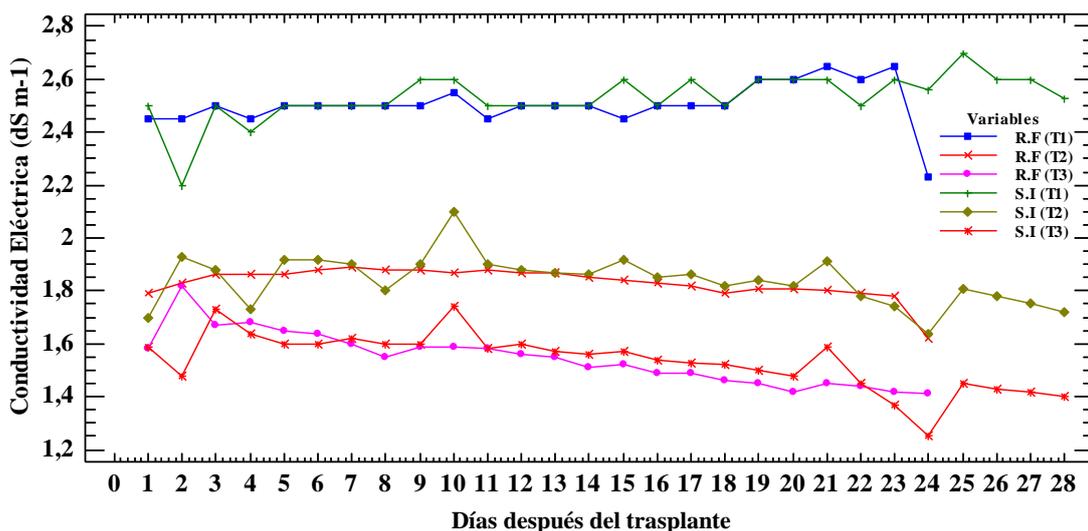
Día	Potencial de hidrógeno (PH)		
	T1	T2	T3
12	7.27	8.19	7.43
13	7.95	8.20	8.13
14	7.92	8.02	7.98
15	7.91	8.03	8.00
16	7.91	8.05	8.02
17	7.50	7.86	7.77
18	8.14	8.49	8.24
19	7.63	7.21	8.56
20	7.67	7.88	8.75
21	7.50	8.21	8.78
22	7.53	8.37	8.72
23	8.12	8.24	8.72
24	8.34	8.30	8.68
25	8.03	8.13	8.23
26	8.12	8.10	8.68
27	7.95	7.97	8.53
28	8.21	8.07	9.13
<b>Promedio</b>	<b>7.86</b>	<b>8.08</b>	<b>8.37</b>

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4.3 Conductividad Eléctrica (CE)

De acuerdo al análisis de varianza se mostraron diferencias significativas entre el T1, T2 y T3 del sistema Raíz Flotante (p-valor: <0.0001 y CV: 4.05%), y durante el ensayo se estimó un promedio de 1.96 dS m<sup>-1</sup>, del mismo modo en el sistema con Sustrato Inerte se encontró diferencia significativa para los tres tratamientos (p-valor: <0.0001 y CV: 4.47%) con un promedio de 1.93 dS m<sup>-1</sup> en la conductividad eléctrica de la solución nutritiva durante el ensayo.

La diferencia de conductividad eléctrica en los tratamientos/sistema se atribuye precisamente a la concentración (100%, 75% y 50%) de la solución nutritiva, como se observa en la Figura 16, el T1 (100% SN) se mantiene en una media de 2.51 y 2.50 dS m<sup>-1</sup> en Raíz Flotante y Sustrato Inerte, respectivamente, lo mismo ocurre entre el T2 y T3 de ambos sistemas (Tabla 17).



**Figura 16. Conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica en el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.**

La salinidad es causada por una excesiva acumulación de iones como sodio, calcio, magnesio, cloro, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, cuando la conductividad eléctrica es igual o mayor a  $4 \text{ dS m}^{-1}$  y una presión osmótica de  $-0.2 \text{ MPa}$  (déficit en la cantidad de nutrimentos de la SN), esto provoca un incremento en el potencial osmótico (disminución de la capacidad de desplazamiento del agua debido a la presencia de solutos) (Munns R. y Tester M., 2008). Según Preciado-Rangel et al., (2003) registró menor contenido de clorofila y área foliar ( $44.66$  y  $33.43 \text{ cm}^2$ ) con  $0.036 \text{ MPa}$  en comparación a  $0.109 \text{ MPa}$  ( $52.21$  y  $37.16 \text{ cm}^2$ ) al cultivar melón híbrido Crusier.

Según Hydroenvironment, (2015) la solución nutritiva en hidroponía debe mantenerse en un rango de  $1.5$  a  $3 \text{ dS m}^{-1}$ . Van der Boon et al., (1988) citado por Gutiérrez J., (2011) al estudiar la producción de lechuga en dos ciclos (primavera y verano) determinaron que la CE en la solución nutritiva para este cultivo oscila entre  $1.6$  a  $2.13 \text{ dS m}^{-1}$ .

La salinidad en el crecimiento y rendimiento de las plantas no solo altera la absorción de agua y minerales debido a la concentración de sales en la raíz, a su vez, influye en el proceso de fotosíntesis. Con conductividades mayores a  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$ , aunque la masa seca no sea afectada, el peso fresco y el área foliar se reducen dando lugar a una planta pequeña y de baja calidad comercial según Andriolo et al., (2005).

Por otro lado, Cepeda et al., (2014) obtuvieron el mayor peso en plantas subirrigadas con  $3.3 \text{ dS m}^{-1}$  y en riego superficial con  $\leq 2.5 \text{ dS m}^{-1}$  al evaluar diferentes niveles de CE (2.19, 2.5, 2.84 y  $3.3 \text{ dS m}^{-1}$ ) en solución nutritiva Hoagland/Arnon como factor de estudio, en lechuga variedad Iceberg. Esta diferencia se atribuye también al hecho de que la variedad empleada en los ensayos, es diferente.

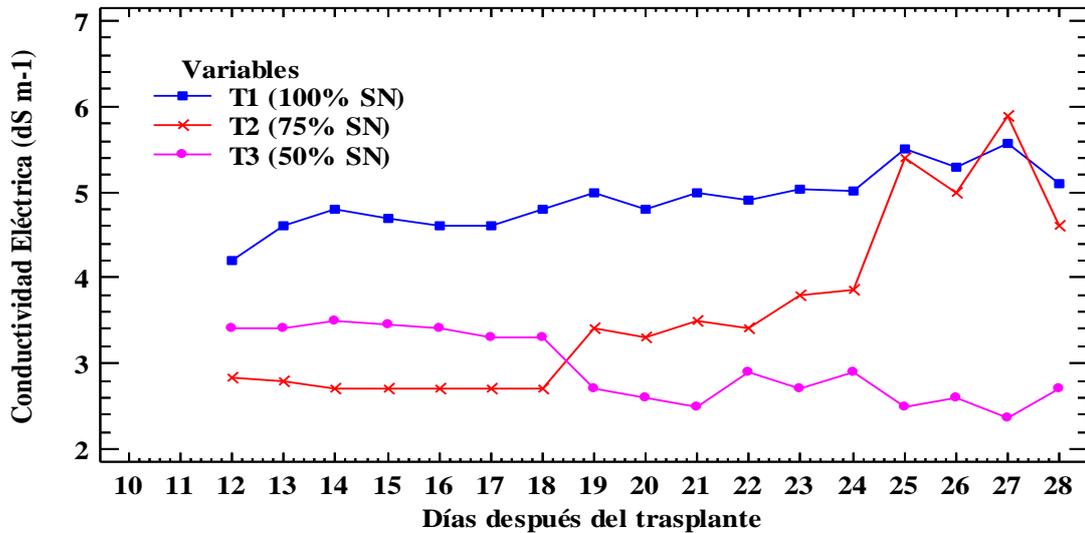
**Tabla 17. Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, en el cultivo de lechuga hidropónica bajo el sistema Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.**

Día	Conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ )					
	Sistema Raíz Flotante			Sistema con Sustrato Inerte		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	2.45	1.79	1.58	2.5	1.7	1.59
2	2.45	1.83	1.82	2.2	1.93	1.48
3	2.50	1.86	1.67	2.5	1.88	1.73
4	2.45	1.86	1.69	2.4	1.73	1.64
5	2.50	1.86	1.65	2.5	1.92	1.60
6	2.50	1.88	1.65	2.5	1.92	1.60
7	2.50	1.90	1.60	2.5	1.90	1.62
8	2.50	1.88	1.55	2.5	1.80	1.60
9	2.50	1.88	1.59	2.6	1.90	1.60
10	2.55	1.88	1.59	2.6	2.10	1.74
11	2.45	1.88	1.59	2.5	1.90	1.58
12	2.50	1.87	1.56	2.5	1.88	1.6
13	2.50	1.88	1.56	2.5	1.87	1.57
14	2.50	1.85	1.51	2.5	1.86	1.56
15	2.45	1.85	1.52	2.6	1.92	1.57
16	2.50	1.83	1.50	2.5	1.85	1.54
17	2.50	1.82	1.50	2.6	1.86	1.53
18	2.50	1.80	1.47	2.5	1.82	1.52
19	2.60	1.81	1.46	2.6	1.84	1.50
20	2.60	1.82	1.43	2.6	1.82	1.48
21	2.65	1.80	1.46	2.6	1.91	1.59
22	2.60	1.80	1.45	2.5	1.78	1.45
23	2.65	1.78	1.42	2.6	1.74	1.37
24	2.23	1.62	1.41	2.5	1.64	1.25
25				2.7	1.81	1.45
26				2.6	1.78	1.43
27				2.6	1.75	1.42
28				2.53	1.72	1.40
<b>Promedios</b>	<b>2.51</b>	<b>1.83</b>	<b>1.55</b>	<b>2.5</b>	<b>1.8</b>	<b>1.5</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la conductividad eléctrica del drenaje si hubo diferencias mínimas significativas entre los tratamientos (p-valor:  $<0.0001$ ), el T1 obtuvo el valor más alto ( $4.91 \text{ dS m}^{-1}$ ) seguido del T2 ( $3.61 \text{ m}^{-1}$ ) y el T3 ( $2.95 \text{ m}^{-1}$ ) como se observa en la Tabla 18 y la Figura

17 y Tabla 10A, estos valores equivalen aproximadamente al doble de la CE de entrada (Tabla 16).



**Figura 17. Conductividad eléctrica (dS m<sup>-1</sup>) registrada en el drenaje de la solución nutritiva, en cultivo de lechuga bajo sistema con Sustrato Inerte.**

La conductividad eléctrica de entrada aumentó aproximadamente 1.8 unidades por tratamiento al compararlo con la solución nutritiva de salida. En el sustrato la evapotranspiración trae como consecuencia la acumulación progresiva de sales, lo cual explica el hecho de que al aplicar solución nutritiva con 2.5 dS m<sup>-1</sup> promedio (T1) esta arrastra las partículas de sales durante el lixiviado y aumenta considerablemente al ser drenado (4.9 dS m<sup>-1</sup>) (Moreno *et al.*, 2015).

En una investigación realizada por Yescas *et al.*, (2011) menciona que esto puede no ocurrir de la misma manera en el sistema de raíz flotante precisamente debido a que el sistema de producción ofrece un medio de desarrollo distinto para el cultivo y durante las reposiciones, la SN es más agua que fertilizante. También explica que en los tratamientos donde las concentraciones de SN son al 75% y 50% la conductividad eléctrica en el sistema de Raíz Flotante se mantenga cerca del óptimo mientras que en el sistema con Sustrato Inerte llegaron a un promedio de 3.5 y 3 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Los parámetros químicos del lixiviado dependen del tipo de sustrato utilizado, el lixiviado de la mezcla 75% arena y 25% vermicompost presentó mayor Conductividad eléctrica frente al sustrato 100% arena.

**Tabla 18. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva drenada, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.**

Día	Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )		
	T1 (SN 100%)	T2 (SN 75%)	T3 (SN 50%)
12	4.20	2.83	3.40
13	4.60	2.80	3.40
14	4.80	2.70	3.50
15	4.70	2.70	3.45
16	4.60	2.70	3.40
17	4.60	2.70	3.30
18	4.80	2.70	3.30
19	5.00	3.40	2.70
20	4.80	3.30	2.60
21	5.00	3.50	2.50
22	4.90	3.40	2.90
23	5.03	3.80	2.70
24	5.01	3.87	2.90
25	5.50	5.40	2.50
26	5.30	5.00	2.60
27	5.56	5.89	2.37
28	5.10	4.60	2.70
<b>Promedio</b>	<b>4.91</b>	<b>3.61</b>	<b>2.95</b>

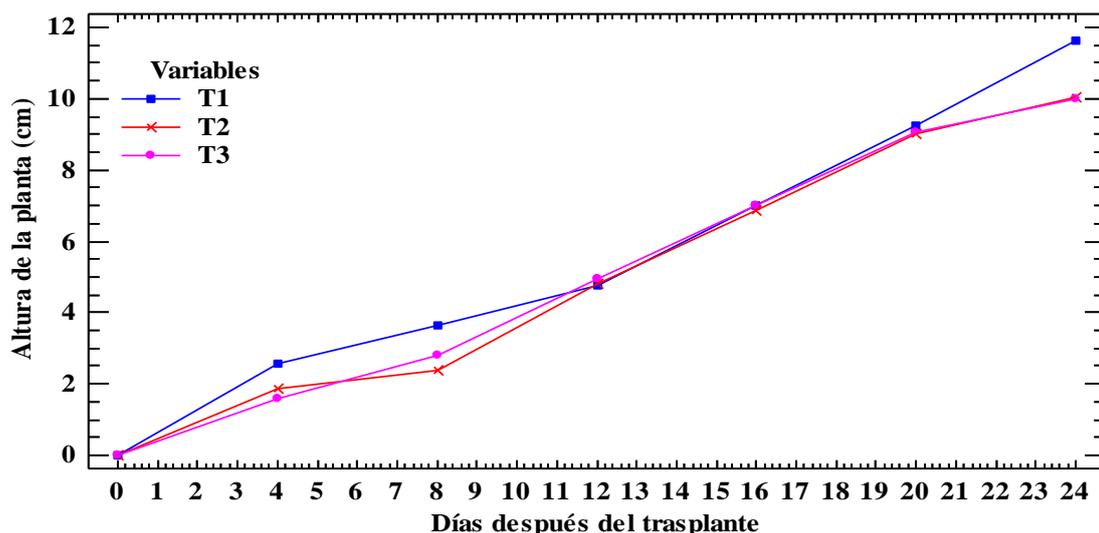
Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Comportamiento de lechuga hidropónica en el sistema Raíz Flotante y Sustrato Inerte

#### 3.5.1 Sistema Raíz Flotante

El cultivo en sistema Raíz Flotante tuvo una duración de 24 días.

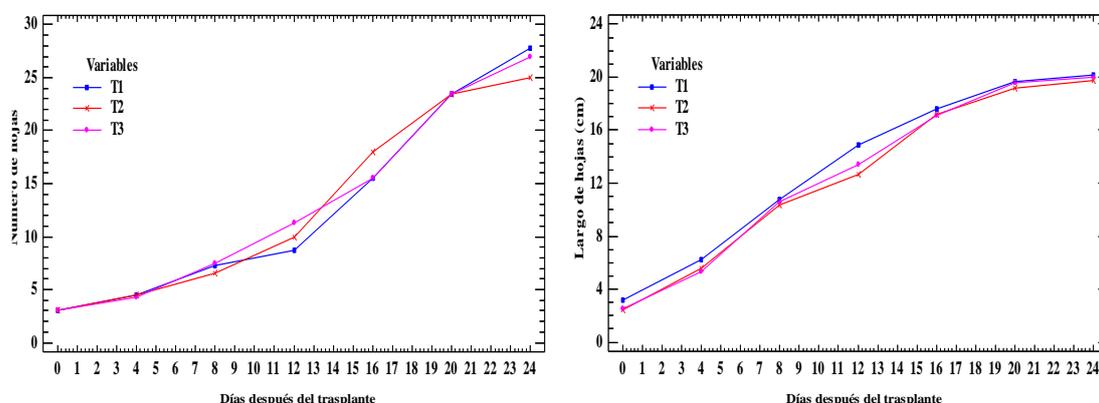
**Altura de la planta**, se presentaron diferencias significativas el 4, 8 y 24 ddt (<0.0001, <0.0001 y 0.0291), donde el T1 obtuvo los valores más altos con; 2.55 cm, 3.63 cm y 11.63 cm, respectivamente (Figura 18).



**Figura 18. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en la altura de la planta, en cultivo de lechuga bajo el sistema de Raíz Flotante.**

**Número de hojas,** se evidenciaron diferencias significativas únicamente en el día 12 después del trasplante (p-valor: 0.0121 y C.V: 9.13), donde; el T3 (50% SN) registró el mayor número de hojas con una media de 11.25 hojas/planta, seguido del T2 (10 hojas/planta) y T1 (8.75 hojas/planta) como se observa en la Figura 19.

**Largo de hoja,** no se mostraron diferencias significativas durante el ciclo de cultivo (Figura 19) y el día 24 ddt se registraron medias de 20.15 cm (T1), 19.75 cm (T2) y 20.02 (T3) cm.

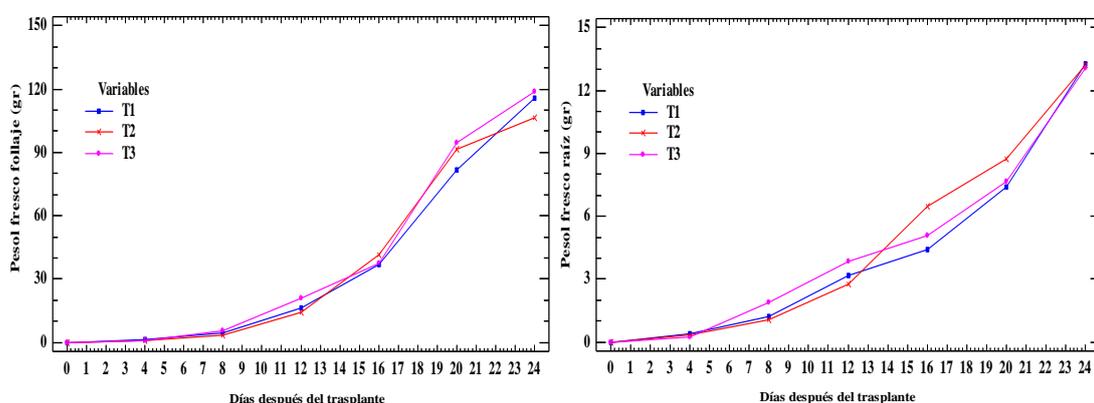


**Figura 19. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el número de hojas y largo de hoja, en cultivo de lechuga bajo el sistema de Raíz Flotante.**

**Peso fresco del follaje,** los tratamientos fueron diferentes; el día 4 (p-valor: 0.0003) donde el T1 presentó la media más alta (1.07 gr), el día 8 y 12 ddt (p-valor: 0.0002 y

<0.0001) el T3 obtuvo los mayores pesos con 5.45 gr y 20.77 gr, respectivamente. Y durante el día 16, 20 y 24 de la evaluación los tratamientos no mostraron diferencias significativas (Figura 20). Por lo tanto, hasta el 12 ddt, el T3 genera los mayores pesos frescos en follaje. Sin embargo, a partir de los 16 ddt a la cosecha se obtienen pesos estadísticamente iguales en el T1, T2 y T3.

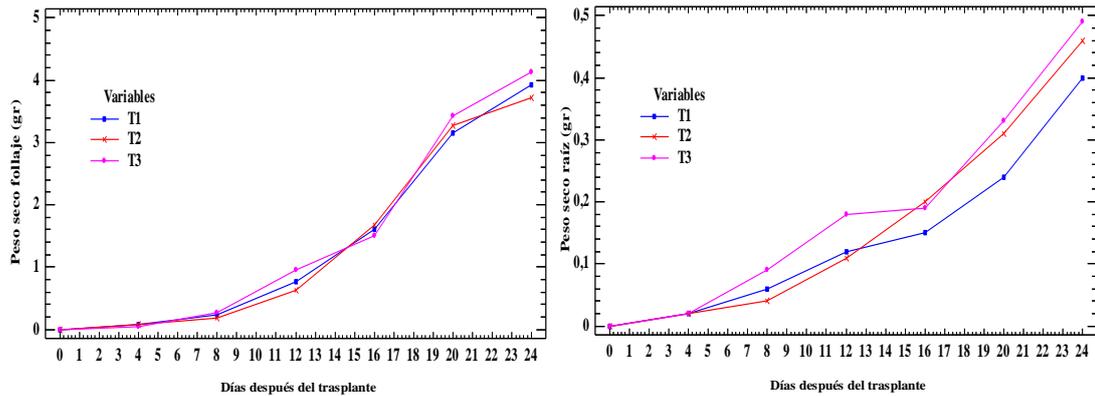
**Peso fresco de la raíz**, de acuerdo al análisis estadístico durante; el día 4 (p-valor: 0.0001), el T1 (0.4 gr) presentó el mayor peso, el 8 y 12 ddt (p-valor: <0.0001; 0.0001) el T3 obtuvo los valores más altos con 1.88 gr y 3.83 gr respectivamente, y en el día 16 ddt (p-valor: 0.0021) el T2 obtuvo un peso de 6.47 gr seguido del T3 (5.08 gr) como se observa en la Figura 20.



**Figura 20. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el peso fresco del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema de Raíz Flotante.**

**Peso seco del follaje**, se presentaron diferencias mínimas significativas al 4, 8 y 12 ddt (p-valor: 0.0019, 0.0004 y 0.0006). Los datos muestran las mayores medias en; T1 (0.07 gr) el día 4 de la evaluación, para el 8 y 12 ddt el T3 registró los valores más altos (0.26 gr y 0.96 gr) seguido del T1 (0.23 gr y 0.76 gr). El 24 ddt se obtuvo un C.V: 8.48% con medias estadísticamente iguales en el T1 (3.92 gr), T2 (3.72 gr) y T3 (4.14 gr) Figura 21.

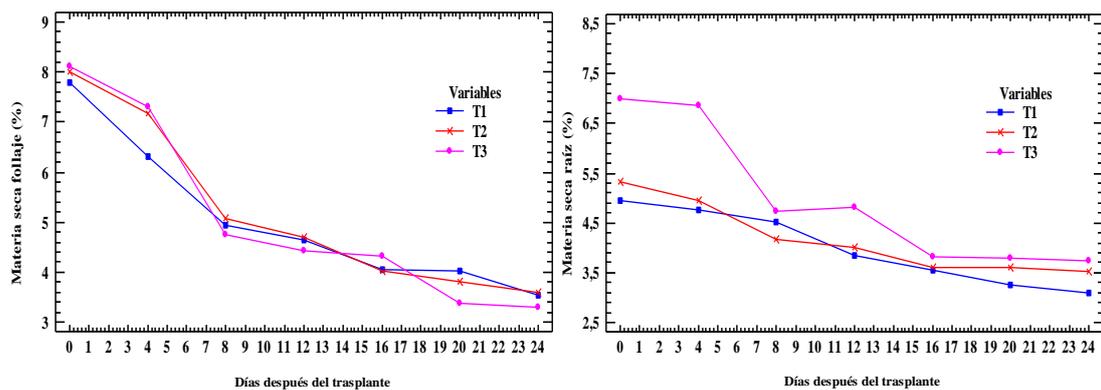
**Peso seco de la raíz**, se evidenciaron diferencias mínimas significativas durante el 83% de la duración del cultivo, donde; el T3 (50% SN) obtuvo las mayores medias: 0.09 gr, 0.18 gr, 0.19 gr, 0.33 gr y 0.49 gr durante el 8, 12, 16, 20 y 24 ddt, respectivamente (p-valor: 0.0002, <0.0001, 0.0001, 0.0002 y 0.018) Figura 21.



**Figura 21. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el peso seco de follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema de Raíz Flotante.**

**Materia seca del follaje**, durante el ciclo del cultivo la materia seca no presentó diferencias significativas, los datos muestran medias estadísticamente iguales para el T1 (3.54%), T2 (3.59%) y T3 (3.3%) a la cosecha (Figura 22).

**Materia seca de la raíz**, se presentaron diferencias significativas durante el 4 y 12 ddt (p-valor:0.0019, 0.016) donde el T1 presentó las medias más bajas (4.77%, 3.84%) frente al T3 (6.86%, 4.82%), Figura 22.



**Figura 22. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en la materia seca del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema Raíz Flotante.**

### 3.5.2 Sistema con Sustrato Inerte

El cultivo en este sistema tuvo una duración de 28 días.

**Altura de la planta,** en la Figura 23 se observan las alturas registradas durante el cultivo, se encontraron diferencias entre los tratamientos en los días 4, 8 después del trasplante ( $<0.0001$  y  $0.0016$ ) el T1 fue el valor más bajo con 1.62 cm y 2.4 cm, posteriormente el 12 y 28 ddt ( $0.054$  y  $0.0088$ ), el T1 se posicionó con la mayor altura al presentar 5 cm y 11.38 cm, respectivamente.

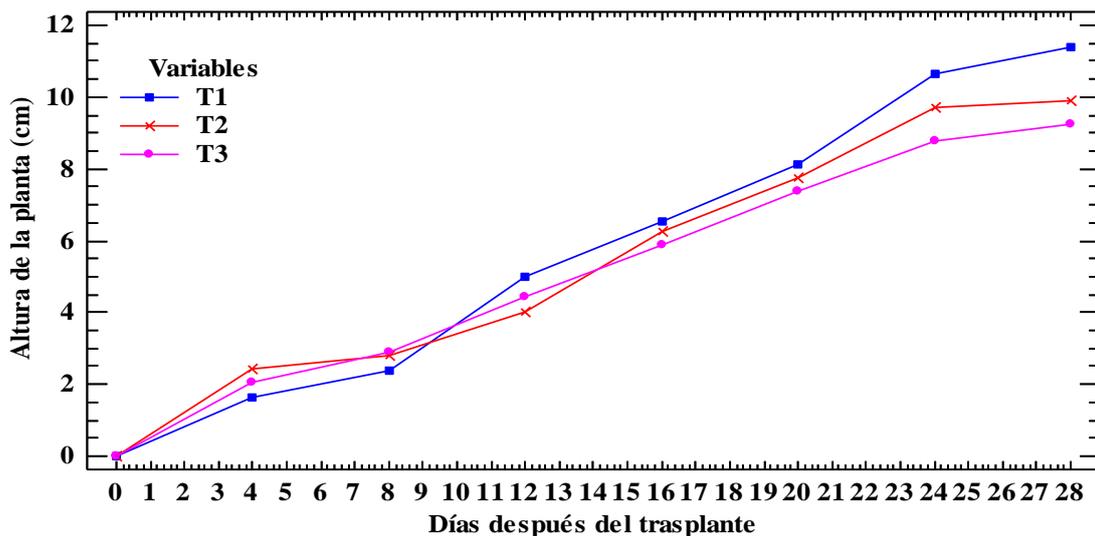
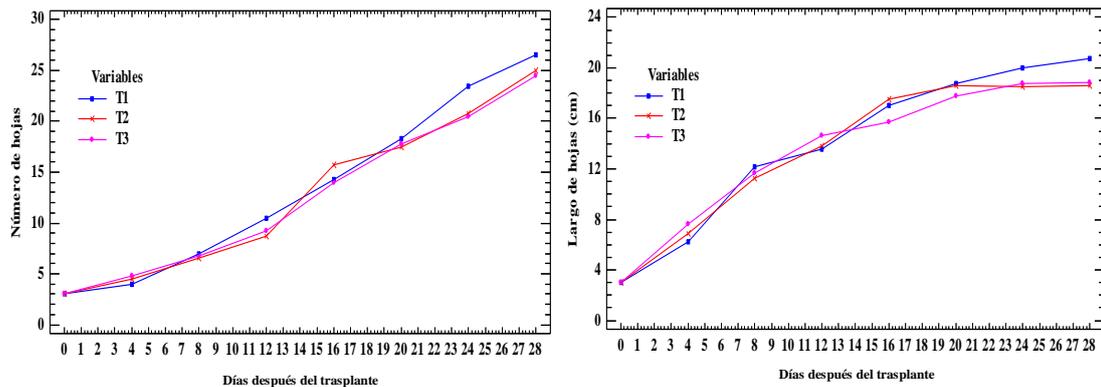


Figura 23. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva la altura de la planta, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.

**Número de hojas,** no se evidenciaron diferencias significativas durante el ensayo (Figura 24) y a la cosecha las medias entre los tratamientos fueron 26.5, 25 y 24.5 hojas /planta en el T1, T2 y T3, respectivamente.

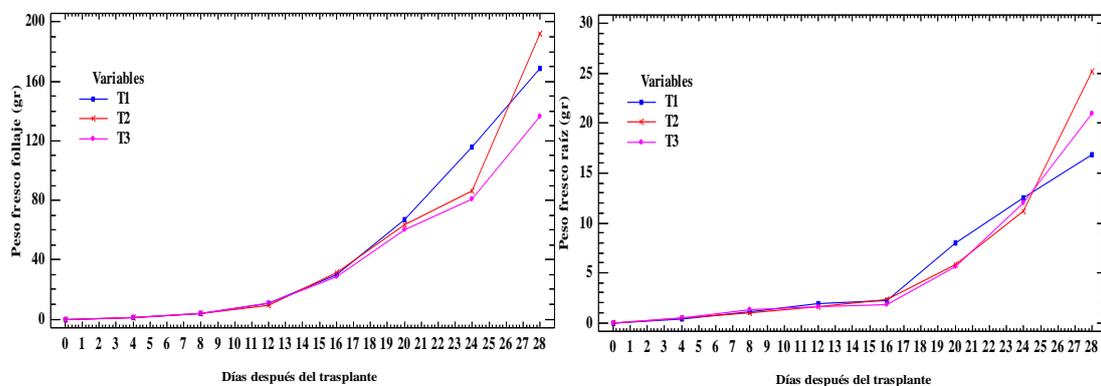
**Largo de hoja,** se observaron diferencias significativas (Figura 24); en el 4 ddt (p-valor: 0.05) donde el T3 alcanzó un valor de 7.6 cm seguido del T2 con 6.92 cm y en el día 28 ddt (p-valor: 0.004) el T1 obtuvo la mayor longitud de hoja con 20.75 cm en comparación con el T2 (18.63 cm) y T3 (18.88 cm).



**Figura 24. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el número y largo de hojas, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.**

**Peso fresco del follaje**, presentó diferencias significativas durante el día 4, 8, 12, 24 y 28 después del trasplante. El 4 ddt (p-valor: 0.0134) se observó la mayor media en el T3 (1.38 gr), posteriormente el T1 registró los valores más altos con 4.15 gr, 10.88 gr y 118.97 gr a los 8, 12 y 24 ddt (p-valor: 0.017, 0.0012 y 0.0004), finalmente a los 28 ddt (p-valor: 0.004) se alcanzaron los siguientes pesos: 168.63 gr (T1), 192.38 gr (T2) y 136.28 gr (T3), Figura 25.

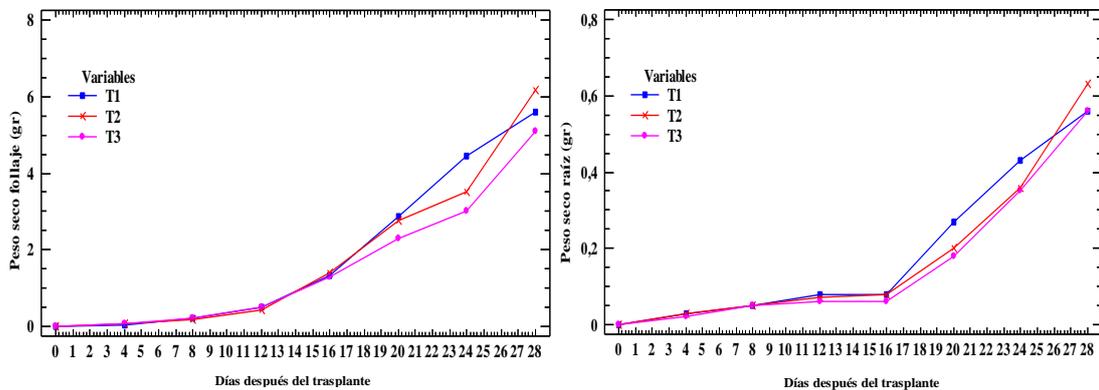
**Peso fresco de la raíz**, hubo diferencias significativas; en el día 4 (p-valor: 0.0007) el T1 (0.38 gr) tuvo el menor peso frente al T2 (0.5 gr) y T3 (0.5 gr), sin embargo, en el día 12 y 20 de la evaluación registró los valores más altos con 1.95 gr y 7.95 gr, respectivamente, frente al T3 (1.57 gr y 5.63 gr), y al 28 ddt (p-valor: 0.010) la cosecha se realizó con pesos de 16.9 gr (T1), 25.2 gr (T2) y 21.02 gr (T3), Figura 25.



**Figura 25. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el peso fresco del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.**

**Peso seco del follaje**, presentó diferencias significativas; 4 ddt (p-valor: 0.0021), donde se obtuvo el mayor peso en el T3 (0.07 gr), 20 y 24 ddt (p-valor: 0.003, 0.001) el T1 mantuvo las medias más altas con 2.86 gr y 4.45 gr, el día 28 después del trasplante (p-valor: 0.032) los tratamientos presentaron 5.60 gr (T1), 6.18 gr (T2) y 5.08 gr (T3) como se observa en la Figura 26.

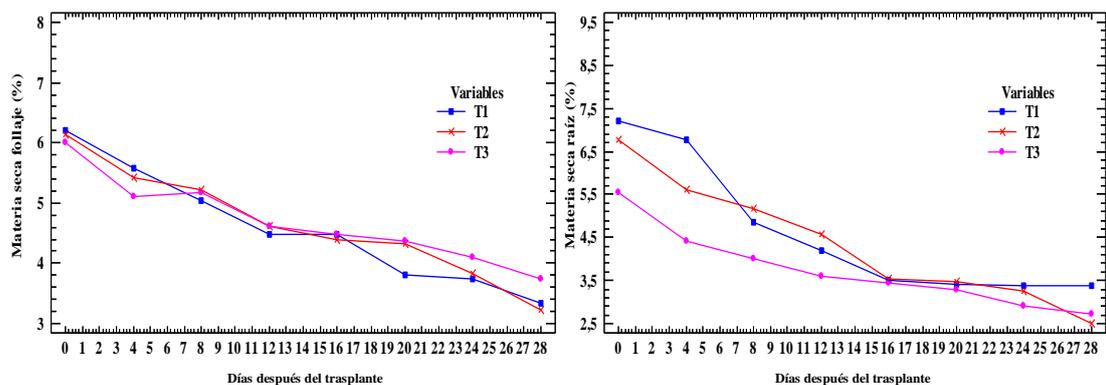
**Peso seco de la raíz**, se encontraron diferencias significativas; el 4 ddt (p-valor: 0.0102), el T2 obtuvo el mayor valor con 0.03 gr, posteriormente el T1 registró las medias más altas con 0.08 gr y 0.27 gr durante el día 12 y 20 después del trasplante (p-valor: 0.0238, 0.0008), al finalizar el cultivo a los 28 ddt (p-valor: 0.0077) el T2 obtuvo el mayor peso (0.63 gr) frente al T1 (0.56 gr) y T3 (0.56 gr), como se muestra en la Figura 26.



**Figura 26. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el peso seco del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.**

**Materia seca del follaje**, se ve influenciado por la reducción de la concentración en la solución nutritiva, de acuerdo al análisis estadístico el día 28 ddt (p-valor: 0.0007) donde el T2 (3.22%) tuvo el menor porcentaje frente al T1 (3.33%) y T3 (3.73%) (Figura 27).

**Materia seca de raíz**, se evidenció diferencias significativas y durante el día 4, 8 y 12 de la evaluación (p-valor: 0.0011, 0.012, 0.042), el T3 generó los valores más bajos con 4.43%, 4.02% y 3.59% respectivamente, el día 28 después del trasplante el T2 obtuvo el menor porcentaje con 2.51% en comparación al T1(3.37%) y T3 (3.37%) (Figura 27).



**Figura 27. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el porcentaje de materia seca del follaje y raíz, en cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.**

### 3.6 Cosecha de lechuga hidropónica

**Número de hojas**, el T1 obtuvo los valores más altos en el sistema de Raíz Flotante y en Sustrato Inerte con 27.75 y 26.5 hojas/planta, respectivamente. Estos valores son superiores al sistema NFT (Nutrient Film Technique) evaluado por Lema D., (2017) quienes obtuvieron medias de 20, 17.33 y 17 hojas/planta utilizando dosis de solución nutritiva; baja (33.3%), media (66.6%) y alta (100%) a los 30 días después del trasplante.

**Longitud de hojas**, los tratamientos fueron estadísticamente iguales en Raíz Flotante, los valores obtenidos fueron 19.70 cm (T1), 19.75 cm (T2) y 20.03 cm (T3), mientras que en Sustrato Inerte si hubo diferencias significativas (p-valor: 0.0044) donde; el T1 obtuvo la mayor media con 20.75 cm, seguido del T3 18.88 cm y T2 18.63 cm.

De conformidad con Zambrano A., (2014) emplear sistemas con recirculación permite incluso longitudes superiores, y esto lo corroboran al registrar 16 cm en Raíz flotante, 18 cm con el sistema NFT vertical y 21 cm en NFT horizontal.

Sin embargo, otra investigación realizada por Morales A., (2019) señalan que se encontraron valores inferiores bajo tres concentraciones de solución nutritiva; baja (estándar), media (50%) y alta (100%), las longitudes de hoja promedio fueron 13.63 cm, 13.30 cm y 14.63 cm, respectivamente, en el híbrido Mimosa y realizar la cosecha 50 días después del trasplante.

**Altura de la planta,** el T1 obtuvo los valores más altos con 11.63 cm en Raíz Flotante y 11.38 cm en Sustrato Inerte, al finalizar el cultivo en ambos sistemas. La altura de la planta depende mucho del aporte de agua, nutrientes, energía y aire que el medio pueda aportarle, Lema D., (2017) alcanzó una media de 11.60 cm y 11.07 cm con una dosis al 66.6% y 100% de fertilizantes, respectivamente a los 30 días después del trasplante en un sistema NFT, valores similares a los obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Según Curay M. y Cajo A., (2016) la altura de la planta es un indicador de que el medio proporcionó cantidades y accesibilidad adecuadas de nutrientes y factores como; el pH, disponibilidad de agua, temperatura, entre otros, los mismos autores presentaron valores inferiores a los obtenidos en el presente ensayo, siendo la media más alta de 10.51 cm en lechuga var. Lollo Rossa frente a 8.53 cm en lechuga var. Crespa bajo el sistema NFT.

**Peso fresco de la parte aérea,** en Raíz Flotante no hubo diferencias significativas, el T1 obtuvo 115.92 gr, el T2 106.35 gr y el T3 118.97 gr. En sustrato Inerte, se obtuvieron pesos inferiores al sistema de Raíz Flotante durante los primeros 15 días, sin embargo, en las evaluaciones posteriores, los valores registrados en Sustrato Inerte fueron mayores, en la cosecha hubo diferencias significativas entre los tratamientos; el T2 registró 192.38 gr, seguido del T1 (168.63 gr) y el T3 (136.28 gr).

Disminuir la concentración de la solución nutritiva en un sistema con recirculación no afecta negativamente la producción ya que se obtienen pesos aceptables aplicando hasta el 50% de la SN y es posible la precocidad del cultivo, esto lo corrobora Norori J., (2005) quien obtuvo los mejores resultados en el 75% de la concentración con un peso de 77 gr, seguido de una solución creciente (50-75%) y el 50% de la SN que alcanzaron 69 gr a los 18 ddt.

**Peso fresco de la raíz,** se registró un promedio de 13.25 gr en Raíz Flotante sin diferencias significativas, a diferencia del cultivo en Sustrato Inerte donde el mayor peso lo presentó el T2 (25.2 gr). Según Ricardo J., (2019) obtuvo un promedio de 16 gr en lechuga var. Crespa en Raíz Flotante, valor cercano al obtenido en el presente ensayo en el mismo sistema, pero inferior al registrado en Sustrato Inerte.

Los sustratos además de suministrar aire y agua, son un medio de sostén, proveen los nutrientes necesarios para que, a través de la raíz, la planta los adquiera de la solución nutritiva y de este modo garantizar mejores condiciones de desarrollo, Guerrero et al., (2014) en su investigación obtuvo 35.55 gr en el peso fresco de la raíz utilizando como sustrato 30% cascarilla de arroz y 70% fibra de coco, en un sistema de producción escalonada.

**Peso seco de la parte aérea**, los valores obtenidos muestran pesos de 3.92 gr (T1), 3.72 gr(T2) y 4.14 gr (T3), en el sistema Raíz Flotante sin diferencias significativas. Mientras que en Sustrato Inerte si hubo diferencias significativas (p-valor: 0.032), con 5.60 gr, 6.18 gr y 5.08 gr, en el T1, T2 y T3, respectivamente.

En la investigación realizada por Carranza et al., (2009) en Lechuga Batavia, se alcanzó un máximo de 21.44 gr en peso seco foliar, mientras que Martínez F. y Garcés G., (2010) mostró un crecimiento progresivo desde el trasplante y obtuvo un máximo de 16 gr en Lechuga Romana ambos cultivos a los 61 ddt, valores superiores al presente ensayo.

**Peso seco de la raíz**, los tratamientos fueron diferentes en Raíz Flotante (p-valor: 0.018) el T3 obtuvo la media más alta (0.49 gr), seguido del T2 (0.46 gr) y el T1 (0.4). En Sustrato Inerte (p-valor: 0.007) el T2 con un peso de 0.63 gr, en comparación al T1 y T3 cuyos valores fueron exactamente iguales.

Según Gutiérrez J., (2011) obtuvo pesos secos totales de 8.84 gr en Raíz Flotante y 6.59 gr en Sustrato sin recirculación a los 24 ddt, en lechuga tipo mantequilla cv. Cortesana M1, estos valores son superiores a los logrados en el sistema Raíz Flotante del presente trabajo, pero cercanos al sistema con Sustrato Inerte, esto también se debe a que la variedad empleada en ambos ensayos es diferente.

**Materia seca parte aérea**, los tratamientos en Raíz Flotante fueron estadísticamente iguales, siendo; 3.54%, 3.59% y 3.3% en el T1, T2 y T3, respectivamente. En Sustrato Inerte si hubo diferencias significativas (p-valor: 0.0007) el menor valor lo obtuvo el T2 (3.22%), seguido del T1 (3.33%) y T3 (3.73%).

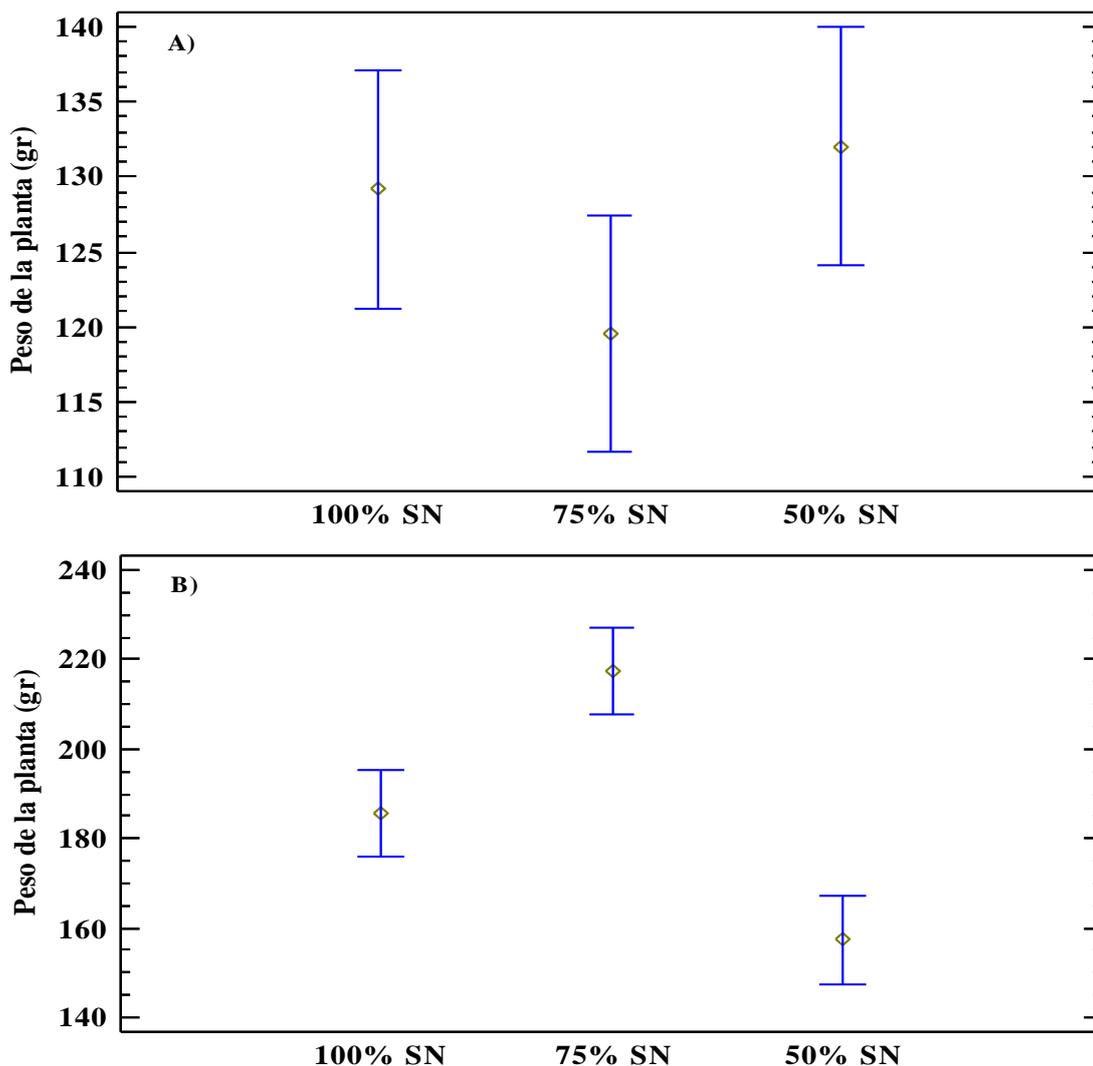
Según Velásquez et al., (2014) en condiciones controladas (macrotúnel) registró 5.27% en materia seca del área foliar frente a un cultivo establecido a campo abierto bajo tres niveles de fertilización (alto, medio y bajo) y realizar la cosecha en el día 74 ddt cuyo cultivar pertenecía a la variedad Batavia y en materia seca radicular, alcanzó 15.66% llevando a cabo el mismo proceso de secado (muestras en estufa a 65°C/72 horas). El mismo autor menciona que la presencia de estrés hídrico en el cultivo, explica las altas cantidades de biomasa seca y un menor crecimiento de biomasa verde en la planta.

**Materia seca radicular**, en Raíz Flotante no hubo diferencias entre los tratamientos siendo los porcentajes registrados; 3.08% (T1), 3.52% (T2) y 3.74% (T3). En Sustrato Inerte los tratamientos fueron estadísticamente diferentes (p-valor: 0.046) donde, el T2 obtuvo el menor valor con 2.51% frente al T1 (3.37%) y T3 (2.73%). Valores similares obtuvo Ricardo J., (2019) quien evaluó lechuga var. Acephala cv. Crespa y reportó 4.74% en materia seca de raíz cuyo periodo de cosecha fue de 22-25 días.

El agua se pierde por transpiración, aunque también va a depender de la temperatura y la humedad, esta pérdida provoca estrés en la planta por deshidratación (desequilibrio hídrico), que puede repercutir el crecimiento y el rendimiento del cultivo, dejando síntomas visibles como enrollamiento o abscisión de las hojas (Beltrano J. y Giménez D., 2015).

### **3.7 Rendimiento**

Al comparar los tratamientos del sistema Raíz Flotante, según el análisis estadístico no hubo diferencias significativas, el peso fresco de la planta se mantuvo en un rango de 119.55 gr (T2) a 132.05 gr (T3) a los 24 ddt. En el sistema con Sustrato Inerte si presentó diferencias significativas (p-valor: 0.0058) entre los tratamientos, la lechuga var. Vizir tuvo el mejor rendimiento por planta con el 75% de la solución nutritiva 227.57 gr (T2), seguido del T1 (185.53 gr) y el T3 a los 28 ddt (Figura 28).



**Figura 28. Rendimiento de lechuga hidropónica var. Vizir bajo diferentes concentraciones de solución nutritiva, en el sistema de Raíz Flotante (A) y con Sustrato Inerte (B), entre los días de Noviembre/Diciembre del 2019 en la península de Santa Elena.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente ensayo, el mayor rendimiento en Raíz Flotante fue de 4.23 Kg m<sup>2</sup> (T3), sin diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, el cultivo establecido en Sustrato Inerte presentó valores superiores y el T2 obtuvo el mayor rendimiento con 7.07 Kg m<sup>2</sup>, como se observa en la Tabla 19, el p-valor y coeficientes de variación se encuentran detallados en la Tabla 11A. Es decir, en Raíz Flotante el mayor rendimiento se obtuvo con el 50% de la SN, mientras que en Sustrato Inerte se logró con el 75% de SN. Los valores logrados en ambos sistemas son superiores a los registrados por Norori J., (2005) que obtuvo 1.34

Kg m<sup>2</sup> con el 75% de solución nutritiva Hoagland/Arnon en Raíz Flotante, con lechuga var. Verónica.

**Tabla 19. Peso de plantas y producción en Kg m<sup>2</sup> obtenidos a tres concentraciones de solución nutritiva Hoagland/Arnon en el Sistema de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte.**

Tratamientos	Raíz flotante		Sustrato Inerte	
	Peso/planta (gr)	Producción en Kg m <sup>2</sup>	Peso/planta (gr)	Producción en Kg m <sup>2</sup>
100% SN	129.18 a	4.13 a	185.53 ab	6.03 b
75% SN	119.55 a	3.83 a	217.57 a	7.07 a
50% SN	132.05 a	4.23 a	157.3 b	5.11 c

**Fuente:** Elaboración propia

La cosecha varió en cada uno de los sistemas, en Raíz Flotante fue 4 días antes que en Sustrato Inerte en Lechuga variedad Vizir, por lo tanto, la diferencia entre los sistemas de producción hidropónica para llegar a la fase reproductiva medido en tiempo térmico no es considerable.

De acuerdo con Moreno et al., (2015) la producción en Raíz Flotante suele ser precoz y más aún cuando es cerrado (con recirculación), el sistema proporciona un ambiente favorable para la raíz en cuanto a temperatura uniforme, humedad constante y disponibilidad de nutrimentos sin cambios drásticos en la conductividad eléctrica (CE), a diferencia de los cultivos establecidos en Sustrato Inerte y cuyo periodo de cosecha es más prolongado.

Los mismos autores mencionan que al evaluar lechuga cv. Cortesana M1 durante dos ciclos productivos en tres sistemas hidropónicos, se obtuvo el mayor peso en Raíz Flotante (197.22 gr) a los 32 ddt, y a los 39 ddt se logró 173.5 gr en Sustrato con recirculación y 186.3 gr en Sustrato sin recirculación, en el primer ciclo. Para el segundo ciclo la cosecha se realizó a los 24 ddt en Raíz Flotante (228.5 gr) y a los 29 ddt en Sustrato con recirculación (219.6 gr) y en Sustrato sin recirculación (219.4 gr). Estos pesos se atribuyen a una mayor intensidad lumínica recibida, época de siembra (verano) y una mayor actividad fotosintética, lo cual induce la precocidad en el cultivo según Fallovo et al., (2009).

La investigación realizada por Zambrano A., (2014) señala que al comparar otros sistemas de producción obtuvieron pesos frescos de 28 gr, 31 gr y 27 gr por planta en Raíz Flotante, NFT horizontal y NFT vertical, respectivamente y el mejor rendimiento en NFT vertical (1.4 kg m<sup>2</sup>) en la variedad Mónica sf-31 mediante el análisis de un trifactorial.

Según Gutiérrez G., (2011) en condiciones controladas (invernaderos) es posible obtener un producto comerciable siempre que exista suficiente radiación solar; a medida que aumenta la temperatura, el desarrollo de los cultivares se acelera.

### **3.8 Análisis foliar**

Se usó como referencia los niveles foliares registrados por INIAP en variedad Vizir al 100% de la SN, mientras que para el 50 y 75% de SN los resultados obtenidos por Norori J., (2005) en var. Verónica ambos en Raíz Flotante.

Se comparó los datos referenciales con el rango óptimo para el cultivo de lechuga establecido por Campbell y Roorda y Smilde citados por Proain, Lechuga var. Boston Type según Norori J., y cultivos de hoja según Resh (Tabla 20).

**Tabla 20. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva sobre la concentración de nutrientes en cultivo de lechuga, expresado en porcentaje, en Raíz Flotante.**

Fuentes	Tratamientos	Concentración %				
		N	P	K	Ca	Mg
(INIAP, 2020)	100% SN	4.6	0.7	5.3	1.4	0.2
(Norori J, 2005)	75% SN	3.67	0.48	2.81	0.16	0.15
	50% SN	3.56	0.48	3.18	0.22	0.17
Paramétrico	p-valor	0.0056	0.0031	0.0001	<0.0001	0.4700
	CV%	8.83%	13.68%	12.94%	17.51%	21.19%
	F	9.73	11.71	31.25	176.96	0.82
(Campbell, 2013)	Rango óptimo	4.5-6.5	0.35-0.65	6-10	1-2	0.35-0.75
Según (Roorda van Eysigna y Smilde, 1981) citado por Proain, (2020)	Rango óptimo	2.1-5.6	0.4-0.93	3.9-9.77	0.88-2.0	0.36-0.9
(Resh, 2019)	Rango óptimo	3.5-6	0.4-1.0	3.5-8.0	1.25-2.5	0.3-1.0
Norori, J., (2005)	Rango óptimo	3.5-5.5	0.4-1.0	5.5-9.0	1.5-3.5	0.36-0.8

En los tres tratamientos los niveles foliares de N, P y Ca se encontraron dentro del rango óptimo, sin embargo, al comparar las concentraciones de Ca con el promedio óptimo para Lechuga va. Boston Type, Norori J., (2005) difiere al mencionar que están debajo del requerido, del mismo modo, el K estuvo en condiciones reducidas para el cultivo de lechuga según Campbell, (2013) pero dentro del rango en todos los tratamientos de acuerdo a los demás autores, mientras que el Mg estuvo en bajas concentraciones para el T1, T2 y T3, aunque cerca del óptimo para cultivos de hoja (Resh, 2019).

Para el ensayo en Sustrato Inerte del presente trabajo no se pudo comparar entre los tratamientos (50%, 75% y 100% de SN) debido a que no se encontró datos referenciales con dosis inferiores al 100% de la solución nutritiva en sustrato, de tal

modo, que se comparó únicamente el T1 en ambos sistemas con los rangos establecidos por Campbell, (2013) como se muestra en la Tabla 21.

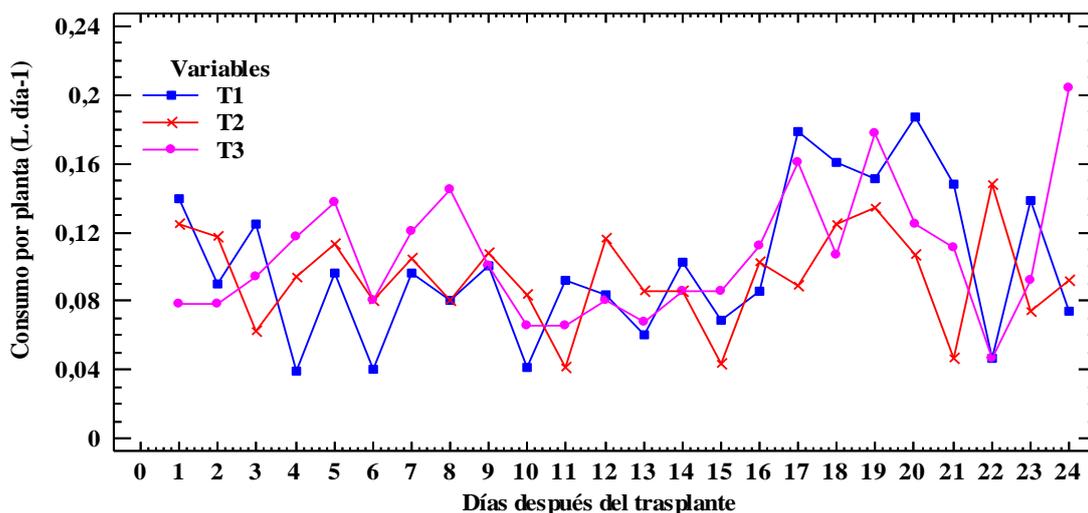
**Tabla 21. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva sobre la concentración de nutrientes en cultivo de lechuga, expresado en porcentaje, en Sustrato Inerte y Raíz Flotante.**

Fuentes	Tratamientos	Concentración %				
		N	P	K	Ca	Mg
(Ojeda Vargas, 2017)	100% SN (Sustrato Inerte)	4.9	0.7	3.2	0.5	0.2
(INIAP, 2020)	100% SN (R. F.)	4.6	0.7	5.3	1.4	0.2
(Campbell, 2013)	Rango óptimo	4.5-6.5	0.35-0.65	6-10	1-2	0.35-0.75

El cultivo en Sustrato Inerte presentaría bajos niveles de K y Ca, lo cual no ocurre en Raíz Flotante, mientras que la concentración de Mg está por debajo del óptimo (0.2%) en ambos sistemas según los análisis foliares obtenidos por Ojeda Vargas, (2017) e INIAP, (2020).

### 3.9 Consumo de agua

El sistema de Raíz Flotante tuvo un consumo de agua promedio de  $3.2 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  y  $77.6 \text{ L m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$  mientras que en los tratamientos el consumo promedio por planta fue de 0.101 lt (T1), 0.094 lt (T2) y 0.206 lt (T3) a lo largo del ciclo con un patrón similar como se observa en la Figura 29 y cuyos promedios de  $\text{L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  y  $\text{ciclo}^{-1}$  no presentaron diferencias significativas, sin embargo, las plantas del T1 (50% SN) fueron las que más agua consumieron frente al T2 (75% SN) (Tabla 22).



**Figura 29. Consumo de agua por planta en Lechuga var. Vizir para el sistema de Raíz Flotante.**

Estos valores son superiores a los obtenidos por Gutiérrez J., (2011) quien registró  $2.01 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  y  $65.80 \text{ L m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$  en Raíz Flotante a los 24 ddt en cultivo de lechuga tipo mantequilla, y, argumenta que la uniformidad del consumo de agua se debe a las condiciones ambientales de la solución nutritiva (pH, temperatura y CE), los cuales son más estables en este sistema de producción hidropónico.

**Tabla 22. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el consumo de agua, en el cultivo de lechuga bajo los sistemas de Raíz Flotante.**

Tratamientos	Volumen aplicado	Raíz flotante	
	Contenedor ( $\text{Lt m}^2$ )	$\text{L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$	$\text{L m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$
100% SN	80	3.20 a	77.91 a
75% SN	80	3.0 a	72.41 a
50% SN	80	3.40 a	81.48 a
<b>Promedio</b>	80	3.2	77.6

**Fuente:** Elaboración propia

En el sistema con Sustrato Inerte del presente ensayo se determinó que la evapotranspiración real del cultivo fue de  $1.848 \text{ mm/día}$  lo cual equivale a un requerimiento hídrico de  $0.259 \text{ lt/planta/día}$ .

Del volumen aplicado en cada tratamiento se restó el volumen drenado y se obtuvo el consumo neto como se expresa en la Tabla 23, de este modo el cultivo de lechuga variedad Vizir bajo el sistema con Sustrato Inerte consumió en promedio  $0.234 \text{ L}$

planta día<sup>-1</sup> lo cual se asemeja al requerimiento hídrico y 7.58 L m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> sin diferencias significativas entre los tratamientos, cabe mencionar que el T1 tuvo el mayor consumo, aproximadamente 10.71% frente al T2 y 11.50% al T3, sin embargo los tratamientos fueron diferentes en los L m<sup>-2</sup> ciclo<sup>-1</sup>, el T1 tuvo el mayor consumo de agua, mientras que el T2 y T3 tuvieron un consumo estadísticamente igual.

Cultivos de hoja como la Lechuga llegan a consumir hasta 300 ml/planta en su etapa de desarrollo, a razón de 25 planta m<sup>2</sup> lo cual equivaldría a 7.5 L m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> según Rodríguez, (2003).

**Tabla 23. Efecto de las concentraciones de solución nutritiva en el consumo de agua, en el cultivo de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte.**

Tratamientos	Volumen aplicado Lt	Volumen desechado		Sustrato Inerte		
		L ciclo <sup>-1</sup>	%	L planta día <sup>-1</sup>	L m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>	L m <sup>-2</sup> ciclo <sup>-1</sup>
100% SN	1050	104	11	0.252 a	8.19 a	229.32 a
75% SN	940	98.25	11.67	0.225 a	7.31 a	204.75 b
50% SN	933	96.3	11.5	0.223 a	7.25 a	202.93 b
<b>Promedio</b>	974	99.5	11.4	0.234	7.58	212.33

**Fuente:** Elaboración propia

Cabe mencionar que los tratamientos tuvieron un bajo porcentaje de drenaje, estos valores son cercanos a los obtenidos por Gutiérrez J., (2011) quien registró 12.77% de agua drenada en Sustrato Inerte, frente al sistema de Raíz Flotante donde el 75.14% del volumen aplicado fue desechado y argumenta que un menor drenaje equivale a un mayor consumo.

El mismo autor reportó un consumo de agua promedio de 0.110 planta día<sup>-1</sup> en sustrato sin recirculación a los 29 ddt en cultivo de lechuga tipo mantequilla.

Reducir el número de riegos o pulsos evitaría grandes volúmenes de drenaje y mejora la absorción de agua y nutrientes, se debe aumentar la frecuencia de riego y disminuir el tiempo (Méndez H., 2019).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Al finalizar la investigación los mejores resultados los presentó el sistema de Raíz Flotante, obtuvo el menor consumo de agua, mayor precocidad, los valores más altos en altura de planta, número y largo de hoja, mejor concentración de nutrientes a nivel foliar, aunque el mayor peso fresco lo obtuvo el Sistema con Sustrato Inerte.

El cultivo de lechuga muestra adaptabilidad en ambos sistemas, sin embargo, cabe mencionar que en Raíz Flotante existe una precocidad de 4 días equivalente a un 14%, mientras que en Sustrato Inerte esta diferencia se justifica con un mayor peso planta a la cosecha.

En Raíz Flotante fueron necesarios 451.73 Grados días acumulados y en Sustrato Inerte 536.12 Grados días acumulados para llegar a la fase reproductiva.

Reducir la concentración de solución nutritiva no afecta negativamente al peso fresco del cultivo en Raíz Flotante, se realizó la cosecha con valores estadísticamente iguales en los tratamientos y aunque no se alcanzó el peso mínimo (150 gr) visualmente cumple los estándares comerciales como lechuga de hoja, teniendo así: 129.18 gr (T1), 119.55 gr (T2) y 132.05 gr (T3). En Sustrato Inerte, por el contrario, disminuir la concentración de fertilizantes si afecta al peso fresco, el T3 (50%) obtuvo la media más baja (157.3 gr) frente a los demás tratamientos, sin embargo, supera al peso máximo registrado en Raíz Flotante.

De acuerdo a los resultados obtenidos en Raíz Flotante, el T3 es el más eficiente al generar un rendimiento de 4.23 Kg m<sup>2</sup>, siendo superior a los demás tratamientos, el aprovechamiento es exactamente el 50%. Mientras que en Sustrato Inerte el más eficiente es el T2 (75% SN), el cual permite un rendimiento de 7.07 Kg <sup>2m</sup><sup>2</sup>.

## **Recomendaciones**

Repetir la investigación haciendo uso de una solución creciente y su efecto en el cultivo de lechuga. Es decir; se inicie el trasplante con el 50% de solución nutritiva y 12 días después se aumente a 75% hasta la cosecha, en ambos sistemas, o en su efecto; se inicie con un 50%, una semana después 75% y el resto del ciclo 100%.

Usar otras alternativas para el sistema con Sustrato Inerte, que ayuden en la retención de humedad como la fibra de coco, y considerar el tamaño de las partículas para reducir las pérdidas del sustrato por lixiviación.

Evaluar otras variedades no solo de hoja, sino también lechugas de cabeza.

Experimentar el cultivar de lechuga bajo el sistema con Sustrato Inerte con recirculación de la solución nutritiva y realizar el lavado del sustrato al menos dos veces al mes para evitar la acumulación progresiva de sales, problemas de salinidad y alterar los parámetros químicos como pH, temperatura y conductividad eléctrica.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Alveal Concha, M. A., Campos González, K. del C. (2014). *Estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo*. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Bío-Bío, Chile.

Anderson, T., Martini, M., de Villiers, D., Timmons, M. (2017). Growth and Tissue Elemental Composition Response of Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa*, cv. Flandria) to Hydroponic Conditions at Different pH and Alkalinity. *Horticulturae. Chile, Department of Biological and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, USA*, vol. 3, pp. 41.

Andriolo, J., Luz, G., Witter, M., Godoi, R., Barros, G., Bortolotto, O. (2005). Growth and yield of lettuce plants under salinity. *Hortic. Bras. Depto. Fitotecnia, Santa María, UFSC-Brasilia*, vol. 23, n. 4, pp. 931–934.

Anthura, H.P. (2018). *La influencia del pH en el cultivo*. Disponible en: <https://www.anthura.nl/growing-advise/la-influencia-del-ph-en-el-cultivo/?lang=es>. Consultado: 25/07/2020.

Arano, C. R. (2007). Hidroponía: algunas páginas de su historia. *International Society of Soilless Culture-México*, pp. 10.

Arcos, B., Benavides, O., Rodríguez, M. (2011). Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L. *Universidad de Nariño, San Juan de Pasto-Colombia. Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 28, n. 2, pp. 95–108.

Beltrano, J., Gimenez, D. 2015. *Cultivo en hidroponía*. Primera Edición. Argentina: Universidad Nacional de la plata.

Benavides, A. P. 2014. *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Primera Edición. Lima-Perú: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Campbell, R. (2013). Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the united states. *Southern Cooperative series bulletin, Issue 394*, pp. 85 - 86.

- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Bogotá, Colombia, Revista Agronomía Colombiana*, vol. 27, n. 1, pp. 41-48.
- Carrión Jaramillo, D. (2011). *Proyecto de inversión para la fabricación y comercialización de sustratos para jardines a partir de la cascarilla de arroz*. Facultad de Economía y Ciencias Empresariales, Universidad Espíritu Santo, Samborondón.
- Carsten, R. M. (2017). *Automatización de un cultivo hidropónico NFT para el control de temperatura, riego y mezcla de la solución nutrición, ubicada en la zona urbana de Quito*. Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Casierra Posada, F. (2007). Fotoinhibición: Respuesta fisiológica de los vegetales al estrés por exceso de luz. *UPTC-Colombia, Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 1, n. 1, pp. 114–123.
- Cepeda Guzmán, A., Valdez-Aguila, L.A., Castillo-González, A.M., Ruiz-Torres, N.A., Robledo-Torres, V., Mendoza-Villarreal, R. (2014). Respuestas de lechuga a la conductividad eléctrica con riego superficial y subirrigación. *Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 5, n. 7, pp. 1233–1245.
- Chabla Carillo, J., Sánchez Aguilar, R.R. (2008). *Soluciones nutritivas en lechuga (lactuca sativa l.) utilizando el sistema hidropónico raíz flotante bajo invernadero*. Unidad académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad técnica de Machala-Ecuador, pp. 53.
- Cruz Mendoza, A. (2016). Evaluación de tres variedades del cultivo de lechuga (*lactuca sativa* l.) en dos sistemas de hidroponía bajo ambiente semi controlado en el centro experimental chocloca. *Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija-Bolivia, Revista Ventana Científica*, vol. 7, n. 12, pp. 31.
- Curay, M., Cajo, A., (2016). *Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L), bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas*. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Ambato-Ecuador.
- El Universo. (2009). *Se fomenta plan de cultivos en agua*. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/2009/01/31/1/1416/7B6B6C8AAC014B15AC4717F0727EBB69.html>. Consultado: 16/09/2020.
- Falovo, C., Roupheal, Y., Rea, E., Battistelli, A., Colla, G. (2009). *Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of Lactuca sativa L. var.*

*acephala in floating raft culture*. Università della Tuscia, Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 89, pp. 1682–1689.

Fischer, G., Pérez, C. (2012). Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. *Colombia-Bogotá, Revista de la Facultad de Agronomía*, pp. 15.

Grageda Cabrera, O.A., Díaz Franco, A., Peña Cabriales, J.J., Vera Nuñez, J.A., (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas. Celaya, Guanajuato-México, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 3, n. 6, pp. 1261–1274.

Guerrero, E., Revelo, J., Benavides, O., Chávez, G., Moncayo, C. (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto. *Nariño-Colombia, Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 31, n. 1, pp. 3–16.

Gutiérrez Orrala, F. (2014). *Efecto del sulfato de hierro y ácidos húmicos en la solución nutritiva en la producción de Lechuga (Lactuca sativa var. Crispa L.), bajo hidroponía en Manglaralto*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

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

Gutierrez Tlahque, J. (2011). *Producción hidropónica de Lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva*. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, México.

He, J., Tan, L., Lee, S. (2009). Root-zone temperature effects on photosynthesis, C-photoassimilate partitioning and growth of temperate lettuce (*Lactuca sativa* cv. 'Panama') in the tropics. *Photosynth. Singapore, Natural Sciences and Science Education Academic Group*, vol. 47, n. 1, pp. 95–103.

Hernández Cuauhtémoc, J., Hernández, J. L. (2015). Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (nft). *Naturaleza y desarrollo. México, Transferencia de Tecnología Centro de Biotecnología Genómica del IPN*, vol. 3, n. 1, pp. 11–16.

Herrera, A. L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Chapingo.México, Sociedad mexicana de la Ciencia del suelo, A. C*, vol. 17, n. 3, pp. 221-229.

Hydroenvironment. (2018). *Comercializadora HydroEnvironment*. Disponible en: [https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=101](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=101). Consultado: 21/05/2020.

Hydroenvironment. (2015). *Hidroponía: En que consiste el sistema raíz flotante?*. Disponible en: <http://hidroponia.mx/hidroponia-en-que-consiste-el-sistema-de-raiz-flotante/>. Consultado: 15/07/2020.

Iglesias, N. 2006. *Producción de hortalizas bajo cubierta. Estructura y manejo de cultivo para la Patagonia. Estación experimental Agropecuaria Alto Valle*. Tercera Edición. Río Negro, Argentina.

IICA. 2007. *Lechuga: Guía práctica para la exportación a EE.UU*. primera Edición. Managua, Nicaragua.

INEC. (2016). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) de los periodos 2015 y 2016*. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>. Consultado: 28/07/2020.

INTAGRI. (2017). *La Hidroponía: Cultivos sin Suelo*. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>. Consultado: 21/07/2020.

James E. Faust, (2019). 'Medidor de luz: lightscout'. *Clemson University with the Department of horticulture and Crop Science Ohio State University*.

JoAnn Peery. (2017). *¿Cómo influye la humedad en la calidad de los cultivos?*. Disponible en: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-influye-la-humedad-en-la-calidad-de-los-cultivos/>. Consultado: 21/04/2020.

Leiva, M. (2017). *Car\_hort\_Lechuga*. Disponible en: [http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26474/Car\\_hort\\_Lechuga2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26474/Car_hort_Lechuga2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Consultado: 15/09/2020.

Lema Patiño, D.O. (2017). *Evaluación de tres soluciones nutritivas en hidroponía en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa l.) Var. Crispa, en invernadero, Departamento*

*de Horticultura, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales, Escuela superior Politécnica de Chimborazo.*

López Pérez, G., Heredia Flores, M., (2013). *Producción y comercialización de lechugas y tomates hidropónicos en la ciudad de Guayaquil. Guayaquil.* Facultad de Ciencias Económicas, Universidad católica de Santiago de Guayaquil.

Luna, J. (2017). *Iluminación: Hidroponía al cubo.* Disponible en: <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/iluminacion/>. Consultado: 16/09/2020.

MAG. (2018). *Lechuga se produce de forma hidropónica.* Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/lechuga-se-produce-de-forma-hidroponica/>. Consultado: 15/06/2020.

Martínez, F., Garcés, G. (2010). Crecimiento y producción de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. romana) bajo diferentes niveles de potasio. *Bogotá, Colombia, Revista de Ciencias Hortícolas*, vol. 4, n. 2, pp. 185-198.

Méndez Soto, C. (2015). *Programa de hortalizas de la Universidad de Costa Rica.* Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/av-1816.pdf>. Consultado: 16/08/2020.

Méndez Tomalá, H.A. (2019). *Evaluación de fenología y rendimiento de tomate hidropónico (*lycopersicum esculentum mill*), bajo distintas soluciones nutritivas en clima semiárido.* Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Morales Choez, A. (2019). “*Cultivando lechuga (*Lactuca sativa* L.), bajo condiciones de hidroponía con concentraciones crecientes de una solución nutritiva a nivel de invernadero*”. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Moreno Pérez, E., Sánchez Del Castillo, F., Gutiérrez-Tlaque, J., González-Molina, L., Pineda-Pineda, J., (2015). Greenhouse lettuce production with and without nutrient solution recycling. *Chapingo-México, Revista Chapingo, Serie horticultura*, vol. 21, n. 1, pp. 43–55.

Munns, R., Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Australia, Annual Review of Plant Biology Annu*, vol. 59, n. 1, pp. 651–681.

- Noreña, J.J., Aguilar, P.A., Malagón, E.M.E., Molano, P.J.T., Argüello, O., Arroyave, M.G. 2014. *Corpoica modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el Oriente Antioqueño*. Mosquera, Colombia. Primera Edición.
- Norori, J. (2005). *Determinacion de la concentracion de la solucion nutritiva para crecimiento y produccion de lechuga var. Veronica en hidroponia*. Facultad de Ciencias y Producción Agropecuaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Ojeda Vargas, L.A. (2017). *Evaluación del biofertilizante foliar a base de frutas (Ferti fruit) en la asimilación de nutrientes en la lechuga (Lactuca sativa L.)*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato.
- Orellana Yanza, C. M. (2011). *Evaluación de la producción del cultivo hidropónico de 3 variedades de pimiento (capsicum annum), bajo invernadero en la solución nutritiva La Molina*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca.
- Peada, P. H. ( 2001). *La solución nutritiva, Nutrientes comerciales, fórmulas completas*. Bogotá D. C., Colombia.
- Perez Jimenez, B., (2017). *EE. UU. y España, los países que producen más lechuga en el mundo por m<sup>2</sup>, de los 5 primeros*. Disponible en: <http://www.hortoinfo.es/index.php/5370-prod-mund-lech-060317>. Consultado: 20/10/2020.
- Proain, (2020). *Deficiencias nutrimentales en la producción de lechuga*. Disponible en: <https://proain.com:443/notas/deficiencias-nutrimentales-en-la-produccion-de-lechuga/>. Consultado: 22/08/2020).
- Rendón Ledesma, V. Y. (2012). *Establecimiento del cultivo hidropónico de Lechuga (Lactuca sativa L) variedad Great lakes 188, mediante la utilización de diferentes tipos de sustratos sólidos en la zona de Babahoyo*. Babahoyo. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Babahoyo.
- Reol, E.M. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. Alicante-España, Revista Científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Redaly.org, vol. 12, n. 1, pp. 1-11.
- Resh,, H. 2019. *Agricultura Hidropónica (Agricultura)*. Quinta Edición. Madrid, España.

Ricardo Morales, J., (2019). *Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica (Lactuca sativa L.) en raíz flotante bajo diferentes soluciones nutritivas*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Romero Guevara, C., (2015). Evaluación de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.), sometido a tres dosis de sedimento de la Laguna de Yahuarcocha, cantón Ibarra, provincia de Imbabura. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Técnica de Babahoyo.

Rudloff Ide, A.J. (2018). *Estudio técnico-económico de sistemas hortícolas al aire libre e invernadero, en la comuna de San Pablo, Región de Los Lagos*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile.

Sánchez del Castillo, F., González Molina, L., Moreno Pérez, E., Pineda Pineda, J., Reyes González, E. (2014). Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Departamento de Fitotecnia-México, Universidad Autónoma Chapingo*, vol. 37, n. 3, pp. 216-269.

Sommantico, S. (2017). *Hidroponía: guía práctica para crear tu propio sistema raíz flotante en tu hogar*. Disponible en: <https://www.infocampo.com.ar/hidroponia-guia-practica-para-crear-tu-propio-sistema-de-raiz-flotante-en-tu-hogar/>. Consultado: 18/08/2020.

Storck, J.L., Böttjer, R., Vahle, D., Brockhagen, B., Grothe, T., Dietz, K.-J., Rattenholl, A., Gudermann, F., Ehrmann, A. (2019). Seed Germination and Seedling Growth on Knitted Fabrics as New Substrates for Hydroponic Systems. *Horticulturae, Germany, Directory of open Access Journals (DOAJ)*, vol. 5, n. 4, pp. 73.

Sun, J., Lu, N., Xu, H., Maruo, T., Guo, S. (2016). Root Zone Cooling and Exogenous Spermidine Root-Pretreatment Promoting *Lactuca sativa* L. Growth and Photosynthesis in the High-temperature Season. *Chiba, Japan, Directory of open Access Journals (DOAJ)*, vol. 7, pp. 1-14.

Tarqui Delgado, M., Chipana Rivera, R., Mena Herrera, F.C., Quino Luna, J.J., Tallacagua Terrazas, R., Gutiérrez Villalobos, S. (2017). Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), mediante termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. *San Andrés, Bolivia, Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz*, vol. 4, n. 1, pp. 7-18.

Teixeira, L.D.D., Zottarelli, C.L.A.P., Kimati, H. (2006). Efeito da temperatura no crescimento micelial e patogenicidade de *Pythium* spp. que ocorrem em alface hidropônica. *Sao Paulo, Brasil, Directory of open Access Journals (DOAJ)*, vol. 32, n. 3, pp. 221–226.

Torres, A.P., Lopez, R. (2002). *Medición de Luz Diaria Integrada en Invernaderos*. Departamento de Horticultura y Arquitectura de Áreas Verdes, Purdue University.

Velásquez V., Ruíz E., Chaves J., Luna C. (2014). Productividad de lechuga *Lactuca sativa* en condiciones de macrotúnel en suelo Vitric haplustands. *Juan de Pasto, Colombia, Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 31, n. 2, pp. 93-105.

Yescas Coronado, P., Segura Castruita, M., Orozco Vidal, J., Enríquez Sánchez, M., Sánchez Sandoval, J., Frías Ramírez, J., Montemayor Trejo, J., Preciado Rangel, P. (2011). Uso de diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixiviados en la producción de tomate. *Coahuila, México, Revista Terra Latinoamericana*, vol. 29, n. 4, pp. 441–448.

Yzarra W., Trebejo I., Noriega V. (2009). Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en la costa central del Perú. *Revista GeoAtmosférica RPGA*, pp. 1-10.

Zaden, E. (2000). Catálogo. Disponible en: <https://www.enzazaden.com/es/productos-y-servicios/nuestros-productos/Lettuce/Vizir>. Consultado: 08/03/2020.

Zambrano Mora, A. (2014). *Estudio comparativo de tres genotipos de lechuga (Lactuca sativa L.) cultivadas en tres sistemas de producción hidropónica*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil.

**ANEXOS**

Variables	Paramétrico		Sig	CV (%)	Sistemas						Paramétrico		Sig	CV (%)
	p-value	F			Raíz flotante			Sustrato Inerte			p-value	F		
					T1	T2	T3	T1	T2	T3				
Temperatura	0.968	0.04	NS	2,45%	23.00 a	22.90 a	23.00 a	24.5 a	24.1 a	24.1 a	0.4365	0.91	NS	2.01%
pH	0.012	7.53	*	4.52%	6.04 b	6.67 a	6.79 a	6.80 a	7.00 a	7.01 a	0.5606	0.62	NS	4.37%
Conductividad Eléctrica	<0.0001	153.94	**	4.05%	2.51 a	1.83 b	1.55 c	2.50 a	1.80 b	1.50 c	<0.0001	140.74	**	4.47%

**Tabla 1A. Análisis estadístico de los parámetros químicos de la solución nutritiva en los sistemas de Raíz Flotante y con Sustrato Inerte**

Variables	Paramétrico		CV (%)	Sistemas						Paramétrico		CV (%)
	p-value	F		Raíz Flotante			Sustrato Inerte			p-value	F	
				T1	T2	T3	T1	T2	T3			
Altura de la planta (cm)	<0.0001*	72.75	5.77%	2.55 a	1.85 b	1.6 c	1.62 c	2.45 a	2.06 b	<0.0001*	117.88	3.74%
Número de hojas	0.7674 <sup>NS</sup>	0.27	12.52%	4.5 a	4.5 a	4.25 a	4 a	4.5 a	4.75 a	0.2955 <sup>NS</sup>	1.40	14.62%
Largo de la hoja (cm)	0.3327 <sup>NS</sup>	1.25	14.13%	6.2 a	5.53 a	5.35 a	6.25 b	6.92 ab	7.6 a	0.0524*	4.17	9.55%
Peso fresco follaje (gr)	0.0003*	22.24	8.01%	1.07 a	0.93 b	0.73 c	0.95 b	1.15 ab	1.38 a	0.0134*	7.24	13.65%
Peso fresco raíz (gr)	0.0001*	35.28	7.60%	0.4 a	0.33 b	0.25 c	0.38 b	0.5 a	0.5 a	0.0007*	17.87	7.29%
Peso de la planta (gr)	<0.0001*	116.76	4.23%	1.55 a	1.25 b	0.97 c	1.32 b	1.65 a	1.88 a	0.0029*	11.97	9.89%
Peso seco follaje (gr)	0.0019*	13.53	6.82%	0.07 a	0.07 a	0.05 b	0.05 b	0.06 a	0.07 a	0.0021*	13.31	12.30%
Materia seca follaje (%)	0.0861 <sup>NS</sup>	3.26	8.59%	6.31 a	7.16 a	7.31 a	5.58 a	5.42 a	5.11 a	0.6721 <sup>NS</sup>	0.42	13.89%
Peso seco raíz (gr)	0.1023 <sup>NS</sup>	2.97	9.23%	0.02 a	0.02 a	0.02 a	0.03 ab	0.03 a	0.02 b	0.0102*	7.98	8.48%
Materia seca raíz (%)	0.0019*	13.54	11.35%	4.77 b	4.96 b	6.86 a	6.76 a	5.61 b	4.43 c	0.0011*	16.07	10.37%

**Tabla 2A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 4 ddt**

Variables	Paramétrico		CV (%)	Sistemas						Paramétrico		CV (%)
	p-value	F		Raíz Flotante			Sustrato Inerte			p-value	F	
				T1	T2	T3	T1	T2	T3			
Altura de la planta (cm)	<0.0001*	67.7	5.16%	3.63 a	2.4 c	2.8 b	2.4 b	2.8 a	2.9 a	0.0016*	14.4	5.16%
Número de hojas	0.1843 <sup>NS</sup>	2.05	10.26%	7.25 a	6.5 a	7.5 a	7 a	6.5 a	6.75 a	0.3227 <sup>NS</sup>	1.29	6.53%
Largo de la hoja (cm)	0.8353 <sup>NS</sup>	0.18	9.94%	10.8 a	10.35 a	10.6 a	12.15 a	11.25 a	11.65 a	0.6568 <sup>NS</sup>	0.44	11.63%
Peso fresco follaje(gr)	0.0002*	24.98	8.29%	4.55 b	3.58 c	5.45 a	4.15 a	3.65 b	3.95 ab	0.0178*	6.51	5.03%
Peso fresco raíz (gr)	<0.0001*	42.52	9.64%	1.23 b	1.05 b	1.88 a	1.05 a	1.02 a	1.25 a	0.0490*	4.29	10.74%
Peso de la planta (gr)	0.0001*	35.01	7.75%	5.78 b	4.63 c	7.33 a	5.2 a	4.67 b	5.2 a	0.0197*	6.27	4.82%
Peso seco follaje (gr)	0.0004*	21	8.25%	0.23 a	0.18 b	0.26 a	0.21 a	0.19 a	0.21 a	0.5774 <sup>NS</sup>	0.58	12.56%
Materia seca follaje (%)	0.6159 <sup>NS</sup>	0.51	8.95%	4.93 a	5.06 a	4.75 a	5.04 a	5.22 a	5.18 a	0.8590 <sup>NS</sup>	0.15	9.24%
Peso seco raíz (gr)	0.0002*	26.96	14.31%	0.06 b	0.04 b	0.09 a	0.05 a	0.05 a	0.05 a	0.8168 <sup>NS</sup>	0.21	8.68%
Materia seca raíz (%)	0.2603 <sup>NS</sup>	1.57	9.97%	4.52 a	4.17 a	4.72 a	4.85 ab	5.17 a	4.02 bc	0.0120*	7.52	9.25%

**Tabla 3A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 8 ddt**

Variables	Paramétrico		CV (%)	Sistemas						Paramétrico		CV (%)
	p-value	F		Raíz Flotante			Sustrato Inerte			p-value	F	
				T1	T2	T3	T1	T2	T3			
Altura de la planta (cm)	0.8919 <sup>NS</sup>	0.12	14.34%	4.75 a	4.8 a	4.97 a	5 a	4 b	4.45 ab	0.0500*	4.09	11.05%
Número de hojas	0.0121*	7.50	9.13%	8.75 b	10 ab	11.25 a	10.5 a	8.75 a	9.25 a	0.0776 <sup>NS</sup>	3.44	10.23%
Largo de la hoja (cm)	0.0705 <sup>NS</sup>	3.61	8.85%	14.88 a	12.63 a	13.38 a	13.6 a	13.85 a	14.6 a	0.2581 <sup>NS</sup>	1.58	5.91%
Peso fresco follaje (gr)	<0.0001*	163.63	3.06%	16.1 b	14.3 c	20.77 a	10.88 a	9.6 b	10.82 a	0.0012*	15.71	3.49%
Peso fresco raíz (gr)	0.0001*	34.01	5.75%	3.15 b	2.75 c	3.83 a	1.95 a	1.63 b	1.57 b	0.0098*	8.07	8.35%
Peso de la planta (gr)	<0.0001*	251.87	2.41%	19.25 b	17.05 c	24.6 a	12.82 a	11.22 b	12.4 a	0.0025*	12.52	3.86%
Peso seco follaje (gr)	0.0006*	18.5	9.83%	0.76 b	0.63 b	0.96 a	0.5 a	0.44 a	0.49 a	0.2620 <sup>NS</sup>	1.56	9.87%
Materia seca follaje (%)	0.5632 <sup>NS</sup>	0.61	7.99%	4.63 a	4.69 a	4.42 a	4.48 a	4.62 a	4.61 a	0.8098 <sup>NS</sup>	0.22	7.35%
Peso seco raíz (gr)	<0.0001*	44.23	8.71%	0.12 b	0.11 b	0.18 a	0.08 a	0.07 ab	0.06 b	0.0238*	5.82	15.00%
Materia seca raíz (%)	0.0163*	6.73	9.53%	3.84 b	4 b	4.82 a	4.2 ab	4.58 a	3.59 b	0.0420*	4.60	11.23%

**Tabla 4A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 12 ddt**

Variables	Paramétrico		CV (%)	Sistemas						Paramétrico		CV (%)
	p-value	F		Raíz Flotante			Sustrato Inerte			p-value	F	
				T1	T2	T3	T1	T2	T3			
Altura de la planta (cm)	0.9617 <sup>NS</sup>	0.004	10.00%	6.99 a	6.88 a	7 a	6.55 a	6.25 a	5.9 a	0.3245 <sup>NS</sup>	1.28	9.23%
Número de hojas	0.2862 <sup>NS</sup>	1.44	14.72%	15.5 a	18 a	15.5 a	14.25 a	15.75 a	14 a	0.3019 <sup>NS</sup>	1.37	11.02%
Largo de la hoja (cm)	0.856 <sup>NS</sup>	0.16	7.27%	17.6 a	17.23 a	17.13 a	17 a	17.52 a	15.72 a	0.0894 <sup>NS</sup>	3.19	6.18%
Peso fresco follaje (gr)	0.3051 <sup>NS</sup>	1.36	10.49%	37.05 a	41.27 a	37.35 a	29.93 a	31.43 a	28.7 a	0.4253 <sup>NS</sup>	0.94	9.37%
Peso fresco raíz (gr)	0.0021 <sup>*</sup>	13.2	10.96%	4.4 b	6.47 a	5.08 b	2.25 a	2.3 a	1.85 a	0.0833 <sup>NS</sup>	3.32	12.69%
Peso de la planta (gr)	0.1349 <sup>NS</sup>	2.52	9.73%	41.45 a	47.75 a	42.42 a	32.17 a	33.73 a	30.55 a	0.3586 <sup>NS</sup>	1.15	9.20%
Peso seco follaje (gr)	0.4381 <sup>NS</sup>	0.91	10.97%	1.6 a	1.67 a	1.5 a	1.31 a	1.41 a	1.28 a	0.5146 <sup>NS</sup>	0.72	12.05%
Materia seca follaje (%)	0.4085 <sup>NS</sup>	0.99	8.28%	4.05 a	4.02 a	4.33 a	4.47 a	4.38 a	4.48 a	0.8767 <sup>NS</sup>	0.13	7.12%
Peso seco raíz (gr)	0.0001 <sup>*</sup>	29.99	4.88%	0.15 b	0.2 a	0.19 a	0.08 a	0.08 a	0.06 a	0.0527 <sup>NS</sup>	4.15	14.02%
Materia seca raíz (%)	0.0675 <sup>NS</sup>	3.69	10.69%	3.54 a	3.61 a	3.83 a	3.5 a	3.53 a	3.44 a	0.7627 <sup>NS</sup>	0.28	10.49%

**Tabla 5A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 16 ddt**

Variables	Paramétrico		CV (%)	Sistemas						Paramétrico		CV (%)
	p-value	F		Raíz Flotante			Sustrato Inerte			p-value	F	
				T1	T2	T3	T1	T2	T3			
Altura de la planta (cm)	0.8805 <sup>NS</sup>	0.13	8.09%	9.25 a	9 a	9.05 a	8.13 a	7.75 a	7.38 a	0.576 <sup>NS</sup>	0.59	12.63%
Número de hojas	0.9869 <sup>NS</sup>	0.01	10.72%	23.5 a	23.25 a	23.5 a	18.25 a	17.5 a	17.75 a	0.6693 <sup>NS</sup>	0.42	6.61%
Largo de la hoja (cm)	0.3334 <sup>NS</sup>	1.24	4.60%	19.70 a	19.15 a	19.55 a	18.75 a	18.57 a	17.77 a	0.2712 <sup>NS</sup>	1.51	4.60%
Peso fresco follaje (gr)	0.3186 <sup>NS</sup>	1.3	12.80%	81.95 a	91.65 a	94.35 a	67.25 a	63.6 a	60.27 a	0.4807 <sup>NS</sup>	0.8	12.28%
Peso fresco raíz (gr)	0.1014 <sup>NS</sup>	2.98	10.34%	7.42 a	8.75 a	7.65 a	7.95 a	5.8 b	5.63 b	0.0068 <sup>*</sup>	9.15	13.26%
Peso de la planta (gr)	0.3226 <sup>NS</sup>	1.29	12.46%	89.38 a	100.4 a	102 a	75.2 a	69.4 a	65.9 a	0.3004 <sup>NS</sup>	1.38	11.40%
Peso seco follaje (gr)	0.2277 <sup>NS</sup>	1.75	6.52%	3.15 a	3.28 a	3.43 a	2.86 a	2.78 a	2.29 b	0.0038 <sup>*</sup>	11.02	6.92%
Materia seca follaje (%)	0.2959 <sup>NS</sup>	1.4	14.41%	4.02 a	3.8 a	3.39 a	3.81 a	4.32 a	4.37 a	0.0899 <sup>NS</sup>	3.19	8.26%
Peso seco raíz (gr)	0.0002 <sup>*</sup>	25.45	6.47%	0.24 b	0.33 a	0.31 a	0.27 a	0.2 b	0.18 b	0.0008 <sup>*</sup>	17.25	10.35%
Materia seca raíz (%)	0.0597 <sup>NS</sup>	3.92	10.54%	3.26 a	3.60 a	3.80 a	3.4 a	3.46 a	3.3 a	0.7846 <sup>NS</sup>	0.25	9.69%

**Tabla 6A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 20 ddt**

Variables	Paramétrico		CV (%)	Sistemas						Paramétrico		CV (%)
	p-value	F		Raíz Flotante			Sustrato Inerte			p-value	F	
				T1	T2	T3	T1	T2	T3			
Altura de la planta (cm)	0.0291*	5.38	7.55%	11.63 a	10.05 b	10 b	10.63 a	9.7 a	8.8 a	0.2513 <sup>NS</sup>	1.62	14.79%
Número de hojas	0.3121 <sup>NS</sup>	1.33	9.28%	27.75 a	25 a	27 a	23.5 a	20.75 a	20.5 a	0.0869 <sup>NS</sup>	3.24	8.56%
Largo de la hoja (cm)	0.7601 <sup>NS</sup>	0.28	3.32%	20.15 a	19.75 a	20.02 a	20 a	18.93 a	19.1 a	0.4056 <sup>NS</sup>	1.00	5.97%
Peso fresco follaje (gr)	0.491 <sup>NS</sup>	0.77	13.19%	115.92 a	106.35 a	118.97 a	116.03 a	86.55 b	80.72 b	0.0004*	21.81	8.58%
Peso fresco raíz (gr)	0.9832 <sup>NS</sup>	0.02	10.51%	13.25 a	13.2 a	13.07 a	12.57 a	11.19 a	12.02 a	0.4728 <sup>NS</sup>	0.82	12.99%
Peso de la planta (gr)	0.5299 <sup>NS</sup>	0.68	12.49%	129.18 a	119.55 a	132.05 a	128.6 a	97.73 b	92.74 b	0.0007*	18.2	8.56%
Peso seco follaje (gr)	0.2518 <sup>NS</sup>	1.61	8.48%	3.92 a	3.72 a	4.14 a	4.45 a	3.52 b	3.02 b	0.001*	16.25	9.83%
Materia seca follaje (%)	0.4098 <sup>NS</sup>	0.99	8.98%	3.54 a	3.59 a	3.3 a	3.75 a	3.86 a	4.1 a	0.3176 <sup>NS</sup>	1.31	8.16%
Peso seco raíz (gr)	0.0181*	6.47	7.86%	0.4 b	0.46 ab	0.49 a	0.43 a	0.36 a	0.35 a	0.0936 <sup>NS</sup>	3.12	12.89%
Materia seca raíz (%)	0.0583 <sup>NS</sup>	3.96	9.91%	3.08 a	3.52 a	3.74 a	3.37 a	3.25 a	2.92 a	0.2148 <sup>NS</sup>	1.83	10.75%

**Tabla 7A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 24 ddt**

Variables	Paramétrico		CV (%)	Tratamientos		
	p-value	F		S. sustrato + SN 100%	S. sustrato + SN 75%	S. sustrato + SN 50%
Altura de la planta (cm)	0.0088*	8.38	7.42%	11.38 a	9.88 b	9.25 b
Largo de la hoja (cm)	0.0044*	10.50	3.69%	20.75 a	18.63 b	18.88 b
Número de hojas	0.5647 <sup>NS</sup>	0.61	10.53%	26.5 a	25 a	24.5 a
Peso fresco follaje (gr)	0.004*	10.82	10.33%	168.63 ab	192.38 a	136.28 b
Peso fresco raíz (gr)	0.0109*	7.77	14.15%	16.9 b	25.2 a	21.02 ab
Peso de la planta (gr)	0.0058*	9.62	10.41%	185.53 ab	217.57 a	157.3 b
Peso seco follaje (gr)	0.0322*	5.15	8.68%	5.60 ab	6.18 a	5.08 b
Materia seca follaje (%)	0.0007*	17.82	3.67%	3.33 b	3.22 b	3.73 a
Peso seco raíz (gr)	0.0077*	8.77	4.55%	0.56 b	0.63 a	0.56 b
Materia seca raíz (%)	0.0466*	4.39	14.77%	3.37 a	2.51 b	2.73 ab

**Tabla 8A. Evaluación de Lechuga hidropónica en dos sistemas de producción a los 28 ddt**

Día	Fecha	Klx: 9:00 am	Klx: 3:00 pm	Lux/Día	LDI
1	06/11/2019	5.47	12.87	9170.00	15.85
2	07/11/2019	15.40	19.40	17400.00	30.07
3	08/11/2019	10.48	7.87	9175.00	15.85
4	09/11/2019	13.71	10.08	11895.00	20.55
5	10/11/2019	9.87	17.30	13585.00	23.47
6	11/11/2019	7.67	11.36	9515.00	16.44
7	12/11/2019	9.15	5.42	7285.00	12.59
8	13/11/2019	20.20	6.05	13125.00	22.68
9	14/11/2019	9.80	10.49	10145.00	17.53
10	15/11/2019	11.93	15.20	13565.00	23.44
11	16/11/2019	9.13	8.42	8775.00	15.16
12	17/11/2019	5.63	5.98	5805.00	10.03
13	18/11/2019	8.12	13.10	10610.00	18.33
14	19/11/2019	11.70	61.90	36800.00	63.59
15	20/11/2019	11.08	13.41	12245.00	21.16
16	21/11/2019	8.76	6.44	7600.00	13.13
17	22/11/2019	5.15	12.26	8705.00	15.04
18	23/11/2019	3.30	11.44	7370.00	12.74
19	24/11/2019	7.30	10.62	8960.00	15.48
20	25/11/2019	9.28	10.60	9940.00	17.18
21	26/11/2019	11.44	16.30	13870.00	23.97
22	27/11/2019	13.70	36.54	25120.00	43.41
23	28/11/2019	19.57	56.30	37935.00	65.55
24	29/11/2019	11.62	26.57	19095.00	33.00
25	30/11/2019	3.67	13.15	8410.00	14.53
26	01/12/2019	5.28	12.84	9060.00	15.66
27	02/12/2019	8.90	16.50	12700.00	21.95
28	03/12/2019	14.75	2.64	8695.00	15.02
<b>Promedio</b>					<b>22.62</b>

**Tabla 9A. Datos de Radiación**

Variables	Paramétrico		Sig.	CV (%)	Sustrato Inerte		
	p-value	F			T1	T2	T3
Temperatura	0.9704	0.03	NS	3.64%	25.26 a	25.42 a	25.36 a
pH	0.1569	2.29	NS	4.17%	7.86 a	8.08 a	8.37 a
CE	<0.0001	53.92	*	7.12%	4.91 a	3.61 b	2.95 c

**Tabla 10A. Análisis estadístico de los parámetros químicos de la solución nutritiva del drenaje en sistema con Sustrato Inerte**

Tratamientos	Paramétrico		CV (%)	Sistemas						Paramétrico		CV (%)
	p-value	F		Raíz flotante			Sustrato Inerte			p-value	F	
				T1	T2	T3	T1	T2	T3			
Peso/planta (gr)	0.5299	0.68	12.49%	129.18 a	119.55 a	132.05 a	185.53 ab	217.57 a	157.3 b	0.0058	9.62	10.41%
Producción en Kg m <sup>-2</sup>	0.4469	0.88	10.96%	4.13 a	3.83 a	4.23 a	6.03 b	7.07 a	5.11 c	0.0003	22.99	6.74%

Tabla 11A. Rendimiento de lechuga hidropónica en tres concentraciones de solución nutritiva bajo dos sistemas de producción

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m <sup>2</sup> /day	mm/day
January	23.1	27.4	81	328	2.7	13.4	3.39
February	23.8	28.4	82	285	3.4	14.8	3.60
March	23.4	28.7	84	294	4.5	16.6	3.79
April	22.5	27.7	83	277	5.6	17.5	3.78
May	22.1	26.1	83	320	4.3	14.7	3.29
June	20.9	24.4	84	346	2.5	11.6	2.76
July	19.7	22.9	85	354	2.6	11.9	2.63
August	19.4	22.8	88	337	3.4	13.8	2.60
September	19.3	23.0	86	346	3.5	14.7	2.89
October	19.9	23.2	85	363	1.1	11.2	2.57
November	20.7	23.9	84	354	1.7	11.9	2.79
December	21.6	25.5	83	354	1.6	11.5	2.88
<b>Average</b>	<b>21.4</b>	<b>25.3</b>	<b>84</b>	<b>330</b>	<b>3.1</b>	<b>13.6</b>	<b>3.08</b>

Figura 1A. Calculo de la ETo en Cropwat



**Figura 2A. Siembra de semillas**



**Figura 3A. Plántulas de lechuga 1ra semana después de la siembra**



**Figura 4A. Plántulas de lechuga 3ra semana después de la siembra**



**Figura 7A. Lavado de plántulas y preparación de unidades experimentales para el trasplante**



**Figura 5A. Trasplante de lechuga en el sistema de Raíz Flotante (Izquierda) y con Sustrato Inerte (Derecha)**



**Figura 6A. Preparación de solución madre**



Figura 9A. Medición de las variables climáticas con ayuda del termohigrómetro (Izquierda) y luxómetro (Derecha) fuera y dentro de la infraestructura



Figura 10A. Medición de los parámetros químicos de la solución nutritiva (pH, T° C y CE)



Figura 8A. Cultivo de lechuga a los 20 ddt en sistema de Raíz Flotante (Izquierda) y con Sustrato Inerte (Derecha)



**Figura 13A. Muestreo de las plantas de lechugas en Raíz Flotante a los 24 ddt (Izquierda) y en Sustrato Inerte a los 28 ddt (Derecha)**



**Figura 11A. Peso seco de la parte radicular y aérea de la planta**



**Figura 12A. Sistema radicular en Raíz Flotante a los 5 ddt (Izquierda) y 22 ddt (Derecha)**