



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

**EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LECHUGA
HIDROPÓNICA (*Lactuca sativa* L.) EN RAÍZ
FLOTANTE BAJO DIFERENTES SOLUCIONES
NUTRITIVAS**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Joselyn Jeniffer Ricardo Morales.

La Libertad, 2019



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

**EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LECHUGA
HIDROPÓNICA (*Lactuca sativa* L.) EN RAÍZ
FLOTANTE BAJO DIFERENTES SOLUCIONES
NUTRITIVAS**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Joselyn Jeniffer Ricardo Morales.

Tutor: Ing. Rosa Elena Pertierra Lazo, PhD.

La Libertad, 2019

TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Néstor Orrala, PhD.
DECANO DE LA FACULTAD



Ing. Andrés Drouet Candell, MSc.
DIRECTOR DE ESCUELA



Ing. Daniel Ponce de León, PhD.
PROFESOR DEL ÁREA



Ing. Rosa Pertierra, PhD.
PROFESOR TUTOR



Abg. Victor Coronel Ortiz, Mgt.
SECRETARIA GENERAL



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este momento y darme salud y fortaleza para lograr mis objetivos.

A mis padres por apoyarme siempre y estar presente en los buenos y malos momentos de mi vida, por sus consejos y valores que hicieron de mí una persona responsable y honesta, por animarme a seguir adelante durante mi formación profesional.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, de la facultad de Ciencias Agrarias por permitirme formar parte de esta prestigiosa casa de saberes. Junto con esto agradezco a los docentes que durante mi periodo académico me impartieron su conocimiento y profesionalismo.

A la Ing. Rosa Pertierra Lazo, PhD., por su enseñanza, asesoría, paciencia y todo el tiempo que me dedicó a realizar esta investigación y permitirme tomar como ejemplo su experiencia, lo cual ha sido una iniciativa y motivación para culminar el trabajo de titulación.

Finalmente agradezco a mis amigos especialmente aquellos que estuvieron involucrados en el grupo hidroponía, por su apoyo moral y ayudarme en el trabajo de investigación.

Jeniffer Ricardo Morales

DEDICATORIA

A mis padres Ruperto Ricardo Suárez y Rita Morales Orrala, quienes me brindaron su apoyo incondicional, moral y económico, sin duda ellos son parte fundamental en mi vida y gracias a su esfuerzo y dedicación hicieron posible que hoy culmine una etapa más de mis estudios como profesional.

A mis hermanos quienes me acompañaron y me apoyaron en este trayecto, siendo una motivación para seguir adelante.

A toda mi familia porque de una u otra manera estuvieron conmigo aconsejándome incentivándome a luchar cada día por mis sueños y metas.

Jeniffer Ricardo Morales

RESUMEN

La Península de Santa Elena considerada como una zona semiárida presenta dificultades en el aprovechamiento de sus condiciones climáticas como déficit hídrico, suelos salinos, degradados y/o contaminados. La hidroponía se presenta como una alternativa de producción ante dicha problemática. La lechuga es el principal cultivo hidropónico a nivel mundial y nacional, pero debido a su condición de planta de estación fría es importante evaluar su factibilidad técnica antes de recomendar su uso en este sistema productivo que requiere de una alta inversión económica. El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento agronómico de un cultivo protegido de lechuga hidropónica cv. Crespa sometida a tres soluciones nutritivas: Hoagland/Arnon, Sonneveld/Voogt y Steiner, con cuatro réplicas y 20 plantas por unidad experimental, en promedio de todos los cultivos realizados. Se repitió el cultivo en cuatro oportunidades entre los meses de enero a mayo del 2018 para determinar la consistencia de los datos. La plantación de lechuga se realizó bajo el sistema de raíz flotante en tresbolillo con un distanciamiento 0,2 x 0,17 m entre plantas. Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño de bloques completo al azar, para la evaluación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 95% de confianza. Las variables evaluadas fueron: número y longitud de hojas, peso y altura planta, largo de raíz, peso fresco y seco de la parte aérea y radicular y porcentaje de materia seca. Los resultados indican que bajo los tres niveles de fertilización, como promedio de las cuatro épocas de plantación, las plantas alcanzaron un promedio de 131.8 g por debajo de los 150 g considerado el peso comercial. La formulación fertilizante Hoagland y Arnon alcanzó los mejores resultados en todas las variables evaluadas con 142.8 g planta⁻¹, 23 hojas planta⁻¹, 22.2 cm de largo de hoja, 6.77% y 4.88% de materia seca foliar y radicular. Esta solución fertilizante se perfiló como la más adecuada, dentro de las cuatro épocas evaluadas, para el cultivo de lechuga hidropónica bajo las condiciones agroclimáticas de la península de Santa Elena.

Palabras claves: Cultivo sin suelo, nutrición vegetal, soluciones nutritivas.

ABSTRACT

The Santa Elena Peninsula considered as a semi-arid zone presents difficulties in taking advantage of its climatic conditions such as water deficit, saline soils, degraded and/or polluted. Hydroponics is presented as a production alternative to this problem. Lettuce is the main hydroponic crop worldwide and nationally but due to its condition as a cold season plant it is important to evaluate its technical feasibility before recommending its use in this productive system that requires high economic investment. The objective of this research was to evaluate the agronomic behavior of a protected crop of hydroponic lettuce cv. Crespa subjected to three nutritive solutions: Hoagland / Arnon, Sonneveld / Voogt and Steiner, with four replications and 20 plants per experimental unit, on average of all the crops grown. The crop was repeated four times between the months of January to May of 2018 to determine the consistency of the data. The plantation of lettuce was carried out under the floating root system in quincunx with a distance of 0.2 x 0.17 m between plants. The treatments were distributed under a randomized complete block design, for the evaluation of means, the Tukey test was used at 95% confidence. The variables evaluated were: number and length of leaves, weight and height of the plant, root length, fresh and dry weight of the area and radicular part and percentage of dry matter. The results indicate that under the three levels of fertilization, as an average of the four seasons of planting, the plants reached an average of 131.8 g below the 150 g considered the commercial weight. However, the fertilizer formulation Hoagland and Arnon achieved the best results in all the variables evaluated with 142.8 g plant⁻¹, 23 plant⁻¹ leaves, 22.2 cm leaf length, 6.77% and 4.88% of foliar and radicular dry matter. This fertilizer solution was profiled as the most appropriate, within the four seasons evaluated, for the cultivation of hydroponic lettuce under the agroclimatic conditions of the Santa Elena peninsula.

Keywords: Soilless cultivation, plant nutrition, nutritive solutions.

**El contenido del presente trabajo de titulación es de nuestra responsabilidad,
el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal
Península de Santa Elena.**

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Problema científico	2
Hipótesis.....	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1. Generalidades de la lechuga.....	4
1.1.1. Origen del cultivo	4
1.1.2. Características.....	4
1.1.3. Variedades de lechuga.....	5
1.1.4. Composición nutricional	6
1.2. Hidroponía.....	6
1.2.1. Definición.....	6
1.2.2. Ventajas y desventajas en hidroponía.....	7
1.2.3. Sistemas de cultivos sin suelo	7
1.2.4. Sistemas en agua.....	10
1.2.5. Sistemas en sustrato inerte.....	11
1.3. Solución nutritiva	11
1.3.1. Elementos de la solución nutritiva	11
1.3.2. Formulación de sales minerales solubles	12
1.3.3. Soluciones nutritivas usadas en hidroponía.....	12
1.3.4. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva	13
1.3.5. Potencial de hidrógeno de la solución nutritiva	14
1.3.6. Temperatura de la solución nutritiva.....	15
2. MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1. Ubicación y descripción del sitio experimental	17
2.2. Característica del agua	17
2.3. Materiales y equipos	18
2.3.1. Materiales	18
2.3.2. Equipos.....	18

2.4. Material genético.....	19
2.5. Infraestructura	19
2.6. Clima.....	20
2.6.1. Temperatura, humedad relativa y radiación	20
2.6.2. Grados días acumulados (GDA).....	20
2.6.3. Luz diaria integrada (LDI).....	21
2.6.4. Relación fototérmica (PTR)	21
2.7. Parámetros de la solución nutritiva	22
2.8. Diseño experimental.....	22
2.9. Delineamiento experimental	23
2.10. Tratamientos.....	24
2.11. Manejo del experimento.....	25
2.11.1. Semillero.....	25
2.11.2. Solución nutritiva	26
2.11.3. Controles fitosanitarios.....	26
2.11.4. Cosecha.....	26
2.12. Variables experimentales	27
2.12.1. Fenología	27
2.12.2. Rendimiento (g).....	28
2.12.3. Análisis foliar	28
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
3.1. Variables climáticas	28
3.2. Determinación de Grados Días	30
3.3. Determinación de luz diaria integrada	31
3.4. Solución nutritiva.....	32
3.5. Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica	37
3.6. Cosecha de lechuga hidropónica.....	44
3.7. Análisis foliar	52
3.8. Consumo de agua	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
Conclusiones	54
Recomendaciones.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción botánica de la lechuga.....	4
Tabla 2. Composición nutricional de la lechuga	6
Tabla 3. Masa molecular de iones presentes en la solución nutritiva	11
Tabla 4. Fórmula química y solubilidad de las sales minerales.....	12
Tabla 5. Rangos de concentraciones de los nutrimentos según diversos autores .	13
Tabla 6. Niveles de respuesta por cultivo a la conductividad eléctrica	14
Tabla 7. Niveles adecuados de pH para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.	15
Tabla 8. Relación entre la temperatura de agua y oxígeno	15
Tabla 9. Características geográficas y climáticas del sitio experimental.....	17
Tabla 10. Características químicas del agua utilizada	17
Tabla 11. Distribución de los grados de libertad.....	22
Tabla 12. Composición química macronutrientes (mMol/L).....	24
Tabla 13. Composición química para macronutrientes (g L ⁻¹)	25
Tabla 14. Composición química para micronutrientes (mg L ⁻¹)	25
Tabla 15. Fechas de establecimiento y cosecha de cada tratamiento y ciclo de cultivo de lechuga	27
Tabla 16. Temperatura, humedad relativa y radiación en diferentes épocas de plantación (2018) de un cultivo protegido de lechuga hidropónica bajo condiciones de raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena. ..	29
Tabla 17. Luz diaria integrada (LDI) en diferentes épocas de plantación de lechuga cv. Crespa.	32
Tabla 18. Evaluación de parámetros químicos en las soluciones fertilizante en un cultivo de lechuga hidropónica, en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.....	36
Tabla 19. Evaluación del oxígeno disuelto en la solución fertilizante.....	37
Tabla 20. Efectos de las soluciones fertilizantes sobre las variables tomadas a cosecha de la planta de lechuga cv. Crespa, cultivado entre enero y mayo del 2018, en la provincia de Santa Elena.	51
Tabla 21. Efectos de las soluciones fertilizantes sobre las concentraciones de nutrientes y metales pesados en la lechuga cv. Crespa, expresado en porcentaje.	52

Tabla 22. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el consumo de agua en el cultivo de lechuga cv. Crespa.....	53
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de los cultivos sin suelo.	8
Figura 2. Sistemas de producción en cultivos sin suelo.	9
Figura 3. Disponibilidad de nutrientes en función del pH.	15
Figura 4. Distribución de los tratamientos y repeticiones.	23
Figura 5. Distribución de las plantas en la plancha de espumafon.	24
Figura 6. Acumulación de grados días (GDA) en diferentes épocas de plantación determinada por el método Ometto, en el cultivo de lechuga hidropónica cv. Crespa, en el sistema raíz flotante con recirculación.	31
Figura 7. Comportamiento de luz diaria integrada (LDI) bajo diferentes épocas de plantación, en el cultivo de lechuga cv. Crespa, en el sistema raíz flotante (provincia de Santa Elena).	32
Figura 8. Dinámica de la temperatura de las soluciones fertilizantes en cultivos de lechuga hidropónica (raíz flotante con recirculación) cv. Crespa, en la provincia de Santa Elena.	33
Figura 9. Dinámica del potencial de hidrógeno (pH) de las soluciones fertilizante en cultivos de lechuga hidropónica cv. Crespa, en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	35
Figura 10. Dinámica de la conductividad eléctrica (CE) de las soluciones fertilizantes, en un cultivo de lechuga hidropónica cv. Crespa, en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	36
Figura 11. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el número y largo de hoja de la planta de lechuga cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	38
Figura 12. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre peso fresco follaje y raíz de la planta de lechuga cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	39
Figura 13. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el peso seco del follaje y raíz de la planta de lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	40

Figura 14. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la materia seca del follaje y raíz de la planta de lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	41
Figura 15. Análisis de regresión para la relación entre la variable peso fresco y seco de follaje y los grados días acumulados en lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	43
Figura 16. Análisis de regresión para la relación entre la variable peso fresco y seco de follaje y la Relación fototérmica acumulada en lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	44
Figura 17. Rendimiento de lechuga hidropónica (raíz flotante) cv. Crespa bajo las diferentes soluciones fertilizantes, entre los meses de enero a junio del 2018 en la provincia de Santa Elena.	48
Figura 18. Rendimiento de lechuga hidropónica cv. Crespa bajo cuatro épocas de plantación (2018) en un cultivo de raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla 1A. Prueba estadística de la luz diaria integrada (LDI) en diferentes épocas de plantación de lechuga cv. Crespa.

Tabla 2A. Prueba estadística de los parámetros químicos promedio de los ciclos del cultivo de lechuga cv. Crespa.

Tabla 3A. Prueba estadística del oxígeno disuelto de las soluciones fertilizantes en el cultivo de lechuga cv. Crespa

Tabla 4A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 15 DDT (enero).

Tabla 5A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 15 DDT (marzo).

Tabla 6. Evaluación de lechuga hidropónica a los 5 DDT (mayo).

Tabla 7A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 12 DDT (mayo).

Tabla 8A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 19 DDT (mayo).

Tabla 9A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 25 DDT (mayo).

Tabla 10A. Efectos de las soluciones fertilizantes sobre las variables tomadas a cosecha de la planta de lechuga hidropónica.

Tabla 11A. Variables tomadas a cosecha de la planta de lechuga hidropónica bajo cuatro épocas de plantación.

Figura 1A. Infraestructura del invernadero.

Figura 2A. Acondicionamiento de los contenedores de madera.

Figura 3A. Estanques de 500 litros.

Figura 4A. Soluciones concentradas macronutrientes, micronutrientes y calcio.

Figura 5A. Pregerminación de semillas de lechuga.

Figura 6A. Siembra de semilla pregerminada.

Figura 7A. Plántulas de lechuga de la 3ra y 4ta semana después de la siembra.

Figura 8A. Trasplante de lechuga en el sistema raíz flotante.

Figura 9A. Mediciones de parámetros químicos (CE, pH y temperatura).

Figura 10A. Muestreo de las plantas de lechuga (1ra semana).

Figura 11A. Muestreo de las plantas de lechuga (3ra y 4ta semana).

Figura 12A. Cosecha del cultivo de lechuga hidropónica.

Figura 13A. Identificación de las plantas evaluadas.

Figura 14A. Peso fresco y seco de la parte foliar y radicular de la planta.

Figura 15A. Ensayo del cultivo de lechuga hidropónica en el sistema raíz flotante.

Figura 16A. Temperatura mínimas y máximas registrada en la zona del ensayo entre los meses de enero y junio en el interior y exterior de la nave bajo el sistema raíz flotante.

Figura 17A. Humedad relativa mínimas y máximas registrada en la zona del ensayo entre los meses de enero y junio en el interior y exterior de la nave bajo el sistema raíz flotante.

Figura 18A. Radiación medida a las 8:00 y 14:00 hrs registrada en la zona del ensayo entre los meses de enero y junio en el interior y exterior de la nave bajo el sistema raíz flotante.

INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca Sativa L.*), a nivel mundial es la cuarta especie de mayor importancia, debido al incremento de producción por superficie y consumo. El principal país productor de lechuga es China ocupando el 77% de producción, seguido de EE. UU, India, España e Italia, según la FAO (2014).

Los principales cultivos establecidos en hidroponía son: tomate, lechuga, pimiento y pepino. A nivel mundial se estima que los cultivos hidropónicos generan ingresos por 821 millones de dólares con un crecimiento anual de 4.5% (IBISWORLD, 2016). En Sudamérica, la lechuga representa el 49% de la superficie hidropónica (INTAGRI, 2017).

Según Solorzano y Bastidas (2014), esta hortaliza se la consume cruda como típica ensalada. Es muy codiciada en la dieta moderna por su bajo contenido calórico, alto contenido de agua, minerales, vitaminas y fibra. La lechuga se cultiva en casi todo el mundo bajo diferentes sistemas, ya sea al aire libre o en invernaderos siendo un cultivo cosmopolita (Saavedra, 2017).

En Ecuador la producción de lechuga se está proyectando con éxito en los mercados locales cuya demanda ha crecido en los últimos años (Ortega *et al.*, 2013). En el país hay 1.278 hectáreas con un rendimiento promedio de 7.92 t ha⁻¹. La lechuga criolla (var. crispera) constituye el 70% de la producción local, mientras el 30% corresponde al tipo romana (var. longifolius) y crespita (var. acephala), tanto verde como roja (MAGAP, 2012).

De conformidad con Villacís y Peña (2014), el cultivo se concentra más en las provincias de Azuay, Pichincha, Tungurahua y Loja donde las temperaturas oscilan entre los 15 a 20 °C. La empresa Green Lab, la mayor de las especializadas en cultivos hidropónicos, produce 30 toneladas de lechuga por mes, su producción es empacada y trasladada a los supermercados de la corporación Favorita y Mi Comisariato (Briones *et al.*, 2014).

En la Península de Santa Elena se caracteriza por ser una zona semiárida con un alto potencial agrícola por su condición de climática. Pero la gran limitante del desarrollo agroindustrial, siempre ha sido la disponibilidad del recurso hídrico, además de los suelos salinos degradados y/o contaminados. Aquí la producción de lechuga no se da a escala comercial debido a su condición de planta de estación fría.

La actual construcción del proyecto Chongón - San Vicente el cual trasvasa agua del río Daule no abastece la irrigación suficiente en las zonas con mayor potencial agrícola, teniendo sembrado apenas el 15% del área influenciada (Troya, 2014). Esta temática provoca una serie de programas y estudios que incentiven proyectos de desarrollo agrícola, teniendo como eje la actual disponibilidad del recurso hídrico.

El cultivo de lechuga es muy sensible al déficit hídrico por su sistema radicular poco profundo, exigiendo niveles hídricos en suelo cercano a capacidad de campo. Esto lleva al productor a la aplicación continua de agua que, en la mayoría de casos resulta ser superior a sus necesidades.

La hidroponía se presenta como una alternativa de producción antes las dificultades mencionadas. Su principal ventaja es la eficiencia de agua y el incremento de producción por unidad de superficie. Sin embargo, es importante evaluar su factibilidad técnica antes de recomendar la implementación de este sistema productivo, el cual requiere de una alta inversión económica.

PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cuál es el comportamiento agronómico del cultivo de lechuga hidropónica en un clima semiárido antes diferentes soluciones nutritivas?

HIPÓTESIS

Existe una formulación ideal para alcanzar el óptimo desarrollo fenológico y de rendimiento comercial en lechuga hidropónica bajo condiciones de clima semiárido.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento agronómico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en respuesta a diferentes soluciones fertilizantes bajo un sistema hidropónico cerrado en raíz flotante en condiciones semiárida.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la respuesta fenológica y productiva de las plantas de lechuga var. *acephala* cv. Crespa sometidas a los tratamientos bajo el clima de la zona en diferentes épocas de plantación.
- Evaluar la evolución de los parámetros físicos y químicos de las soluciones nutritivas recirculantes con relación a respuesta del cultivo y las condiciones climáticas.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Generalidades de la lechuga

1.1.1. Origen del cultivo

La lechuga es procedente de la India, fue una especie vegetal conocida y domesticada por los griegos y romanos hace unos 2500 años. El cultivo luego del proceso de domesticación se dispersó rápidamente por las regiones templadas de Europa, Asia y América del Norte (Pinzón, 2012).

Según Maroto (2008), el nombre científico de la lechuga es *Lactuca sativa* L, donde *Lactuca* deriva de la raíz Lac, que significa “leche” (presencia de látex) y *sativa* por ser cultivada.

1.1.2. Características

Huarte *et al.* (2014) manifiestan que es una planta anual y autógama, se adapta a los climas templados y frescos. La temperatura óptima de crecimiento oscila entre los 15 a 18 °C, máximas de 26 °C y mínima de 7 °C. Las temperaturas mayores a 30 °C aceleran el desarrollo del escapo floral y su calidad se deteriora rápidamente. Esto se debe a la acumulación de látex en su sistema vascular, que le da un sabor a amargo al producto. Las características botánicas de la lechuga se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción botánica de la lechuga.

Descripción	
Raíz	Es fibrosa, pivotante y con ramificaciones alcanza una longitud de 25 cm.
Tallos	Son cortos cilíndricos, blandos y lactosas cubierto de follaje.
Hojas	Son colocadas en rosetas, desplegadas; según su variedad se mantienen durante su desarrollo, los bordes pueden ser ondulados, aserrados o lisos.
Flores	Se agrupan en ramilletes, son pequeños de color amarillo pálido y hermafroditas; ovario es unicelular y su único ovulo maduro es la semilla.
Semilla	Es plana y picuda de color negro, gris, amarillo o blanco.

Fuente: Huarte *et al.* (2014)

1.1.3. Variedades de lechuga

La lechuga se caracteriza por tener diversas formas, su tamaño y su peso varían según la variedad, generalmente son de color verde, aunque algunas variedades presentan hojas blanquecinas, rojas e incluso de color marrón (Briones *et al.*, 2014). Dentro de la especie *Lactuca Sativa* L. se diferencian cuatro variedades botánicas.

***Lactuca Sativa* var. *longifolia*:** Sus hojas son generalmente aovada u oblongas, se caracterizan por su adaptación a una estación determinada donde se pueden clasificar lechugas de invierno (Romana Larga verde, Romana Larga Encarnada, Inverna, etc.), y lechugas de primavera verano (Romea, Rubia de Verano, Romana, etc.). El tallo se presenta de mayor longitud en comparación a otras variedades, forma una cabeza cilíndrica o cónica, pudiendo alcanzar hasta 2 kg de peso (Birgi, 2015).

***Lactuca Sativa* var. *capitata*:** Esta variedad forman un cogollo apretado. La forma de sus hojas lisas son anchas, orbicular y delgadas. Se pueden dividir en dos grupos: las hojas consistentes (Salinas, Halcon, Astral, Montemar, etc), y las de hoja mantequilla (Aprilia, Trocadero, Corine, Ravel, Elsa, Clarion, etc.). Estas variedades son precoces y de menor tamaño con ciclos de 55 a 70 días, por lo que suelen utilizarse para la producción en invernaderos (Birgi, 2015).

***Lactuca Sativa* var. *crispa*:** Son aquellas que forman cabeza. En este grupo se distinguen dos subtipos: las llamadas Iceberg (cabeza compacta) y las Batavia (cabeza menos densa, pequeñas e irregulares). En ambos casos, a medida que incrementa el número de hojas también aumenta el grosor de la planta y cuando alcanza las 10 a 12 hojas, estas se ponen curvadas envolviendo las hojas interiores, formando una cabeza esférica (Saavedra, 2017).

***Lactuca Sativa* var. *acephala*:** Este tipo de lechuga se caracteriza por tener hojas sueltas y dispersas, (Lollo Bionda, Lollo Rosa, Hoja de Roble, etc.). Se comercializan enteras, pero se aprecian en las huertas caseras ya que sus hojas pueden ser cosechadas individualmente. Esta variedad es la más usada en

hidroponia debido a su precocidad y a su forma de roseta muy plana, los bordes de las hojas son muy variados (Saavedra, 2017).

1.1.4. Composición nutricional

De conformidad con Moreno (2014) la lechuga es baja en calorías, sus hojas exteriores contienen el doble de vitamina C que las interiores. Según las variedades poseen una buena fuente de ácido fólico (anticancerígeno) y vitamina A. Su composición nutricional se describe en la Tabla 2.

Tabla 2.
nutricional de

Composición
la lechuga.

Componentes	Contenidos/100g de sustancia
Glúcidos	1.20 – 2.10 g
Lípidos	0.10 - 0.20 g
Prótidos	0.80 - 1.60 g
Ácido fólico	5.00 - 24.00 mg
Calcio	13.00 - 36.00 g
Fósforo	25.00 - 45.00 mg
Hierro	1.10 - 1.50 mg
Potasio	100 - 400 mg
Riboflavina	0.03 - 0.10 mg
Sodio	5.00 - 10.00 mg
Tiamina	0.07 - 0.10 mg
Vitamina A	300 - 2600 IU

Fuente: Moreno (2014)

1.2. Hidroponía

1.2.1. Definición

El cultivo sin suelo es una técnica de producción agrícola que permite el desarrollo de las plantas sin la necesidad que éste sea partícipe del soporte ni la nutrición. Los sistemas de crecimiento y/o soporte de la planta están constituidos por un medio inerte como sustrato o agua. Los nutrientes, aplicados en forma artificial, llegan a través del agua (Montero y Ruíz, 2014).

Dentro de los cultivos sin suelo se encuentra la hidroponía. Este término proviene de las palabras griegas *hydros* (agua) y *phonos* (cultivo), se refiere a los cultivos no tradicionales que engloba un sistema donde la planta cumple su ciclo productivo sin uso de suelo. Forma parte de una agricultura de ambiente protegido (invernaderos) y controlado, especialmente de factores como temperatura, lluvia y viento (Beltrano y Giménez, 2015).

De conformidad con Howard (2013), la hidroponía es la ciencia de cultivo adecuada para cultivar algunas variedades de hortalizas, flores, plantas medicinales, ornamentales y aromáticas, brindando a la vez plantas de rápido crecimiento y alto valor nutricional.

1.2.2. Ventajas y desventajas en hidroponía

Según Jacobson (2016), los cultivos bajo sistemas hidropónicos poseen algunas ventajas y desventajas las cuales se mencionan a continuación:

Ventajas

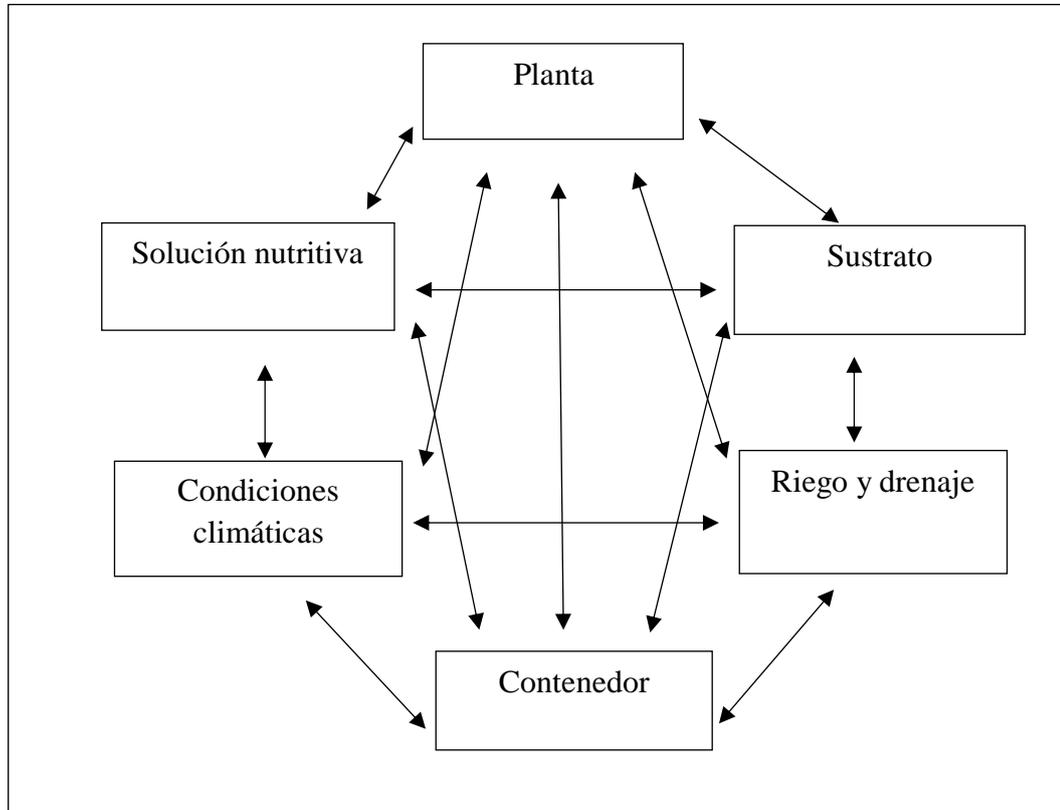
- Minimiza el programa de fertilización de acuerdo a los requerimientos
- Las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento
- No existe el control de malas hierbas
- No es necesario las rotaciones
- Reducción del consumo de agua
- Disminución de horas de trabajo
- Mayor población de plantas

Desventajas

- Las soluciones deben conducirse por manos expertas y calificadas.
- Elevados costos de capital de instalación y construcción.
- Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo.
- Se requiere agua de buena calidad.

1.2.3. Sistemas de cultivos sin suelo

La Figura 1 ilustra los componentes que conforman los sistemas de cultivos sin suelos (CSS), los cuales se agrupan relacionándose entre la parte radicular (sustrato, contenedor, nutrientes y drenaje) y las condiciones climáticas (temperatura, humedad y luz). Estos factores son indispensables para el



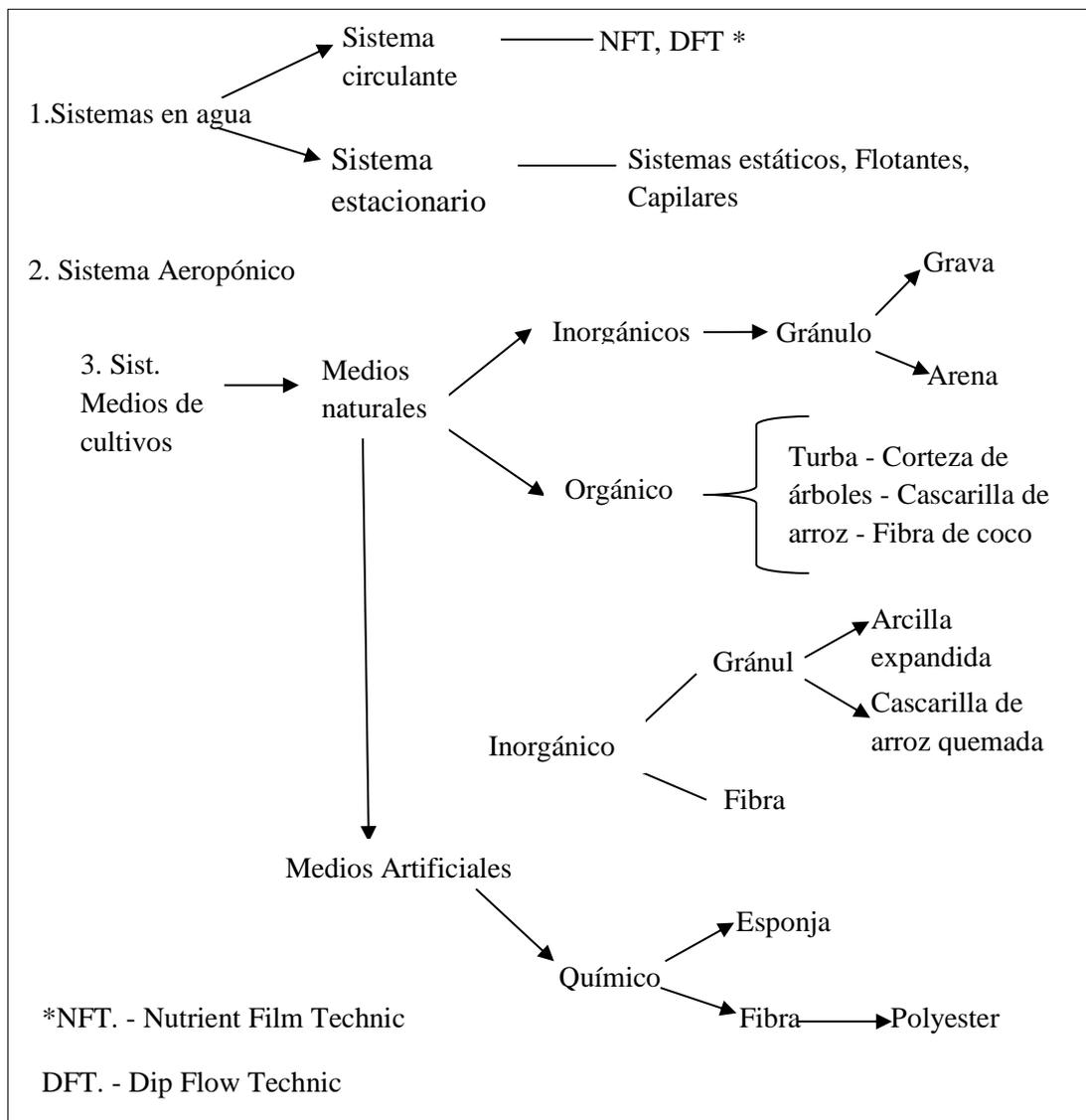
crecimiento y desarrollo de la planta (OASIS, 2017).

Fuente: OASIS (2017)

Figura 1. Componentes de los cultivos sin suelo.

En la actualidad existen diferentes métodos hidropónicos desde lo más simple hasta lo más sofisticado. El funcionamiento simple puede ser manual mientras que el sofisticado es totalmente automatizado, además permite el soporte y desarrollo radicular, mantiene la humedad, permite disponer los nutrientes esenciales proporcionando un balance adecuado entre la solución y el oxígeno para el óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo (Patten, 2013).

De conformidad con Urrestarazu (2015), los sistemas más empleados en los CSS son los medios naturales y artificiales que actúan como un simulador de suelo. También están los sistemas en agua y aeroponía (Figura 2). La selección del



sistema dependerá del tipo del cultivo y su importancia económica.

Fuente: Urrestarazu (2015)

Figura 2. Sistemas de producción en cultivos sin suelo.

1.2.4. Sistemas en agua

Los sistemas en agua son aquellos donde las raíces de las plantas se encuentran sumergidas en agua o medio líquido que contiene los nutrientes necesarios por la planta (Montero y Ruíz, 2014). Se utiliza un soporte mecánico para sostener tanto la parte aérea como la parte radicular, las especies que más se cultivan en este medio son hortalizas de hojas como lechuga, acelga, espinaca, albahaca, etc.

a. Raíz flotante

El sistema raíz flotante es la técnica más utilizada en hidroponía, consta de recipientes o contenedores de madera, donde se incluye la solución nutritiva y sobre ella flotando una lámina de espumafon como soporte para la planta (Torres, 2018).

Según Castañeda, (2010) la principal desventaja es la falta de oxígeno en las raíces, dicho problema puede solucionarse generando burbujas con inyección de aire o de manera manual agitando la masa de agua con las manos dentro de la cama del cultivo. La presencia de raíces oscuras se debe a la falta oxígeno impidiendo que la planta capte el agua y los nutrientes necesarios para su desarrollo.

b. Sistemas recirculantes NFT

El sistema NFT (Nutrient Film Technique) consiste en tuberías de PVC rectangulares o circulares llamados canales de cultivo, en su interior circula la solución nutritiva permitiendo un balance adecuado entre el agua y el oxígeno. La principal ventaja es que se puede aumentar la altura de los canales de tuberías incrementado el número de plantas por metro cuadrado (Forero *et al.*, 2011).

c. Aeroponía

Es una técnica moderna donde las plantas se desarrollan en un entorno aéreo con oscuridad, sin la inmersión total de las raíces en la solución fertilizante. Los nutrimentos son suministrados por el sistema de aspersion directa sobre las raíces de las plantas contribuyendo a una adecuada oxigenación (Montero y Ruíz, 2014).

1.2.5. Sistemas en sustrato inerte

De conformidad con Forero *et al.* (2011), el sistema de sustrato inerte permite el anclaje de la planta, la retención de la solución nutritiva y el suministro de oxígeno a las raíces por medio de los espacios aéreos entre las partículas. Se puede utilizar materiales inorgánicos (arena, grava, piedra volcánica o pómez, etc.) o materiales orgánicos (carbón vegetal, fibra de coco, etc.). Las especies que cultivan en este sistema son principalmente las hortalizas de frutos como melón, tomate, etc.

1.3. Solución nutritiva

1.3.1. Elementos de la solución nutritiva

Benavides *et al.* (2014) recalcan que la solución fertilizante es el conjunto de sales minerales disueltas en agua. Su composición varía según la especie y etapa fenológica de la planta tomando los nutrientes en un rango de concentración en forma de iones (cationes si tienen carga positiva y aniones si tienen carga negativa). Los iones nutrientes se pueden expresar en masa (mg), moles (mmol) o equivalentes (meq) (Tabla 3).

Tabla 3. Masa molecular de iones presentes en la solución nutritiva.

Elemento	Masa atómica	Forma iónica	Masa molecular	Valencia
Nitrógeno (N)	14.0	NO ₃ ⁻	62.0	1
		NH ₄ ⁺	18.0	1
Fósforo (P)	31.0	H ₂ PO ₄ ⁻	97.0	1
		HPO ₄ ²⁻	96.0	2
Potasio (K)	39.1	K ⁺	39.1	1
Calcio (Ca)	40.1	Ca ²⁺	40.1	2
Magnesio (Mg)	24.3	Mg ²⁺	24.3	2
Azufre (S)	32.1	SO ₄ ²⁻	96.1	2
Sodio (Na)	23.0	Na ⁺	23.0	1
Cloro (Cl)	35.5	Cl ⁻	35.5	1
Carbono (C)	12.0	HCO ₃ ⁻	61.0	1
		CO ₃ ²⁻	60.0	2
Hierro (Fe)	55.9	Fe ²⁺	55.9	2
Manganeso (Mn)	54.9	Mn ²⁺	54.9	2
Boro (B)	10.8	B ₄ O ₇ ²⁻	155.2	2
Cinc (Zn)	65.4	Zn ²⁺	65.4	2

Molibdeno (Mo)	95.9	MoO ₄ ²⁻	159.9	2
----------------	------	--------------------------------	-------	---

Fuente: Benavides *et al.* (2014)

1.3.2. Formulaci3n de sales minerales solubles

Seg3n Casta1eda *et al.* (2010), las sales minerales utilizadas para la fertilizaci3n se caracterizan por su alta solubilidad, de esta forma se deber1 elegir aquellos que se presentan en formas hidratadas. Los fertilizantes m1s utilizados en hidropon1a se establecen de acuerdo a su f3rmula qu1mica y solubilidad (Tabla 4).

Nombre qu1mico	F3rmula qu1mica	Solubilidad a 20 3C (g/l)
Nitrato de calcio.	Ca (NO ₃) ₂	1220
Nitrato de potasio	KNO ₃	130
Nitrato de magnesio	Mg (NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	279
Fosfato monopotasio	KH ₂ PO ₄	230
Sulfato de magnesio	Mg SO ₄ . 6H ₂ O	710
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	111
Sulfato de magnesio	MnSO ₄	980
1cido b3rico	H ₃ BO ₃	60
Sulfato de cobre	CuSO ₄ . 5H ₂ O	310
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ . 7H ₂ O	960
Molibdato de amonio	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	430

Tabla 4. F3rmula qu1mica y solubilidad de las sales minerales.

Fuente: Casta1eda *et al.* (2010)

1.3.3. Soluciones nutritivas usadas en hidropon1a

Seg3n Rodr1guez y Chang (2013), la concentraci3n de los elementos esenciales va en dependencia de la parte que se desee cosechar de la planta, estado de desarrollo, estaci3n del a1o, calidad del agua y clima. Los nutrientes utilizados en hidropon1a se diferencian por los niveles de concentraci3n y han sido recomendados por diferentes autores a lo largo de los a1os (Tabla 5).

Tabla 5. Rangos de concentraciones de los nutrientes según diversos autores.

	Concentraciones (ppm)						
	(Hoagland y Arnon (1938))	Resh (1987)	FAO (1990)	Jensen (s/fecha)	Larsen (s/fecha)	Cooper (1979)	Steiner (1984)
N	210	190	150-225	106	172	200-236	167
P	31	50	30-45	62	41	60	31
K	234	210	300-500	156	300	300	277
Mg	34	200	40-50	48	48	50	49
Ca	160	40	150-300	93	180	170-185	183
S	64	113	-	64	158	68	-
Fe	2.5	5.0	3.6	3.8	3	12	2-4
Mn	0.5	0.5	0.5-1	0.81	21.3	2	0.62
B	0.5	0.5	0.04	0.46	1	0.3	0.44
Cu	0.02	0.1	0.1	0.05	0.3	0.1	0.02
Zn	0.05	0.1	0.1	0.09	0.3	0.1	0.11
Mo	0.01	0.05	0.05	0.03	0.07	0.2	-

Fuente: Beltrano y Giménez (2015)

1.3.4. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y su valor se expresa en dS m⁻¹. En la solución actúa como un estimador indirecto del potencial osmótico determinando el rendimiento y crecimiento de los cultivos (Benavides *et al.*, 2014). Los valores elevados de sales diluidas limitan la absorción de nutrientes impidiendo el normal desarrollo del cultivo (Cruz y Matías, 2010). Cada especie tiene un rango de tolerancia a este parámetro químico de la solución nutritiva (Tabla 6).

Tolerancia de CE en los cultivos				
Cultivo	CE (dS/m) y rendimiento potencial			
	100%	90%	75%	50%
Tomate	2.5	3.5	5.0	7.6
Pepino	2.5	3.3	4.4	6.3
Melón	2.2	3.6	5.7	9.1

Lechuga	1.3	2.1	3.2	5.1
---------	-----	-----	-----	-----

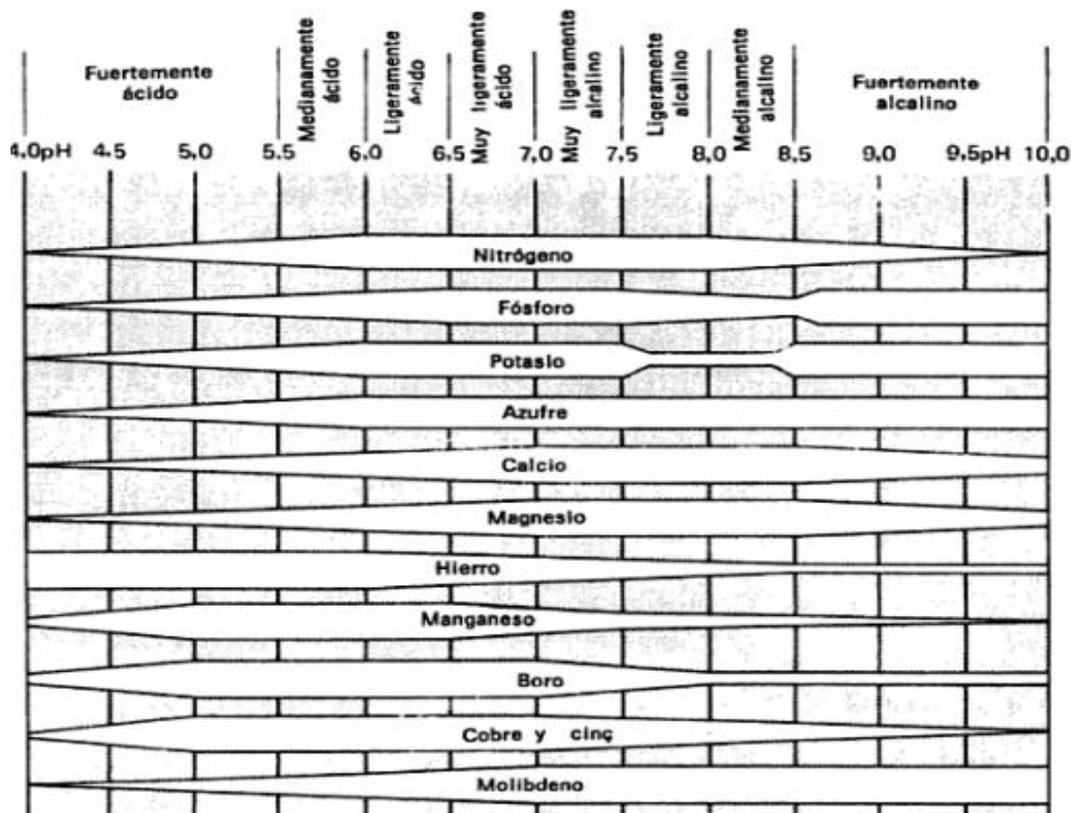
Tabla 6. Niveles de respuesta por cultivo a la conductividad eléctrica.

Fuente: Benavides *et al.* (2014)

1.3.5. Potencial de hidrógeno de la solución nutritiva

Santos y Ríos (2016) manifiestan que el pH indica el carácter ácido o básico de la solución. Cuando este parámetro es inadecuado puede causar clorosis y/o necrosis en las hojas. El pH no daña la planta directamente, pero influye en la disponibilidad de nutrientes que la planta pueda adquirir (Figura 3). Los macronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio son necesitados en grandes cantidades. Cuando el pH es alto o muy bajo la disponibilidad de estos elementos es menor.

Los micronutrientes por el contrario son necesitados en menor cantidad. Si el pH es mayor a 6.0 el hierro, manganeso, cobre, boro y zinc empiezan a volverse insolubles e indisponibles para las plantas y si es menor a 5.5 estos elementos se vuelven solubles. El molibdeno, por su parte presenta un comportamiento contrario. Éste se vuelve soluble con pH alto e insoluble con pH bajo (Santos y



Ríos, 2016).

Fuente: Santos y Ríos (2016)

Figura 3. Disponibilidad de nutrientes en función del pH.

Según Brenes y Jiménez (2016), los niveles óptimos de pH están en dependencia de la variedad o especie del cultivo de tal manera que la planta pueda absorber los nutrientes necesario para su crecimiento y desarrollo (Tabla 7).

Tabla 7. Niveles adecuados de pH para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

pH recomendado	Cultivos	Escala de acidez y alcalinidad
4.5 a 5.5	Rosas	Moderadamente ácida
5.5 a 6.0	Tomate y Lechuga	Ligeramente ácida
6.7 a 7.0	Apio	Neutra

Fuente: Brenes y Jiménez (2016)

1.3.6. Temperatura de la solución nutritiva

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

Según Martínez *et al.* (2012), la temperatura afecta el balance de oxígeno de la solución nutritiva. Conforme se incrementa la temperatura, la cantidad de oxígeno del agua decae rápidamente (Tabla 8). La falta de oxígeno reduce la permeabilidad de las raíces, provoca la muerte de microorganismos benéficos y hace más susceptibles a las plantas a ataques de patógenos.

La lechuga es considerada la especie más tolerante a la falta de oxígeno, siendo unos de los cultivos más recomendados para los sistemas hidropónicos. Los niveles adecuados de oxígeno disuelto se encuentran entre 3 a 4 ppm (Martínez *et al.*, 2012).

Tabla 8. Relación entre la temperatura de agua y oxígeno.

Temperatura	Oxígeno disuelto (mg/L)
10	11.3

15	10.1
20	9.1
25	8.3
30	7.6
35	7.0

Fuente: Santos y Ríos (2016)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación y descripción del sitio experimental

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, ubicada en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena, en los meses de enero a mayo del 2018. Los datos de clima con los promedios de los últimos 10 años fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Tabla 9).

Parámetros	Valores
Latitud S (WGS84)	2° 13' 56"
Longitud O (WGS84)	80° 52' 30"
Altitud	44 msnm
Precipitación	200 mm
Humedad relativa	81,6%
Temperatura media/anual	24,5 °C

Tabla 9. Características geográficas y climáticas del sitio experimental.

Fuente: INAMHI (2017)

2.2. Característica del agua

Los resultados del análisis de agua, realizado en INIAP- Pichilingue, presentó una baja salinidad, bajos contenidos de sodio, aptas para el riego (Tabla 10).

Tabla 10. Características químicas del agua utilizada.

Parámetro	Contenido	Interpretación
CE	0.23 dS m ⁻¹	Sin restricción en el uso
TSD	104 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
Ca	23 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
Mg	7.8 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
Na	6.9 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
K	7.02 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
CO ³	0.0 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
HCO ₃	53.70 mg L ⁻¹	Restricción en el uso
Cl	45.5 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
SO ₄	2.50 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
NO ₃	0.0 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
Fe	0.03 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
B	0.08 mg L ⁻¹	Sin restricción en el uso
pH	7.2	Restricción en el uso
RAS	0.32 (meq/L) ^{1/2}	Sin restricción en el uso
Dureza	90 mg L ⁻¹	Blanda

Fuente: INIAP-Pichilingue (2016)

2.3. Materiales y equipos

2.3.1. Materiales

Tanques de 500 litros	Esjonja
Sistema de riego	Bandejas germinadoras
Contenedores de madera	Pomas
Polietileno negro	Turba
Planchas de espumafon	Periódico
Soluciones nutritivas macro y micronutrientes	Bandejas plásticas
Flexómetro	Cooler
Bomba de mochila	Pinza
Icepack	

2.3.2. Equipos

Programador de riego: GALCON
 Bomba sumergible: Pedrollo Top II de 0,5 HP
 Conductímetro: OAKTON ECTester11
 PH-metro: Milwaukee Ph55
 Balanza digital: BOECO BWL 61
 Termohigrómetro: Testlab modelo BOE327

Medidor de oxígeno disuelto: Milwaukee MW600

Estufa EquipsLab: modelo GX125BE

Luxómetro: Hanna HI 97500

2.4. Material genético

Se utilizó la lechuga var. acephala cv. “Crespa”, cuyas características principales son: semillas de color negro, hojas de color verde claro y no forma cabeza.

2.5. Infraestructura

El trabajo de investigación se efectuó en un invernadero galvanizado de 200 m² (20 m de largo, 10 m de ancho y 4 m de alto) con cubierta del techo de polietileno UV/IR calibre 6, paredes frontales y laterales protegida con malla blanca 50% de sombreo.

En la parte exterior del invernadero se ubicaron tres estanques de 500 litros en una fosa que permitió una altura de mínimo 0.5 m desde el suelo hasta el espejo de agua. En el interior de dichos estanques se instaló una bomba sumergible de 0.5 HP. Además, se implementaron tuberías de recirculación para cada una de las soluciones nutritivas y al interior del invernadero se instaló un programador de riego automático.

Para la instalación del sistema se utilizaron contenedores de madera. El ancho y largo del cajón fue 1 m x 3 m, el mismo que fue dividido en tres unidades experimentales de 1 m cada uno. En la base del contenedor se incrustó un conector de salida (drenaje), que permitió la recirculación. Luego se plegó un polietileno negro, el cual retuvo la masa de agua y dio oscuridad al sistema radicular impidiendo la formación de algas.

En la cabeza de la cama se colocó una tubería de 1 m de largo y ½ pulgadas de espesor, a lo largo de la cual se perforaron cuatro orificios (cada 25 cm), facilitando la entrada de la solución fertilizante al cajón. Se llenaron los contenedores a una altura de 8 cm y los 2 cm restantes correspondieron al soporte

mecánico para sostener tanto la parte aérea como la parte radicular de la planta, el volumen de agua fue de 80 litros por unidad experimental (cama).

2.6. Clima

2.6.1. Temperatura, humedad relativa y radiación

Se utilizó el termohigrómetro digital para medir la temperatura y humedad relativa (máximas y mínimas) y el luxómetro para la medir la radiación global. Los datos de ambos equipos se tomaron a una altura de 1,2 m desde el suelo. Las mediciones se efectuaron diariamente tanto en la parte externa e interna del invernadero a las 8:00 am y 14:00 pm.

2.6.2. Grados días acumulados (GDA)

Para el cálculo de grados días se utilizó el método OMETTO propuesto por Yzarra *et al.* (2009) citado por Quintero (2015). La ecuación, entre varias que planteó dicho autor, fue elegida como la más apropiada para el clima de la zona, es decir las temperaturas máximas registradas son mayores a la temperatura máxima de desarrollo del cultivo y las temperaturas mínimas son mayores a la temperatura base (Ecuación 1).

$$GD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)^2}{2(TM - Tm)} \quad (1)$$

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.

Según Leiva (2017), los datos de temperatura base y temperatura máxima para el desarrollo del cultivo de lechuga son 6 °C y 30 °C, respectivamente.

2.6.3. Luz diaria integrada (LDI)

La intensidad luminosa fue medida con un luxómetro en dos horas diferentes del día (8:00 y 14:00 hrs). Los datos fueron procesados para determinar la Luz Diaria Integrada (LDI), definida como la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR). Recibida cada día como función de la intensidad de luz y duración (24 horas). La unidad es expresa en $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (moles por metro cuadrado y por día).

Para obtener el valor de LDI se empleó la metodología presentada por Torres y López (2011). Se transforma el valor medio horario a partir de la intensidad luminosa en el valor acumulado de radiaciones PAR

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

en el día Donde:

(Ecuación 2) II = Intensidad luminosa (lux).

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

El factor 0.0864 es la millonésima parte de segundos del día.

2.6.4. Relación fototérmica (PTR)

La Relación fototérmica ha sido propuesto para describir el balance entre la energía lumínica y la energía térmica. El PTR (*Photo Thermal Ratio*) se describe como la cantidad de energía lumínica disponible para la fotosíntesis por grado día de desarrollo (Torres y López, 2011) (Ecuación 3).

El crecimiento y desarrollo de las plantas es impulsado por dos tipos de energía la lumínica y la calórica; la energía lumínica impulsa la fotosíntesis y por lo tanto el aumento de peso seco, mientras que la energía calórica es impulsada la tasa de desarrollo. Por esta razón se emplea la relación fototérmica para integrar la energía empleada por las plantas en su crecimiento.

$$\text{PTR} = \frac{\text{LDI (mol m}^{-2} \text{ d}^{-1})}{\text{GD (}^{\circ}\text{C d}^{-1})} \quad (3)$$

2.7. Parámetros de la solución nutritiva

Se midieron los parámetros como la temperatura, conductividad eléctrica (CE) y el potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva. Las mediciones se efectuaron todos los días y al finalizar del día se midió la altura de la lámina de la solución. El oxígeno disuelto (O₂) se midió en tres puntos diferentes al inicio de la tubería alimentadora, a la mitad y al final. Las cantidades estuvieron expresadas en miligramo por litro (mg L⁻¹).

2.8. Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en tres soluciones nutritivas aplicadas en el cultivo de lechuga: Hoagland/Arnon (T1), Sonneveld/Voogt (T2) y Steiner (T3). Para el análisis estadístico se utilizó el programa InfoStat v2108e y se determinaron la homocedasticidad y normalidad de cada una de las variables. Para las variables que no cumplieron con los presupuestos del análisis de varianza paramétrico se les aplicó la prueba de rango Kruskal Wallis (Anexo, tabla 10). Se utilizó la prueba de rango múltiple para comparar varias medias propuesto por Boyer *et al.* (1997). Para ambas se utilizó un 95% de grado de confianza. La distribución de los grados de libertad se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11.
los grados de

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	11
Tratamientos	2
Error	9

Distribución de libertad

2.9. Delineamiento experimental

a. Diseño experimental	DCA
b. Número de tratamientos	3
c. Número de repeticiones	4
d. Número total de parcelas	12
e. Superficie UE* (m ²)	1
f. Distancia de plantación (m)	0,13 X 0,17
g. Altura de la unidad experimental (cm)	0,90
h. Número de plantas por sitio	1
i. Número de plantas por UE*	20-32
j. Número de plantas por ensayo	240 - 384

UE*= unidad experimental; DCA= Diseño completamente al azar

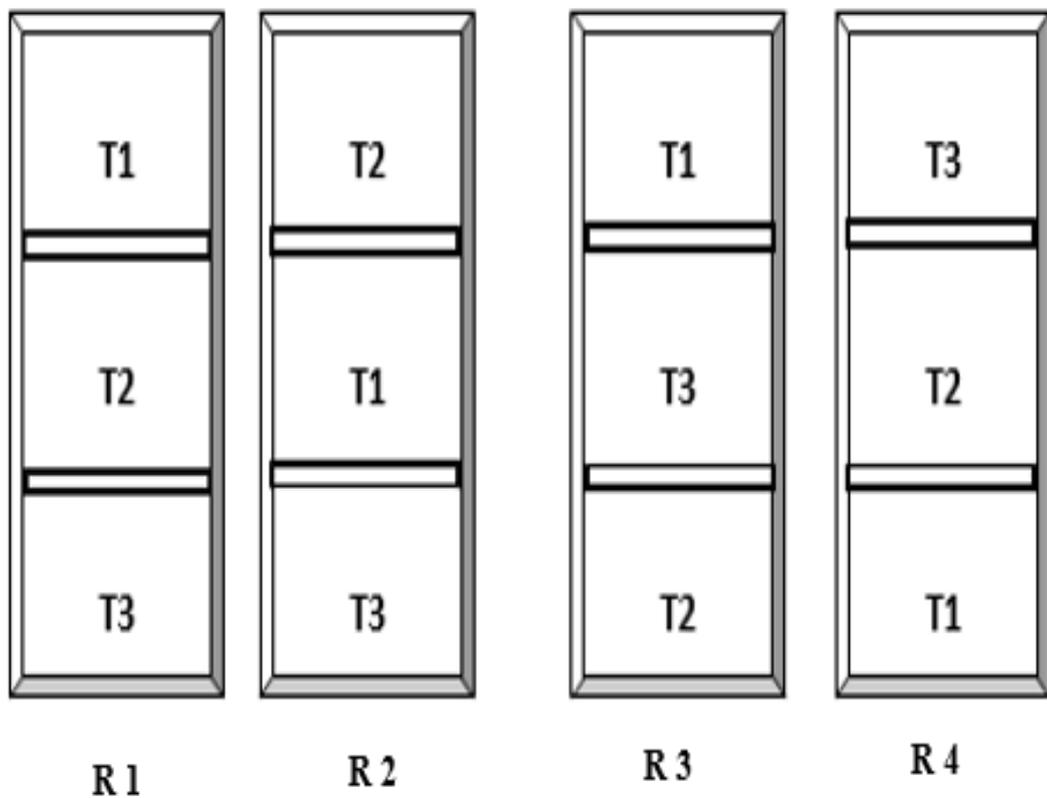


Figura 4. Distribución de los tratamientos y repeticiones

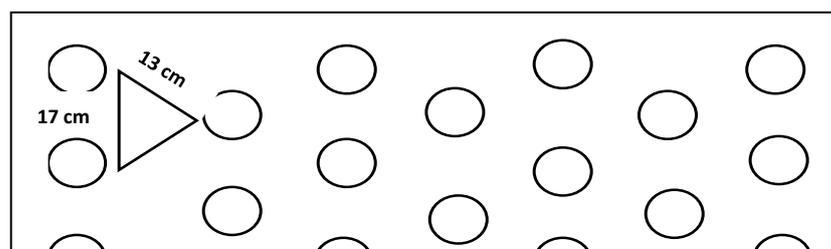


Figura 5. Distribución de las plantas en la plancha de espumafon

2.10. Tratamientos

La composición de iones y fertilizantes de los tratamientos Hoagland/Arnon (T1), Sonneveld/Voogt (T2) y Steiner (T3), se aprecian en la Tabla 12, 13 y 14.

FERTILIZANTE	mMol/L		
	Hoagland/Arnon	Sonneveld/Voogt	Steiner
HNO ₃	0,000	0,000	0,000
H ₃ PO ₄	0,502	0,704	0,704
KNO ₃	7,800	6,000	2,000
Ca(NO ₃) ₂	2,850	2,850	3,350
(NH ₄)(NO ₃)	0,500	0,000	0,500
K ₂ SO ₄	0,000	0,000	2,500
MgSO ₄	1,350	1,350	0,500
NH ₄ HPO ₄	0,500	0,000	0,300
KH ₂ PO ₄	0,000	1,500	0,000
Mg(NO ₃) ₂	0,000	0,000	1,350

Tabla 12. Composición química macronutrientes (mMol/L)

Fuente: Beltrano y Giménez (2015)

FERTILIZANTE	g L ⁻¹		
	Hoagland/Arnon	Sonneveld/Voogt	Steiner
H ₃ PO ₄ (cc L ⁻¹)	0,012	0,016	0,016
KNO ₃	0,789	0,607	0,202
Ca(NO ₃) ₂	0,673	0,673	3,618
(NH ₄)(NO ₃)	0,040	0,000	0,040
K ₂ SO ₄	0,000	0,000	0,436
MgSO ₄	0,332	0,162	0,060

NH ₄ HPO ₄	0,057	0,000	0,034
KH ₂ PO ₄	0,000	0,204	0,000
Mg(NO ₃) ₂	0,000	0,000	0,333

Tabla 13. Composición química para macronutrientes (g L⁻¹)

Fuente: Elaboración propia

FERTILIZANTE	mg L ⁻¹		
	Hoagland	Sonneveld	Steiner
Quelato Fe	2,470	4,470	1,300
MnSO ₄	0,500	0,750	0,620
CuSO ₄	0,020	0,100	0,020
ZnSO ₄	0,050	0,100	0,110
ÁC. Bórico	0,420	0,270	0,360
Molibdato sodio	0,010	0,050	0,049

Tabla 14. Composición química para micronutrientes (mg L⁻¹)

Fuente: Elaboración propia

2.11. Manejo del experimento

2.11.1. Semillero

Al efectuar la siembra directa en el sustrato, la semilla no germinó debido a que se produjo una ecodormancia inducida por la alta temperatura. Según González (2014) el límite de temperatura para la germinación de la semilla de lechuga es 15 a 24 °C.

Por lo tanto, las semillas fueron pregerminadas en bandejas plásticas individuales de 25 x 12 cm. Se utilizó un cooler para la preservación de las bandejas y dos compresas congeladas (icepack) para la conservación de la temperatura. Esta labor se realizó con el propósito de germinar la mayor parte de semillas. La temperatura estuvo entre 20 a 22 °C, respectivamente. Se utilizó un termómetro para contralorar dicho proceso el cual duro entre cuatro a cinco días.

Luego se utilizaron cinco bandejas germinadoras de 98 alvéolos. El sustrato para semillero fue turba comercial (85%) y perlita (15%). Se realizó la siembra de una semilla pregerminada (con radícula de 2 a 3 mm) por alvéolo. El semillero se regó inicialmente con agua y posteriormente a la emisión de la primera hoja con la

solución nutritiva de Hoagland/Arnon al 50%, hasta que las plántulas presentaron de tres a cuatro hojas verdadera y fueron trasplantadas.

El trasplante se efectuó a los 30 días después de la siembra, en tresbolillo a distancias de 20 x 17 cm, en camas de madera de 1m² cubiertas con polietileno negro y planchas de espumaflex (1 m x 1 m x 0.025 m espesor), para la sujeción de las plántulas se utilizaron tiras de esponja de 8 cm largo y 3 cm de ancho.

2.11.2. Solución nutritiva

Para cada tratamiento se preparó soluciones madres 100 veces concentradas, utilizando tres recipientes en cada tratamiento para los macronutrientes, micronutrientes y calcio. Esta separación se efectuó con la finalidad de evitar interacción antagónica entre fertilizantes. Para disolver la solución madre la proporción fue de 1:100, es decir, cada litro de solución madre se diluyó en 100 litros de agua para llenar los estanques de 500 litros.

La oxigenación de la solución nutritiva se realizó diariamente dos veces al día durante 30 minutos cada vez en cada unidad experimental en la mañana y en la tarde, con el fin de proporcionar el oxígeno suficiente para las raíces y facilitar la absorción de nutrientes. Esta labor se realizó automáticamente con ayuda del programador de riego y las tuberías alimentadoras ubicada en la cabecera de cada unidad experimental.

2.11.3. Controles fitosanitarios

Los problemas sanitarios se redujeron a un leve ataque de mosquita blanca en los ciclos de siembra 1 y 3, mientras que en los ciclos 2 y 4 hubo presencia de virus, pero de manera marginal. En general el cultivo no presentó problemas serios.

2.11.4. Cosecha

El criterio de cosecha fue el peso del producto, el cual idealmente debe de ser como mínimo 150g. En este caso las plantas fueron cosechas cuando alcanzaron su máximo desarrollo foliar, antes de llegar a la emisión del escape floral.

2.12. Variables experimentales

Para medir las variables dependientes, se tomaron tres plantas por unidad experimental, evaluando un total de 12 ejemplares por tratamiento.

Tabla 15. Fechas de establecimiento y cosecha de cada tratamiento y ciclo de cultivo

Ciclo	Trasplante	Cosecha	Tratamiento (T)	Semana/Muestreo	DDT
1	18-ene	8-feb	T1-T2-T3	0 - 3- 4	22
2	6-feb	27-feb	T1-T2-T3	0 - 3- 4	21
3	6-mar	29-mar	T1-T2-T3	0 - 3- 4	22
4	17-may	8 - 11 jun	T1-T2-T3	0 - 1- 2- 3 - 4	22 -25

de lechuga.

Hoagland/Arnon= T1; Sonneveld/Voogt= T2; Steiner= T3
DDT= días después de trasplante

2.12.1. Fenología

Número de hojas (Unidades)

Se contó el número de hojas desde el trasplante hasta la cosecha, las evaluaciones fueron cada siete a quince días.

Largo de la hoja (cm)

Se midió la hoja mayor desde el tallo hasta el ápice.

Altura de la planta (cm)

Se midió desde la base inferior de la planta (cuello) hasta la parte superior.

Longitud de la raíz (cm)

Se midió desde el tallo hasta la punta de la raíz.

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

El peso fresco se midió en dos partes (raíz y follaje), se utilizó una balanza con capacidad máxima de 6 kg y una precisión de 0,1 gramos. El peso fresco correspondió al rendimiento por planta. Luego se calculó el porcentaje de materia seca el cual se obtuvo mediante el secado del follaje y raíz, en la estufa por tres días a 65 °C. Se empleó la Ecuación 4.

$$\% \text{ MS} = \frac{\text{PS}}{\text{PF}} * 100 \quad (4)$$

Donde:

PS= Peso seco de la muestra (g)

PF= Peso fresco de la muestra (g)

MS= Materia seca

2.12.2. Rendimiento (g)

Debido a que la lechuga hidropónica se comercializa en muchos casos con la raíz, para el peso total o rendimiento se consideró la suma de la parte aérea y radicular de la planta.

2.12.3. Análisis foliar

Las plantas a cosecha secadas en estufa a 65°C por tres días fueron enviadas al laboratorio de suelos de INIAP Pichilingue para medir el contenido foliar de N, P, K, Ca, Mg y Cd (%).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variables climáticas

La temperatura promedio medida en el interior de la nave fue 36,8 °C como máxima y 21,1 °C como mínima entre los meses de enero a mayo del 2018 (Tabla 16). Estos valores térmicos no se consideraron adecuados para la especie, ya que González (2014) menciona que la temperatura óptima para el crecimiento de la lechuga es de 14 °C a 18 °C. Sin embargo Leiva (2017) indica que bajo condiciones extremas se aceptan temperaturas mínimas de 6 °C y máximas de 30 °C.

Esta es la causa por la cual las plantas no alcanzaron un elevado peso comercial a cosecha y emitieron prematuramente el escape floral. Velásquez *et al.* (2014) señalan que cuando la temperatura se encuentra por encima de los 30 °C no permite un buen desarrollo de las plantas, provocando algunos de los efectos no deseados como la subida de la flor en los cultivos de lechuga.

La humedad relativa promedio fue de 90% (medida en la mañana) como máxima y 26,1% (medida en la tarde) como mínima (Tabla 16). González (2014) reporta que la humedad máxima y mínima adecuada para el cultivo de lechuga es de 80% y 60%, respectivamente. Estos valores concuerdan con los propuestos por Quintero y Acuña (2012), bajo el uso de cubierta térmica. Posiblemente este parámetro provocó estrés en el metabolismo de la planta junto con el factor térmico. Según Velásquez *et al.* (2014), cuando la humedad es muy elevada la planta transpira poco y reduce el transporte de nutrientes desde las raíces hasta las hojas.

La intensidad lumínica promedio en las dos últimas épocas de plantación fue 32 658 y 36 316 lux. El requerimiento ideal para el cultivo de lechuga es de 12 000 a 30 000 lux (Environment, 2015); por tanto, los valores de las dos primeras épocas de plantación (húmedo) se consideraron adecuados con 28 735 y 27 097 lux, respectivamente (Tabla 16).

Estos valores influyeron en la ganancia de peso seco del follaje. Rodríguez (2018) recalca la importancia de la fijación de los rayos lumínicos en la etapa vegetativa de la planta donde la fotosíntesis permite el crecimiento de las células, especialmente en los cultivos donde la parte comercial son las hojas. Es decir que mientras más expuestas estén a la radiación solar mayor será la ganancia de peso seco.

Tabla 16. Temperatura, humedad relativa y radiación en diferentes épocas de plantación (2018) de un cultivo protegido de lechuga hidropónica bajo condiciones de raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

ÉPOCA DE PLANTACIÓN	PARÁMETROS CLIMÁTICOS				
	TMAX °C	TMIN °C	HR MAX (%)	HR MIN (%)	RAD (LUX)
Enero	36.85 a	24.18 a	89 a	26.4 b	28 735 b
Febrero	35.94 a	24.09 a	90 a	30.3 a	27 097 b
Marzo	36.42 a	23.26 a	84 a	27.1 b	36 316 a
Mayo	31.62 b	21.31 b	83 a	27 b	36 658 a
P- Valor	0.001	0.001	0.00015	0.001	0.001
CV (%)	10.45	8.18	11.25	29.28	32.97

Fuente: Elaboración propia

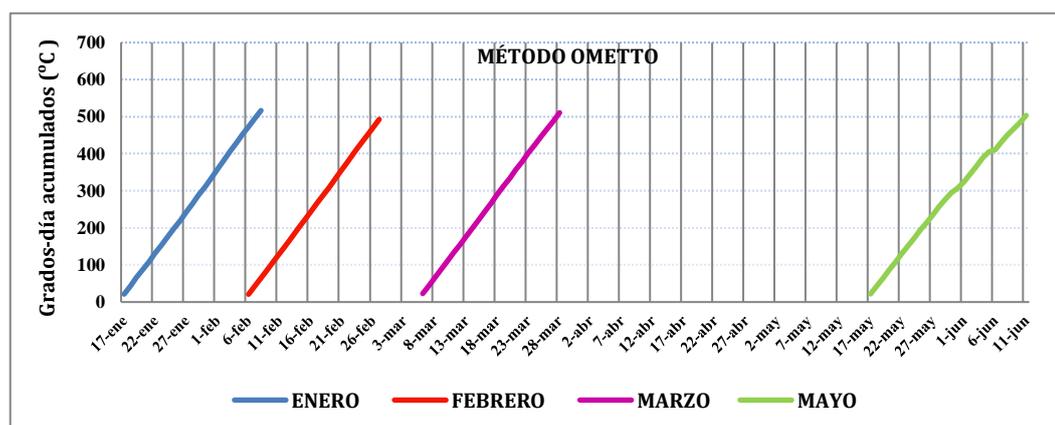
Nota: TMAX °C= Temperatura máxima; TMIN °C= Temperatura mínima; HR MAX °C= Humedad relativa máxima; HR MIN °C= Humedad relativa mínima; RAD= Radiación.

Las tres primeras épocas de plantación corresponden bajo el clima de Ecuador que se caracteriza por una humedad relativa alta, presencia eventual de lluvia y altas temperaturas. Mientras que el cuarto ciclo de producción que correspondió a mayo, quedó reflejado en temperaturas y la humedad relativa menores. La radiación fue mucho más alta en comparación a los dos primeros ciclos donde hubo más días nublados provocados por la presencia de lluvias.

3.2. Determinación de Grados Días

El tiempo térmico acumulado a la cosecha de cada uno de los cultivos en los diferentes meses de trasplante (enero, febrero, marzo y mayo) fueron 516, 492, 510 y 503. Se asumió un valor promedio de 505 como determinante, para la variedad Crespa utilizada en el ensayo, para pasar a la fase reproductiva (emisión del escapo floral). La cosecha varió para las distintas épocas de plantación entre los 22 y 25 días después del trasplante (Figura 6). Esto indica que podemos estimar 10 a 12 cosechas anuales de lechuga hidropónica en la provincia de Santa Elena, superando a las 9 logradas en la sierra ecuatoriana.

Los resultados coinciden con Gutiérrez (2015) quien registró 441 y 540 grados días acumulados (GDA) para las cosechas de lechuga, var. acephala y capitata, efectuadas a los 52 y 60 DDT, respectivamente. La variación en la respuesta a la acumulación de GD y número de días a cosecha podría deberse al genotipo. Cada híbrido o variedad puede responder de manera diferente a las condiciones



ambientales (Hoyos *et al.*, 2012).

Figura 6. Acumulación de grados días (GDA) en diferentes épocas de plantación determinada por el método Ometto, en el cultivo de lechuga hidropónica cv. Crespa, en el sistema raíz flotante con recirculación.

3.3. Determinación de luz diaria integrada

La respuesta de la luz diaria integrada, se refleja en la tasa de crecimiento especialmente para las variedades verdes y la coloración más profunda para las variedades moradas o rojas (Quintero, 2015).

La diferencia en los valores obtenidos durante los dos primeros ciclos (enero y febrero) se explica por los niveles de nubosidad presentados en la zona durante el estudio, variando entre las cuatro fechas entre 23.42 y 31.67 mol m⁻²d⁻¹. Los dos últimos ciclos registraron valores más altos debido a época seca (Tabla 17). Estos valores se consideraron excesivos según INTAGRI (s/f) inhibiendo, tal vez, el aumento de peso fresco foliar o acelerando la floración y afectando su calidad comercial.

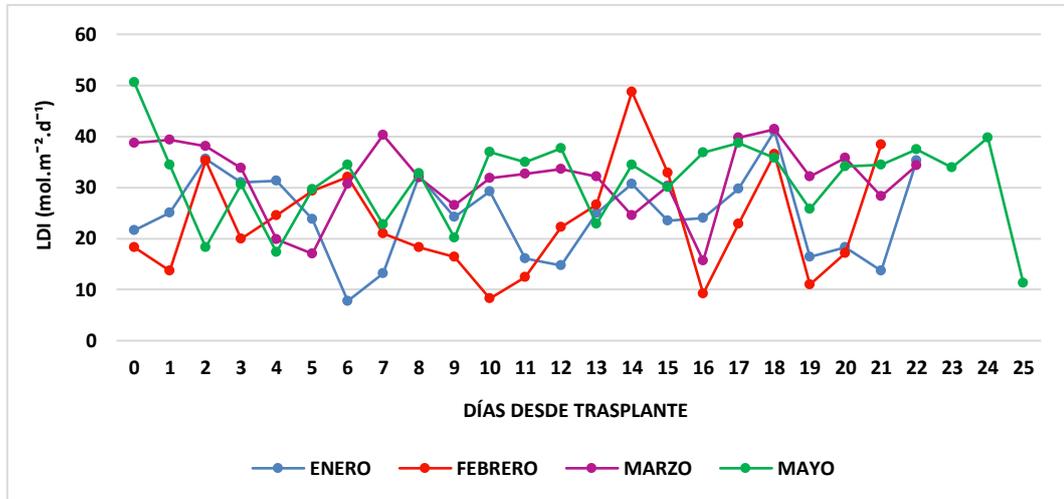
Estos datos concuerdan con Legrare *et al.* (2014), quienes trabajaron con cubiertas de invernadero fotoelectivas. En ese caso la respuesta a las variaciones de LDI fue generada por la variación en la intensidad luminosa presentada bajo las cubiertas. Quintero (2015), explica que bajo una cubierta térmica (con pigmentos y aditivos) los valores de LDI oscilaron entre 12.4 y 17.5 mol m⁻²d⁻¹, mientras que bajo la cubierta convencional (sin pigmentos y aditivos) entre 13.6 y 19.1 mol m⁻²d⁻¹.

Torres y López (2011) indican que el LDI en condiciones de luminosidad extremas o muy bajas afecta la parte foliar de las plantas. Cada cultivo se caracteriza por tener una intensidad lumínica óptima que le permite maximizar el crecimiento y la fotosíntesis.

Legrare *et al.* (2014) manifiestan que cuando hay menos luz que la requerida por la planta las células se elongan doblándose hacia el rayo lumínico (etiología) y

cuando es muy intensa las células se vuelven compactas y se oscurece el color del follaje.

En la Figura 7 se observa el comportamiento de la LDI en las diferentes épocas



del cultivo de lechuga.

Figura 7. Comportamiento de luz diaria integrada (LDI) bajo diferentes épocas de plantación, en el cultivo de lechuga cv. Crespa, en el sistema raíz flotante (provincia de Santa Elena).

Tabla 17. Evaluación de Luz diaria integrada (LDI) en diferentes épocas de plantación de lechuga cv. Crespa, en el sistema raíz flotante (provincia de Santa Elena).

ÉPOCA DE PLANTACIÓN	LDI (mol m ⁻² d ⁻¹)
Enero	24.48 b
Febrero	23.41 b
Marzo	31.67 a
Mayo	31.37 a
P- Valor	0.0009
F-Ratio	5,95
CV (%)	23.59

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Solución nutritiva

Según Mendoza (2017), la temperatura del agua adecuada para la mayoría de cultivos hidropónicos debe de estar entre 18 °C a 25 °C. Lara (2015) menciona que los valores menores a 15 °C disminuyen la absorción de calcio (Ca^{2+}), fósforo (H_2PO_4^-) y hierro (Fe^{2+}).

Sin embargo, en este ensayo no hubo problemas de bajas temperaturas en la mezcla de los estanques fertilizantes, ya que la variación de dicho parámetro fluctuó entre 26 °C y 29 °C, como mínima y máxima promedios, respectivamente (Tabla 18). Aunque como se aprecia también en la Figura 8 hubo días en que las temperaturas alcanzaron valores extremadamente altos. Santos y Ríos (2016) manifiestan que la temperatura máxima de la solución nutritiva puede llegar hasta los 30°C y si este valor es mucho mayor, la absorción de agua y elementos nutricionales puede verse afectada para la planta.

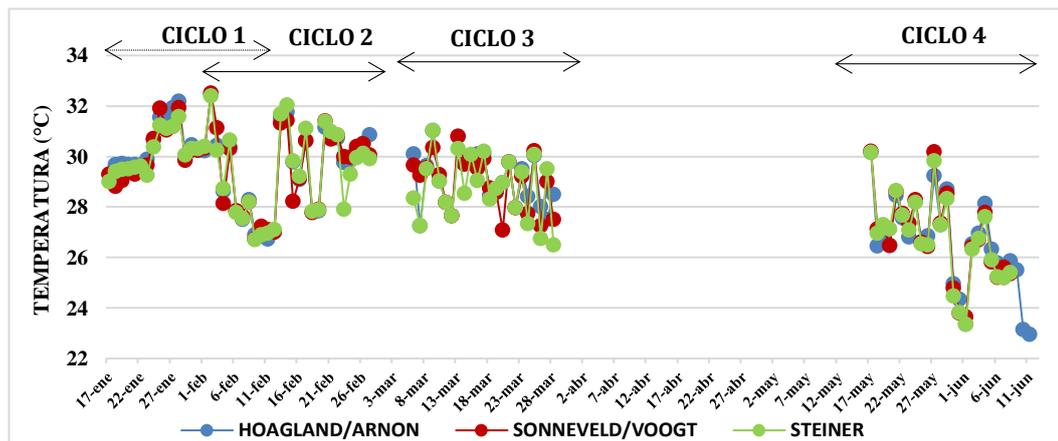


Figura 8. Dinámica de la temperatura de las soluciones fertilizantes en cultivos de lechuga hidropónica (raíz flotante con recirculación) cv. Crespa, en la provincia de Santa Elena.

De conformidad con Rodríguez (2018), el potencial de hidrogeno (pH) está relacionado con la disponibilidad de nutrientes. En condiciones hidropónicas se

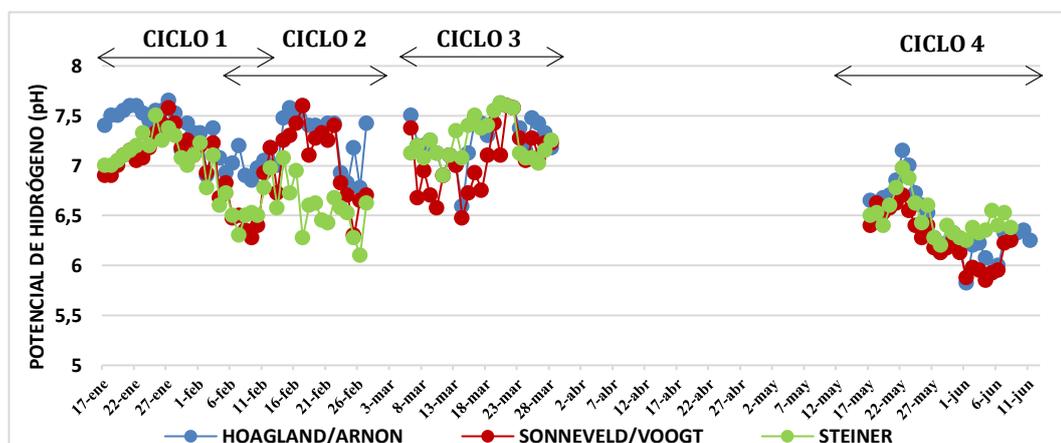
recomienda tener un pH entre 5.5 a 6.0 (Brenes y Jiménez, 2016). En la Figura 9 se muestra que el pH en todos los tratamientos estuvo sobre los 6.5 hasta los 7.5. Esto se debió al bajo contenido de bicarbonatos del agua, lo cual impidió una mayor aportación de ácido fosfórico como neutralizante de los bicarbonatos.

En los tres primeros ciclos los valores de pH estuvieron altos, mientras que en el ciclo cuatro (mayo) el pH fue mucho más bajo (Tabla 18). Por lo tanto se deduce que el potencial de hidrógeno no estuvo tan relacionado con la mezcla fertilizante si no más bien con la temperatura ambiental. Se demostro diferencia significativa (F 29.8; p 0.001) entre los ciclos del cultivo.

La respuesta a diferentes relaciones $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ se debe al efecto que tiene ésta en función de la variedad, luminosidad y etapa de desarrollo, entre otros factores (Lara, 2015).

Santos y Ríos (2016) indican que los cambios de acidez en la solución ocurren a medida que cambia el balance de la solución nutritiva. Es decir, al iniciar un cultivo el pH tiende a elevarse, pero a medida que la planta se establece y las raíces comienzan a absorber nutrientes, el pH tiende a bajar entre 6 y 6.5.

Esto se debe a la exudación de la raíz, si la planta toma aniones (NO_3), la raíz libera OH para mantener el equilibrio de cargas, alcalinizando la solución. Mientras que la absorción de cationes (NH_4) produce un exceso de carga negativa que la planta intenta neutralizar segregando cationes de hidrógeno H^+ (Favela *et*



al., 2006).

Figura 9. Dinámica del potencial de hidrógeno (pH) de las soluciones fertilizante en cultivos de lechuga hidropónica cv. Crespa, en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

La conductividad eléctrica fue el parámetro más crítico en los ciclos uno y dos del cultivo de lechuga, especialmente en la solución Steiner con un promedio de 3.3 dS m⁻¹, provocando quemadura en los bordes de las hojas. Por su parte los tratamientos Sonneveld/Voogt, Hoagland/Arnon presentaron valores de 2.1 y 2.3 dS m⁻¹, respectivamente (Tabla 18).

A partir del tercer y cuarto ciclo del cultivo se ajustó el criterio de recirculación y la renovación de la solución nutritiva considerando no superar una CE de 2.5 dS m⁻¹. Según Benavides *et al.* (2014), cuando la solución supera el óptimo de conductividad eléctrica de 1.5 a 3.0 dS m⁻¹, al reponer el nivel del tanque fertilizante, se debe agregar únicamente agua y en caso contrario cuando esté por debajo del límite se debe renovar la solución. Lara (2015), cuando este parámetro aumenta disminuye la capacidad de la planta de absorber agua y nutrientes.

Mendoza (2017) recalca que si la CE es menor a la que requiere la planta provoca la deficiencia de elementos y cuando son mayores a 6 dS m⁻¹ incita al déficit hídrico y aumenta la relación $K^+/(Ca^{2+} + Mg^{2+} + NH_4^+)$, ocasionando desbalances nutricionales. No todos los nutrimentos son perjudicados en igual medida. Los que se mueven por el flujo de masas, como el Ca^{2+} y en menor medida el Mg^{2+} se absorben en menor cantidad, de este modo se puede inducir deficiencia de Ca^{2+} .

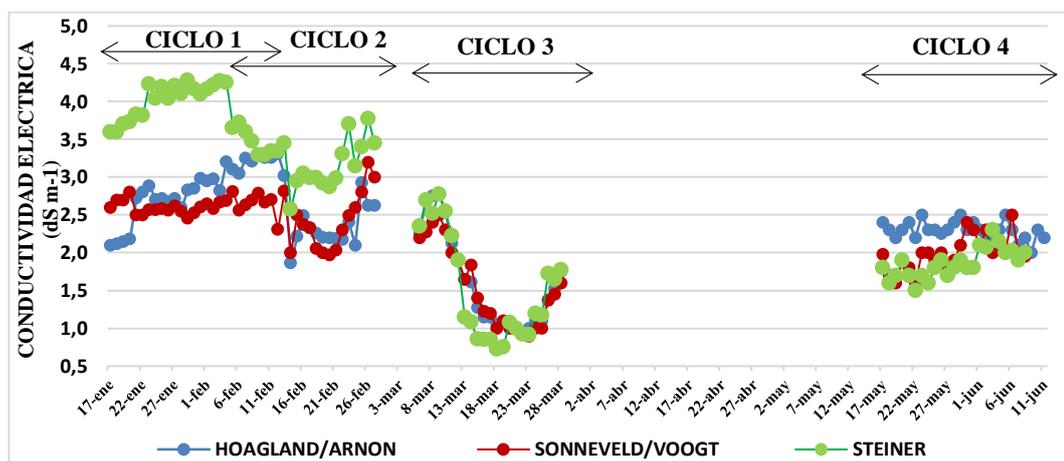


Figura 10. Dinámica de la conductividad eléctrica (CE) de las soluciones fertilizantes, en un cultivo de lechuga hidropónica cv. Crespa, en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

Tabla 18. Evaluación de parámetros químicos promedios de los ciclos en un cultivo de lechuga hidropónica, en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

TRATAMIENTOS	PARÁMETROS QUÍMICOS		
	TEMP	PH	CE
Hoagland/Arnon	29.0 a	7.1 a	2.3 b
Sonneveld/Voogt	29.0 a	6.8 b	2.1 b
Steiner	30.0 a	7.0 a	3.3 a
P- Valor	0.001	0.001	0.001
CV (%)	7.01	6.9	16.4

Fuente: Elaboración propia.

En las mediciones de oxígeno disuelto (O_2) no hubo diferencia significativa (T 6.3; P 0.210) entre las posiciones ni entre tratamientos (Tabla 19). En este ensayo los niveles de oxígeno estuvieron entre 5.7 y 6.6 $mg\ L^{-1}$, considerados adecuados para la especie. Estos resultados concuerdan con Catata (2015), quien explica que la lechuga es la que más tolera la falta de oxígeno, sin embargo, se recomienda que la solución mantenga una concentración de 4 a 8 $mg\ L^{-1}$.

Rodríguez (2018), menciona que la oxigenación está relacionada con la temperatura de la solución. Para la mayoría de los cultivos bajo invernadero lo adecuado sería mantenerla cerca de los 22 °C para satisfacer la demanda de la planta.

La falta del O_2 induce a la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz (Catata, 2015). En estos ensayos a pesar de haber tenido temperaturas mayores a 25°C las raíces no fueron afectadas severamente por falta de oxigenación.

TRATAMIENTOS	OXÍGENO DISUELTO ($mg/L-1$)		
	Inicio	Medio	Final
Hoagland	6,5 aA	6,02 aA	5,7 aA
Sonneveld	5,13 aA	6,8 aA	5,7 aA
Steiner	5.52 aA	6,25 aA	5,9 aA
P- Valor	0.102	0.08	0.29

Tabla 19.	CV (%)	17.2	12.8	18.5	Evaluación del oxígeno disuelto en las soluciones fertilizantes en un cultivo de lechuga hidropónica en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.
------------------	--------	------	------	------	---

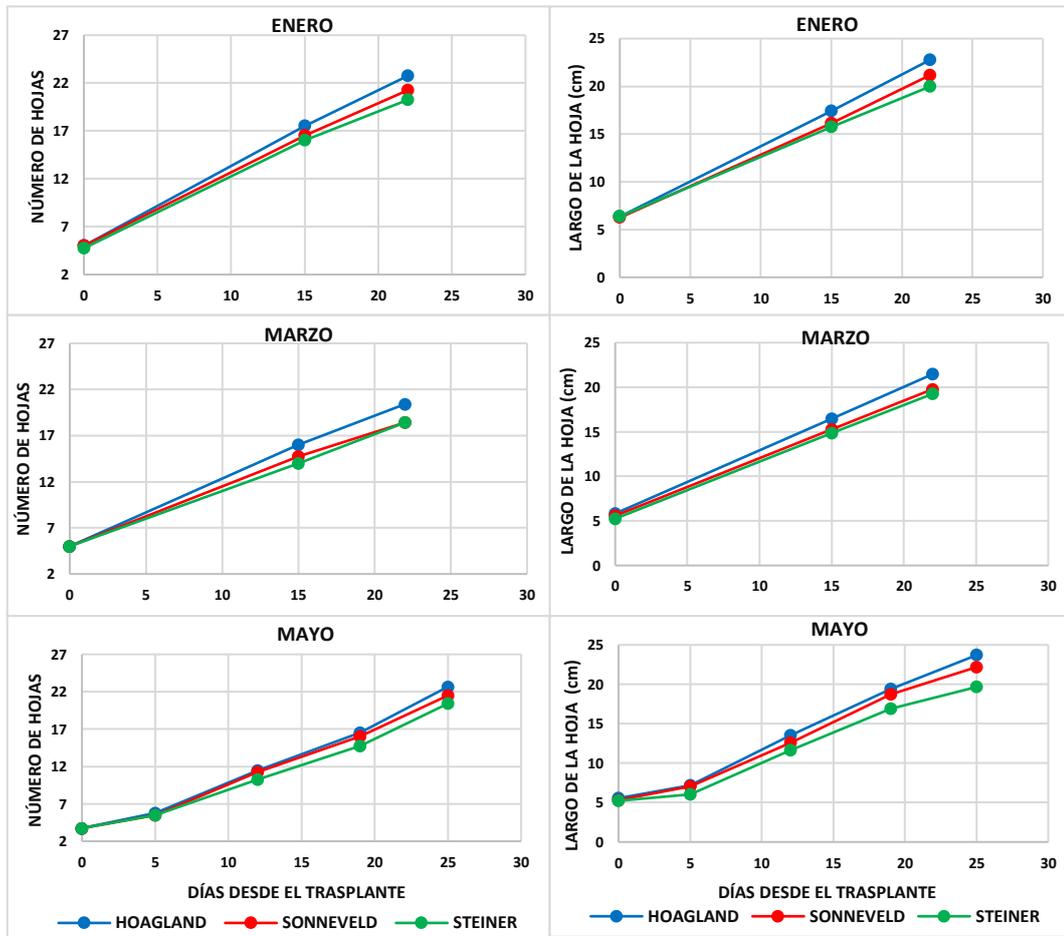
Fuente: Elaboración propia.

Nota: las letras minúsculas representan las mediciones entre posiciones y las letras mayúsculas representan las mediciones entre tratamientos.

3.5. Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica

Los cultivos tuvieron una duración entre 21 a 25 días, según la época de plantación. Las soluciones fertilizantes mostraron diferencias significativas ($F_{3.51}$; $p_{0.005}$) sobre las variables número y ($F_{4.2}$; $p_{0.002}$) para el largo de hoja desde los 15 días después del trasplante (Figura 11). Los resultados alcanzados son superiores a los obtenidos por Mendoza (2017) quien reportó a los 7 y 14 DDT un promedio de 6 y 10 hojas por planta y de 8 y 12 cm de longitud de hoja. Esto se debe a la variedad de lechuga utilizada cv. Green Leaf que se caracteriza por ser una planta mediana y de hojas sueltas.

A su vez Delgado (2016) alcanzó cifras 23% más elevadas para la variable número de hojas, sobre las plantas de lechuga cv. Salad Bowl verde, bajo la



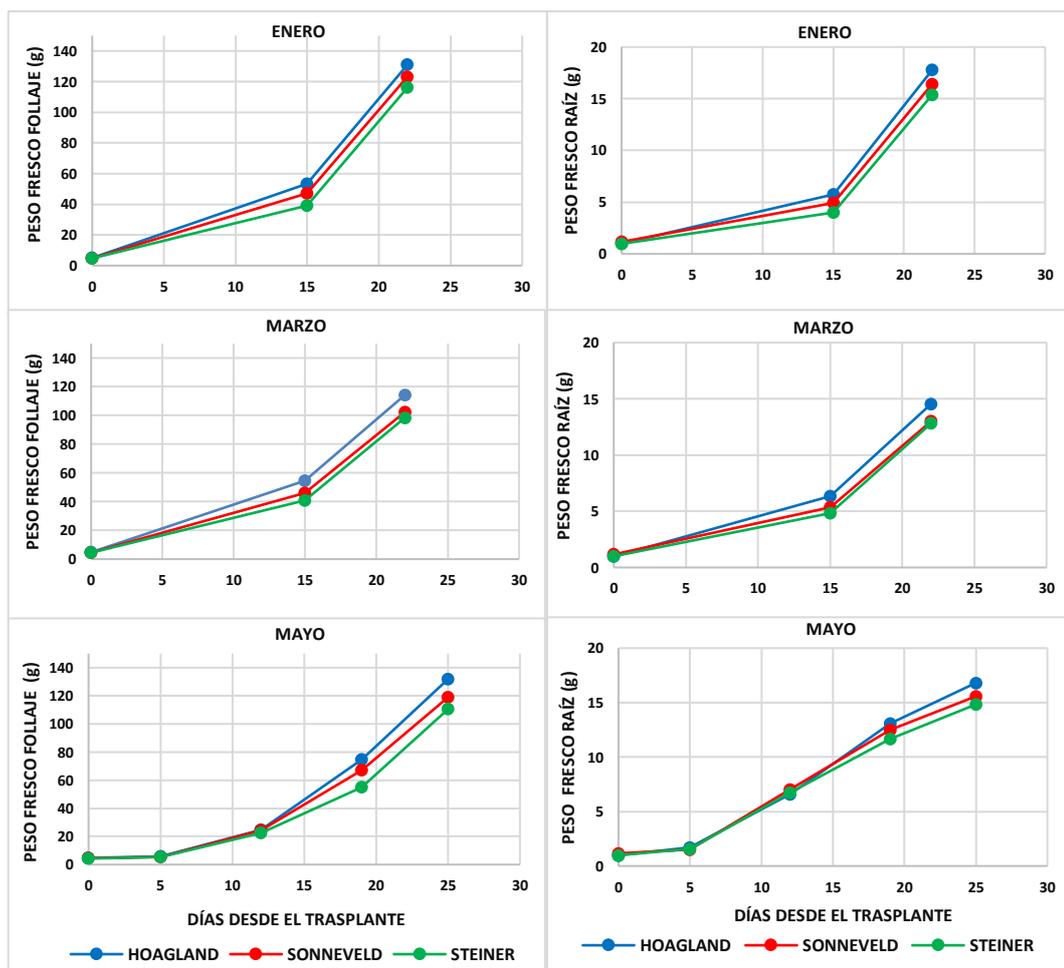
aplicación de fitohormonas y quelatos inorgánicos y orgánicos.

Figura 11. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el número y largo de hoja de la planta de lechuga cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

Las soluciones fertilizantes mostraron diferencias significativas sobre las variables peso fresco del follaje (F 6.1; p 0.031) y (F 5.3; p 0.028) para el peso fresco raíz a partir de los 15 después del trasplante (Figura 12), donde Hoagland/Arnon presentó los valores más altos 80 g para el peso fresco follaje y 12 g para el peso fresco radicular seguidos por Sonneveld/Voogt, mientras que Steiner obtuvo las cifras más bajas.

Los resultados del ensayo fueron similares a los presentados por Gutiérrez (2015), cuya lechuga cv. Cortesana alcanzó a los 10 y 17 DDT un promedio de 24 y 101 g de peso follaje y de 5 y 15 g de peso radicular, respectivamente; trabajando con un distanciamiento entre hileras y plantas de 16 cm.

Mendoza (2017) quien comparó las plantas de lechugas de los cv. Green Leaf, Grand Rapids y Lollo Bionda (todas var. acepahala) encontró valores 20% superior para la variable peso fresco a los 7 y 14 DDT, bajo el sistema hidropónico NFT tipo piramidal con diferentes niveles de aireación donde la lechuga cv. Green Leaf obtuvo los mejores promedios de pesos tanto de la parte

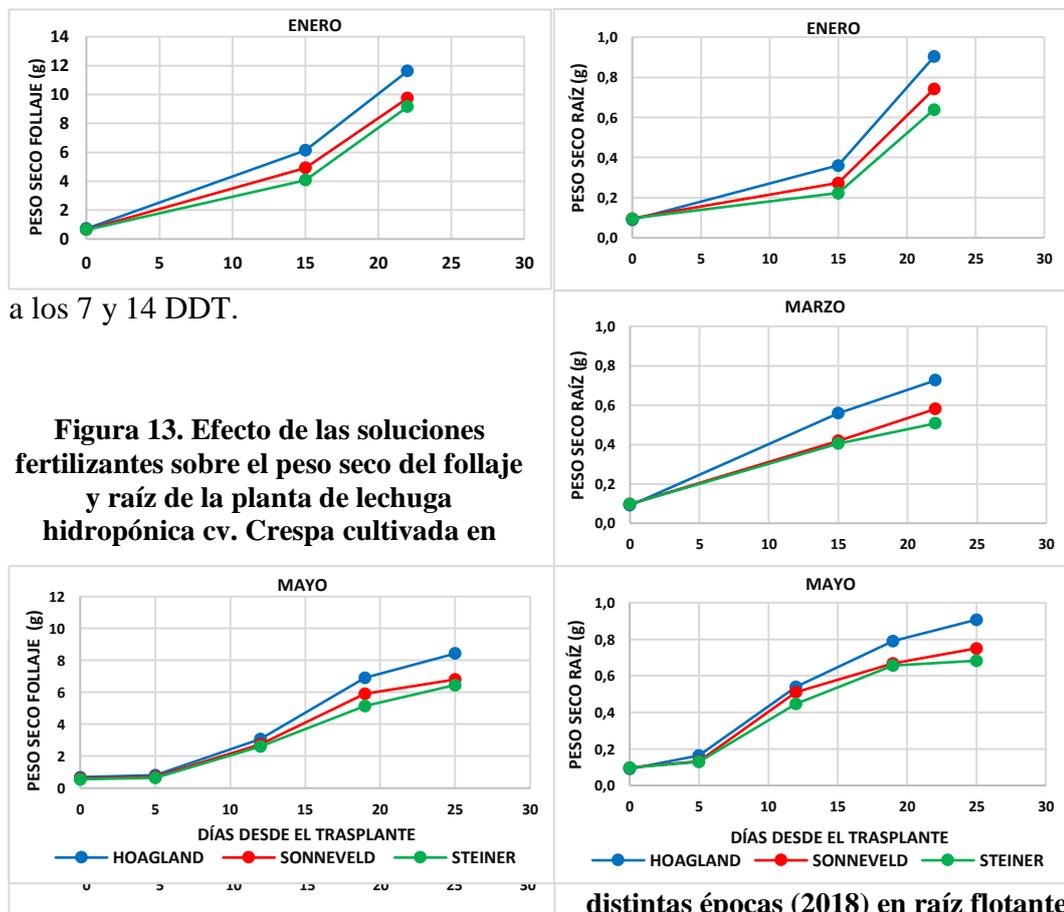


aérea y radicular.

Figura 12. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre peso fresco follaje y raíz de la planta de lechuga cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

Las soluciones fertilizantes mostraron diferencias (F 4.8; p 0.002) para la variable peso seco follaje y (F 6.9; p 0.010) raíz a partir de los 15 después del trasplante, donde la formulación Hoagland/Arnon obtuvo los mejores resultados de 0.5 g para peso seco follaje y 0.6 g para peso seco radicular a diferencia de Sonneveld/Voogt y Steiner (Figura 13).

De igual manera Gutiérrez (2015) que evaluó cifras similares a los del presente trabajo, a los 17 DDT con valores promedios de 4.9 g de peso seco follaje y 0.7 g de peso raíz, bajo la técnica de raíz flotante. Mendoza (2017), cuyas plantas de lechuga cv. Green Leaf crecieron en el sistema NFT vertical., obtuvo cifras 10% superiores en peso seco del follaje y raíz



a los 7 y 14 DDT.

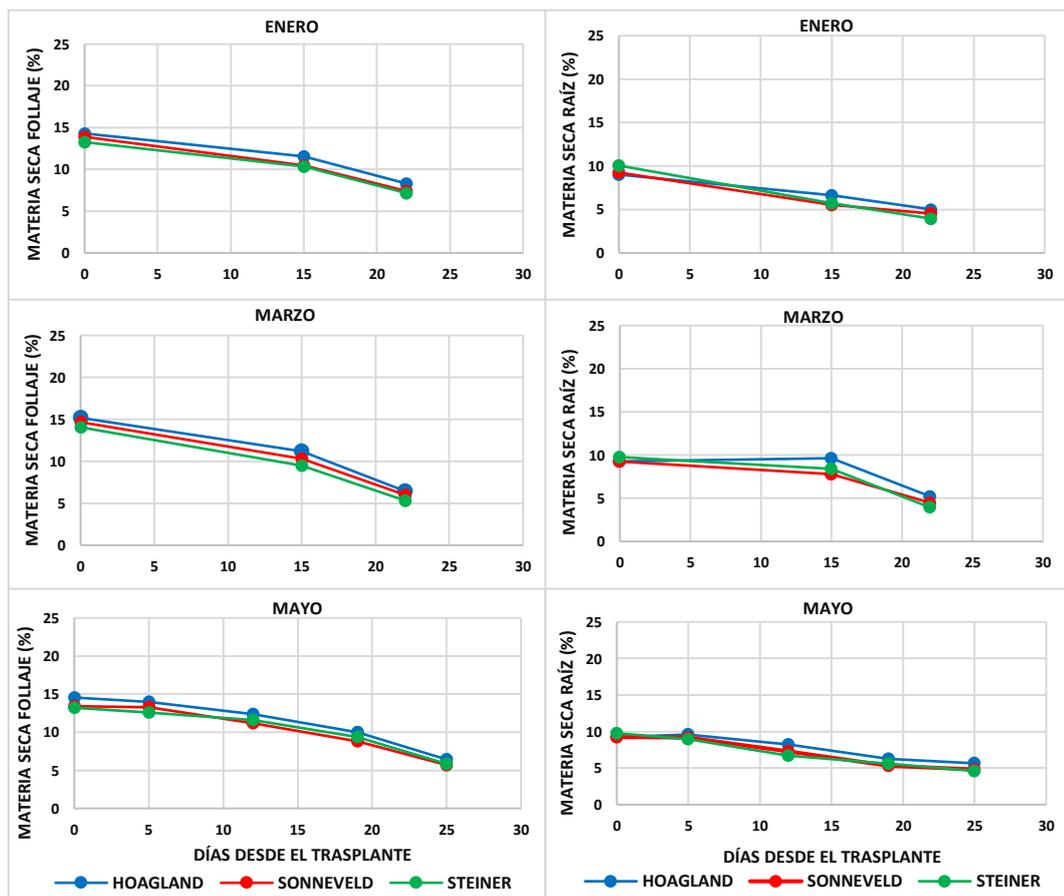
Figura 13. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el peso seco del follaje y raíz de la planta de lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en

distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

Las soluciones fertilizantes no mostraron diferencias significativas a los 15 y 19 después del trasplante (T 9.21; p 0.093) para la variable porcentaje de materia follaje y (T 10.1; p 0.061) para la materia raíz (Figura 14). Gutiérrez (2015) quien

alcanzó valores similares a estos resultados, cuyos promedios fueron 4.9% de materia seca follaje y de 4.6% de materia seca raíz a los 17 DDT. Él evaluó plantas de lechuga cv. Cortesana cultivada bajo la técnica raíz flotante.

Los resultados alcanzados por Mendoza (2017), con el cv. Grand Rapids, superaron en 4.1% a los resultados propios para la variable materia follaje, la cual fue medida a los 14 DDT. Este cultivar se caracteriza por ser de tamaño grande y



de hojas sueltas y anchas.

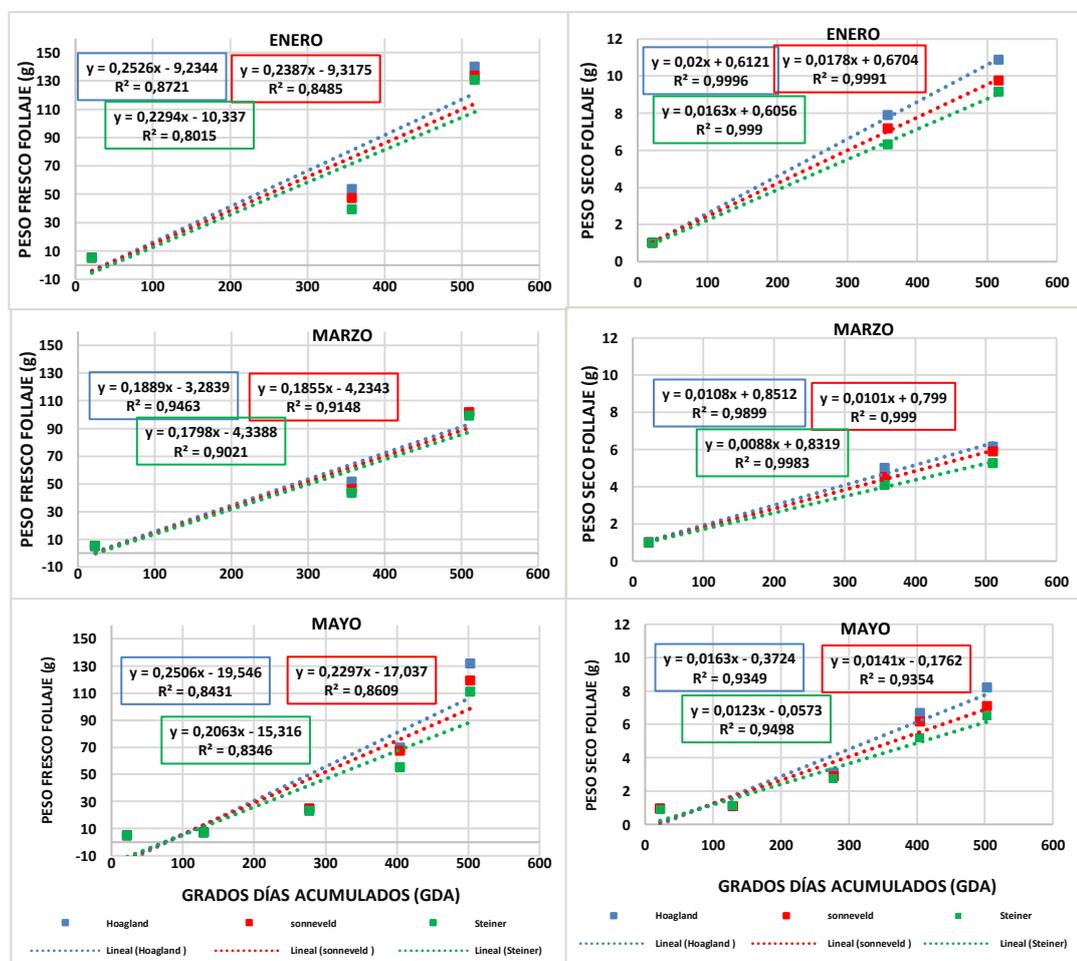
Figura 14. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre la materia seca del follaje y raíz de la planta de lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

Todas las épocas de cultivo presentaron una relación lineal simple entre los grados día y la acumulación de biomasa, expresada como peso fresco y seco de follaje. El mejor ajuste para ambas variables se presentó en la siembra de marzo y en general el ajuste fue mayor con el peso fresco (Figura 15).

Para efectos prácticos la variable peso fresco cultivada bajo la solución Hoagland/Arnon presentó la mejor formulación. La Ecuación 5 describe el modelo de crecimiento de esta variable estimando la duración del rendimiento del ciclo de lechuga hidropónica.

$$y = 0,1889 x - 3,2839 \quad R^2 = 0,9463 \quad (5)$$

Estos resultados obtuvieron coeficientes de determinación (R^2) mayores a los reportados por Tarqui *et al.* (2017), quien presenta para dos épocas del cultivo ecuaciones a cosecha con coeficientes de determinación de 54.2 y 29.6 %. Por otra parte, Almaguer *et al.* (2014), reportan que la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) y los GD presentaron una correlación lineal de $R^2 = 0.83$ para peso fresco y $R^2 = 0.91$ para el peso seco. El mejor ajuste se presencié a los



21 días después del trasplante.

Figura 15. Análisis de regresión para la relación entre la variable peso fresco y seco de follaje y los grados días acumulados en lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

Otra forma de ajustar la descripción de la acumulación de biomasa es relacionando la luz diaria integrada y los grados días, llamada relación fototérmica (PTR). En la Figura 16 se observa que el crecimiento de las plantas fue mayor cuando se acumularon $20 \text{ mol m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (segunda semana desde el trasplante).

Para obtener el peso mínimo requerido según la Norma Técnica Colombiana (150 g), se requiere acumular 52 a $50 \text{ mol m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para la lechuga cv. Crespa cultivada bajo la solución Hoagland/Arnon. El mejor ajuste se presentó en la siembra de marzo (Ecuación 5) sobre la variable peso fresco.

$$y = 0,1889 x - 3,2839 \quad R^2 = 0,9463 \quad (5)$$

El mismo comportamiento fue observado por Quintero (2015) quien evidenció como el crecimiento del cultivo fue lento y lineal hasta que se acumularon $60 \text{ mol m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para las variedades Lollo Rosso, Casabela y Vera, respectivamente. Bajo cubierta térmica esta autora encontró un requerimiento promedio de $98 \text{ mol m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ mientras que bajo cubierta convencional fue de $102 \text{ mol m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Beiker (2014) obtuvo resultados similares con lechuga var. acephala cv. Lollo Rosso.

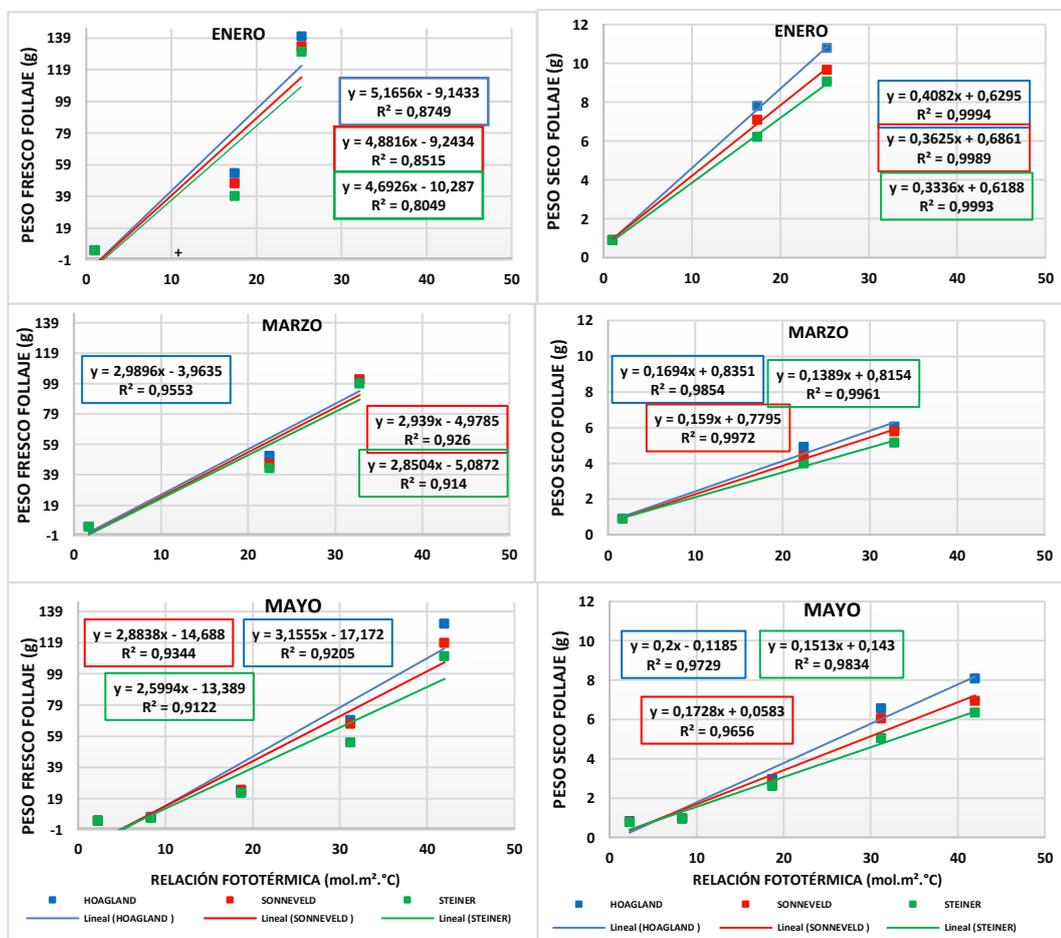


Figura 16. Análisis de regresión para la relación entre la variable peso fresco y seco de follaje y la Relación fototérmica acumulada en lechuga hidropónica cv. Crespa cultivada en distintas épocas (2018) en raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

3.6. Cosecha de lechuga hidropónica

Número y largo de la hoja

Las soluciones fertilizantes mostraron diferencia entre los tratamientos (F 5.91; p 0.001) para la variable número de hojas y (F 9.7; p 0.001) para el largo de hoja (Tabla 20). La formulación Hoagland/Arnon alcanzó valores 8 y 9% superiores

respecto a Sonneveld/Voogt y Steiner, con 22 hojas y 22.2 cm de longitud por planta. Magaña (2015) reportó cifras similares a estos resultados, cuyos promedios fueron 24 hojas por planta y 25 cm de longitud para la lechuga cv. Great Lakes. Él utilizó una concentración del 50% de la solución Steiner más la adición de ácidos húmicos y fúlvicos en sistema raíz flotante.

Velasco *et al.* (2016), cuyas lechugas cv. Crespa obtuvieron 15 hojas por planta⁻¹, fueron cultivadas con fertilizantes comerciales más la aplicación de humus líquido y micorrizas. Por otra parte, Delgado (2016) cultivando con la solución “La Molina” más una dosis de fitohormonas y quelatos inorgánicos y orgánicos cosechó plantas de lechuga var acephala con 26 hojas por planta y 16 cm de longitud.

Altura de planta

Hubo diferencia significativa ($F 4.72$; $p 0.034$) para la variable altura de la planta. La solución Hoagland/Arnon y Sonneveld/Voogt obtuvieron los mejores resultados con un promedio de 16.4 cm de altura, mientras que Steiner presentó las cifras más bajas (Tabla 20).

Estos valores fueron mayores a lo obtenido por Magaña (2015) quien cosechó plantas de 14.5 cm de altura bajo la solución Steiner más la adición de ácidos húmicos y fúlvicos en el sistema raíz flotante. Keiser (2017) evaluó lechugas del cv. Salinas de hojas sueltas reportando 15.5 cm de altura similares a los resultados obtenidos en el ensayo, con una dosis de 500 g de nitrato de potasio. Delgado (2016), cultivó lechugas cv. Green Leaf alcanzando cifras superiores con 19.2 cm de altura. Los valores más bajos los presentaron las lechugas de Mendoza (2017), quien obtuvo plantas con promedio de 13.9 cm de alto.

Longitud de la raíz

Las soluciones fertilizantes no presentaron diferencias entre las formulaciones ($T 5.9$; $p 0.051$) para la variable longitud de raíz (Tabla 20). La solución Hoagland/Arnon superó, con 25.7 cm de longitud a diferencia de las soluciones Sonneveld/Voogt y Steiner. Los valores obtenidos por Mendoza (2017) muestra

cifras similares para el cultivar de lechuga cv. Green Leaf el cual logró 21.6 cm de longitud bajo el sistema NFT tipo piramidal.

Los valores obtenidos por Velasco *et al.* (2016) con lechuga cv. Crespa fueron de 24 cm de longitud radicular, utilizando diferentes dosis de humus líquido y micorrizas. Rodríguez (2018) indica que las raíces tienden a ser cortas debido a los efectos sinérgicos de factores como la radiación solar y la concentración de nutrientes. Estos resultados se evidencian en zonas de fuerte radiación y ambiente seco.

Peso fresco de la parte aérea y radicular

Las soluciones fertilizantes presentaron diferencias significativas para las variables peso fresco del follaje (F 4.51; p 0.001) y (F 6.15; p 0.001) para la raíz (Tabla 20). La formulación Hoagland/Arnon alcanzó, con 125 g de peso fresco follaje y 16 g de peso fresco raíz, valores 10% superiores respecto a Sonneveld/Voogt y Steiner, los cuales no se diferenciaron entre sí.

Carreón (2015), utilizando la misma formulación nutritiva Hoagland/Arnon en lechugas cv. Romana bajo sistema de raíz flotante obtuvo plantas con 158 y 22 g de peso fresco follaje y raíz. Por su parte Robredo *et al.* (2014) observaron un incremento del área foliar y radicular en el cultivo de orégano aplicando la formulación Hoagland/Arnon.

Gutiérrez (2015) manifestó cifras similares utilizando lechuga cv. Cortesana en el sistema raíz flotante y cosechando plantas con promedios de 121.5 y 15.2 g de peso fresco foliar y radicular. La distancia entre plantas fue 16.5 cm en tres bolillos, con diferentes dosis de sulfato de hierro y ácidos húmicos.

Peso seco de la parte aérea y radicular

Las soluciones mostraron diferencias significativas (F 4.79; p 0.003) para las variables peso seco de la parte aérea y (F 7.45; p 0.001) para la parte radicular (Tabla 20). Las soluciones Hoagland/Arnon y Sonneveld/Voogt mostraron cifras de 19% y 12% superiores a Steiner, respectivamente. Los números promedios fueron 7.95 g de peso seco follaje y 0.76g de peso seco raíz. Estos valores de peso

radicular pudieron verse afectado por la temperatura de la solución ya que tiene relación en el decrecimiento de las raíces, debido a que si este parámetro es mayor a 22 °C el oxígeno disuelto de la solución disminuye provocando la pérdida del 30% de volumen radicular (Rodríguez, 2018).

Gutiérrez (2015), cuyas plantas de lechuga cv. Cortesana lograron 8.8g de peso seco foliar y 1g de peso seco radicular, fueron cultivadas bajo el sistema raíz flotante. Magaña (2015), quien utilizó el 50% de la solución Steiner más la adición de ácidos húmicos y fúlvicos en sistema raíz flotante, cosechó plantas de lechuga cv. Great Lakes con 1,8 g de peso seco follaje y 1,4 g de peso raíz.

Las lechugas cv. Green Leaf cultivadas en NFT por Mendoza (2017) demostraron valores superiores de 5.3g e inferiores de 0.7 g de peso seco foliar aérea y radicular, respectivamente. A su vez Gutiérrez (2014) muestra valores de 4.5 y 0.9 g de peso seco alcanzados por plantas de lechuga var. Crispa en el sistema raíz flotante bajo el efecto de sulfato de hierro y ácidos húmicos.

Materia seca parte aérea y radicular

No hubo diferencia significativa ($T 10.4$; $p 0.096$) entre los tratamientos sobre la variable porcentaje de materia seca follaje. Se mostraron diferencias significativas ($F 3.53$; $p 0.016$) en la variable porcentaje de materia seca raíz. La solución Steiner obtuvo plantas con 4.74% de materia seca raíz, valores inferiores comparados con la solución Hoagland/Arnon, Sonneveld/Voogt y Steiner (Tabla 20).

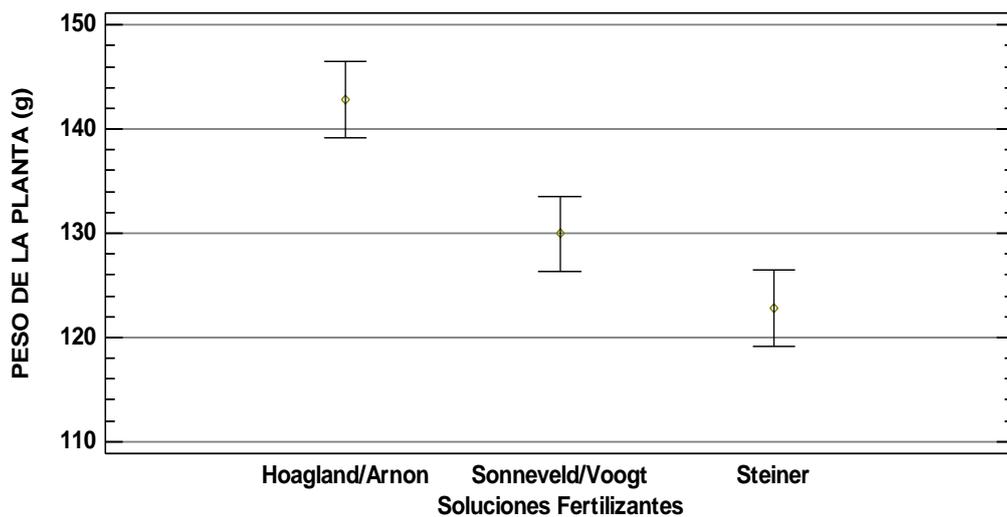
Según Gutiérrez (2014), quien evaluó plantas de lechuga var. Crispa, reportó valores de 3.85 % de materia seca foliar y 4.08% de materia seca radicular en el sistema de raíz flotante. A su vez Mendoza (2017) quien reportó 4.8 y 4.3% para ambas variables de peso seco, utilizó plantas de lechuga cv. Green Leaf bajo el sistema hidropónico NFT.

Los resultados alcanzados por Legrare (2014), indican 3.4% materia seca foliar obtenida por lechugas var acephala, bajo la solución nutritiva Hoagland/Arnon

diluida al 50%. Estos valores se deben a la disminución de biomasa debido al efecto de la radiación UV-B sobre el fotosistema.

Rendimiento

Hubo diferencias significativas ($T 4.7$; $p 0.001$) entre los tratamientos fertilizantes respecto al rendimiento por planta completa, considerando follaje y raíz ya que las lechugas hidropónicas pueden comercializarse con raíz para demostrar su frescura y que tengan una mayor vida de postcosecha. La lechuga cv. Crespa bajo la solución Hoagland/Arnon obtuvo el mejor rendimiento por planta, con un peso promedio entre fechas de plantación, de 139 g cosechados entre los 22 y 25 días



después del trasplante (Figura 17).

Figura 17. Rendimiento de lechuga hidropónica (raíz flotante) cv. Crespa bajo las diferentes soluciones fertilizantes, entre los meses de enero a junio del 2018 en la provincia de Santa Elena.

Cajo (2016) a los 80 DDT obtuvo plantas de lechuga cv. Crespa con un promedio de 154 gramos planta⁻¹ bajo el sistema NFT. Las lechugas cultivadas por Velasco *et al.* (2016) presentaron un rendimiento similar con un promedio de 140 g planta⁻¹ a los 30 DDT, en el sistema raíz flotante bajo una dosis de humus de lombriz más micorrizas.

Rodríguez (2018) reportó un rendimiento superior con 230 g planta⁻¹ en el sistema raíz flotante con plantas de color y tamaño uniforme debido a su distribución horizontal y distanciamiento de 20 cm entre plantas.

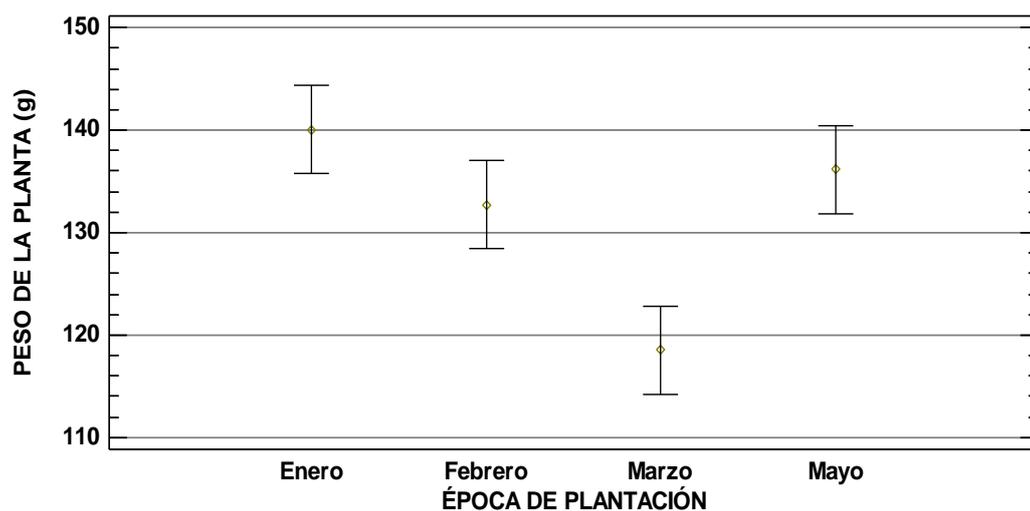
Robredo *et al.* (2014), con lechuga cv. Crespa obtuvieron 359.7 y 364.1 g planta⁻¹ para la solución Sonneveld/Voogt y Hoagland/Arnon, respectivamente. Estos resultados tienen relación con la disponibilidad de agua en la solución nutritiva, la cual es determinada por el potencial osmótico cuyos valores fueron -1.11 para Sonneveld/Voogt y -0.91 para Hoagland/Arnon. Mientras más negativo sea el potencial osmótico, más concentrada será la solución y menor será la disponibilidad de agua para las plantas.

Al comparar los rendimientos a través del año, como promedio de las soluciones fertilizantes, se observan variaciones considerables entre las cuatro fechas de trasplante (F-valor 9.62; p-valor 0.001). En la Figura 18 se muestra el peso promedio de la planta alcanzado entre los cultivos realizados entre los meses de enero a mayo, el cual alcanzó entre 114.2 y 139.3 g.

Los resultados indican que estos pesos fueron suficientes según la norma española (Junta de Andalucía, 2013) y panameña (Morán *et al.*, 2005) (mínimo 100 g), pero insuficientes según las Normas Técnicas Colombianas (1994). Éstas exigen que un envase de lechuga hidropónica debe de contener al menos de 150 g de producto incluyendo las raíces. Para Ecuador no existe aún norma al respecto, pero en el mercado nacional se encuentran empaques de lechuga hidropónica con 100 a 200 g. A pesar de las condiciones ambientales en las que crecieron las plantas, alejadas del óptimo, en particular la alta temperatura y radiación, se logró llegar a lechugas con peso y calidad comercial, aunque dichas condiciones incidieron en la precocidad de la cosecha y la emisión del escape floral.

Legrare (2014) manifiesta que la temperatura es un factor que incide en el tiempo de cosecha, asociada a la intensidad de luz recibida por la planta, la cual acelera su crecimiento. Mientras que Gutiérrez (2015) indica que la temperatura también incide en la parte foliar del cultivo, es decir que las plantas no logran el peso óptimo cuando son cultivadas bajo un clima cálido, pero logra mayor calidad de hojas.

Por otra parte la densidad o distancia entre las plantas implica la intervención principal de la luz, es decir, la cantidad adecuada de luz determina que la planta



adquiera un desarrollo normal en cuanto a cantidad y tamaño de hojas, este proceso fisiológico a su vez incide en el rendimiento (Rodríguez, 2018).

Figura 18. Rendimiento de lechuga hidropónica cv. Crespa bajo cuatro épocas de plantación (2018) en un cultivo de raíz flotante con recirculación, en la provincia de Santa Elena.

Tabla 20. Efectos de las soluciones fertilizantes sobre las variables tomadas a cosecha de la planta de lechuga cv. Crespa, cultivado entre enero y mayo del 2018, en la provincia de Santa Elena.

VARIABLES	P-Value	CV (%)	SOLUCIÓN FERTILIZANTE		
			Hoagland/Arnon	Sonneveld/Sonneveld	Steiner
Número de hojas	0.001	7.45%	22.02 a	20.47 b	19.80 b
Largo de la hoja (cm)	0.008	8.02%	22.2 a	21.25 b	20.15 c
Altura de la planta (cm)	0.034	6.86%	17.00 a	16.40 b	15.80 c
Longitud de la raíz (cm)	0.051	6.85%	25.70 a	24.70 a	24.30 a
Peso fresco follaje (g)	0.001	9.8%	126.22 a	114.82 b	108.52 b
Peso fresco raíz (g)	0.001	12.11%	16.57 a	15.12 b	14.44 b
Peso seco follaje (g)	0.003	17.22%	8.42 a	7.59 ab	7.08 b
Peso seco raíz (g)	0.001	16.90%	0.83 a	0.73 ab	0.68 b
Materia seca follaje (%)	0.096	8.42%	6.77 a	6.35 a	6.24 a
Materia seca raíz (%)	0.016	6.43%	4.88 a	4.84 a	4.74 b
Peso de la planta (g)	0.001	9.20%	142.80 a	129.94 b	122.82 c

Fuente: Elaboración propia

Los valores con letra común dentro de las filas, no representan diferencia significativa con $p \leq 0.05$.

Nota: p-Valor=Nivel de significancia; CV= Coeficiente de variación.

3.7. Análisis foliar

No hubo diferencia significativa entre las soluciones fertilizantes para el contenido de macronutrientes foliar. Sin embargo, los niveles de nitrógeno (N), Potasio (K) y Magnesio (Mg) fueron deficientes según referencias para cultivos de lechuga hidropónica bajo cubierta (Campbell, 2013) (Tabla 21).

Las concentraciones de los elementos Fósforo (P) y Calcio (Ca) fueron satisfactorias bajo las tres formulaciones: Hoagland/Arnon, Sonneveld/Voogt y Steiner. El cultivo no sobrepasó los niveles de cadmio (Cd) en sus tejidos, ya que el agua de origen no tenía problemas de metales pesados.

Tabla 21. Efectos de las soluciones fertilizantes sobre las concentraciones de nutrientes y cadmio en la lechuga cv. Crespa, expresado en porcentaje.

TRATAMIENTO	Concentración (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	Cd
Hoagland/Arnon	4.4	0.6	5.1	1.4	0.2	11.9
Sonneveld/Voogt	3.5	0.5	4.5	1.3	0.2	12.9
Steiner	3.4	0.6	4.5	1.3	0.2	14.7
P- Valor	0.1931	0.4126	0.1841	0.5280	0.4341	0.2188
CV (%)	18.2	9.09	13.18	5.63	152.06	19.56
Rango adecuado*	4.5-6.5	0.35-0.65	6-10	1-2	0.35-0.75	22-24

Fuente: INIAP (2018); * Fuente: Campbell (2013).

3.8. Consumo de agua

El cultivo de lechuga cv. Crespa bajo el sistema hidropónico raíz flotante consumió alrededor de 2.5 litros de agua m⁻² por día y 60 L m⁻² por ciclo, como promedio de los cuatro tratamientos fertilizante (Tabla 23). El consumo de agua puede variar a lo largo del ciclo de producción de la planta, debido a las variaciones de temperatura de la solución nutritiva (Gutiérrez, 2015). Las plantas creciendo en la formulación Sonneveld/Voogt fueron las que más agua consumieron y Hoagland/Arnon las que menos.

La demanda de agua en el sistema convencional a campo abierto estuvo entre 5.2 a 6.7 mm diarios, estos valores cambian en dependencia de la época del año en que se produzca el cultivo (Saavedra, 2017). Según Defilipis *et al*, (2014) la respuesta al riego de lechuga cultivada en invernadero se mostró constante para el ciclo invernal con valores que oscilaron entre 0,88 y 1,99 mm diarios, mientras que en el ciclo primaveral el valor se duplicó a 3,86 mm diarios siendo el ciclo que registró mayor consumo de agua.

Según Pinzón (2012) las necesidades de agua de la planta de lechuga cultivada en el suelo pueden ir desde $0,5 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ cuando las plantas son pequeñas, hasta más de $4 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para las plantas maduras. Este autor indica que la población de plantas cultivadas en campo abierto oscila entre 14 a 18 plantas m^{-2} , mientras que las cultivadas bajo invernadero entre 20 a 25 plantas m^{-2} , aproximadamente. En ambos casos para la lechuga cv. Milanese.

Tabla 22. Efecto de las soluciones fertilizantes sobre el consumo de agua en el cultivo de lechuga cv. Crespa.

TRATAMIENTOS	VOLUMEN APLICADO	CONSUMO DEL CULTIVO	
		AGUA	
	Contenedor (L)	$\text{L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$	$\text{L m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$
Hoagland/Arnon	80	2.6	57.5
Sonneveld/ Voogt	80	2.8	63.2
Steiner	80	2.7	58.7
Promedio	80	2.5	60

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Las soluciones fertilizantes se mostraron diferentes a partir los quince días después del trasplante en las variables: número y largo de la hoja, altura de planta, peso de la raíz, peso fresco y seco de la parte aérea y radicular. La solución Hoagland/Arnon alcanzó los mejores resultados en dichas variables.

La cosecha de lechuga cv. Crespa varió para las distintas épocas de plantación entre los 22 y 25 días después del trasplante, necesitando como promedio 505 grados días acumulados para la emisión del escapo floral. Esto permite estimar de 10 a 12 cosechas anuales de lechuga hidropónica en la provincia de Santa Elena.

El pH de las soluciones nutritivas se mantuvo siempre en rangos adecuados. La conductividad eléctrica de la solución nutritiva fue crítica bajo la solución Steiner. Las formulaciones Hoagland/Arnon y Sonneveld/Voogt presentaron los niveles más cercanos al óptimo para el cultivo. En cuanto a la temperatura de solución hubo excesiva temperatura en las mezclas fertilizante, sin embargo, no se apreciaron daños evidentes a las plantas.

Las condiciones ambientales en las que crecieron las plantas incidieron en el peso comercial de la lechuga. Los principales factores climáticos fueron la temperatura máxima y la radicación (ambas excesivas), los cuales incidieron en la precocidad de la cosecha y la emisión del escapo floral.

Los tratamientos fertilizantes mostraron diferencias estadísticas respecto al rendimiento de planta completa (follaje y raíz) de lechuga cv. Crespa. Bajo la solución Hoagland/Arnon se obtuvo el mejor rendimiento por planta, como promedio de cuatro fechas de plantación.

El rendimiento por planta completa obtenido en todas las épocas del cultivo no cumplió con el peso mínimo de 150 g, sin embargo obtuvo el aspecto visual de acuerdo a los estándares comerciales.

Recomendaciones

Evaluar otros genotipos o variedades de lechuga que sea resistente a las altas temperaturas, minimizando el riesgo de emisión del escapo floral y alcanzando un mayor peso por planta.

Realizar estudios con bioestimulantes que mejoren la respuesta de las plantas al estrés térmico (ej. Extracto de algas).

Experimentar otros sistemas hidropónicos que permitan un mayor rendimiento por superficie, ej. NFT.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almaguer, P., Rodríguez, H., Barrientos, L., Mora, S., Vidales, J. (2014) Relación entre grados días y la producción de *Opuntia ficus-indica* para consumo humano. Ciencias agrícolas. Revista Científica. México. Vol. 5. No 6, pp 11-16.

Beltrano, J., and Giménez, D. (2015) Cultivo en hidroponía. Universidad Nacional de la Plata. Primera edición., Buenos Aires: Argentina.

Benavides, A., Preciado, P. and Favela, E. (2014) Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Segunda edición., Lima-Perú: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Birgi, J. (2015) Producción de hortalizas de hoja. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Primera edición. Argentina. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/produccion-hidroponica-de-hortalizas-de-hoja-0>. Consultado: 20/12/2018.

Boyer, J., Fourqurean, J. & Jones, R. (1997) Spatial Characterization of Water Quality in Florida Bay and Whitewater y Multivariate Analyses: Zones of Similar Influence. Estuaries Vol. 20, No. 4, p. 743-758.

Brenes, L. and Jiménez, M. (2016) Manual de Producción Hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas NFT (Nutrient Film Technique). Primera edición. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6581/manual-hidroponia-NFT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado: 12/09/2018.

Briones, W., De la A, T., Mejía M. (2014) Producción y Exportación de lechugas hidropónicas al mercado alemán. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil: Ecuador.

Cajo, A. M. (2016) Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*), bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas., Ambato: Ecuador.

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.

Carreón, J. (2015) Peso fresco y estado nutrimental de lechuga Romana (*Lactuca sativa L.*), bajo diferentes soluciones nutritivas. Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7665/63738%20MANZANO%20CARREON%2C%20JULIO%20CESAR%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado: 03/012/2018.

Castañeda, F., Marulanda, C., Camey, C. & Mejía, L. (2010). Manual técnico hidroponía popular (cultivo sin tierra). Tercera edición. Guatemala. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

Catata, L. (2015) Tres Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) y Dos Soluciones Nutritivas en Cultivo Hidropónico, en Sistema NFT Tipo Piramidal, bajo Condiciones de Invernadero en Arequipa. Tesis. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Perú. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/384/M-21592.pdf?sequence=1>. Consultado: 08/09/2018.

Cruz, J. y Matías, S. (2010). Adaptación de cinco híbridos de tomate con dos técnicas de poda cultivadas bajo sistema semihidropónica, en Manglaralto, cantón Santa Elena. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias. UPSE. Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/913>. Consultado: 2/12/2018.

Delgado, E. D. (2016) Evaluación de tres variedades de lechuga con tres dosis de fitohormonas y quelatos inorgánicos y orgánicos cultivados en condiciones de hidroponía. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Guayaquil. Ecuador.

Defilipis, C., Pariani, S., Jiménez, A., Bouzo, C. (2014) Respuesta de riego de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en invernadero. Revista científica. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires Argentina.

Environment (2015) Luz en las plantas. Disponible en: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=221 Consultado: 26/11/2018.

Estación Experimental Tropical "Pichilingue" (2016) Reporte de análisis de agua. Quevedo: Ecuador.

FAO. (2014). Anuario estadístico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe. Vol. 1, No 4, pp. 107- 108.

Favela, E., Preciado, P., Benavides, A. (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Horticultura.

Forero, R., Ricardo, A., Hollman, G., Ricardo, A., Luna, C., Rivera, C. (2011). Agricultura urbana: Sistemas de implementación de cultivo hidropónicos. Colombia. Revista de investigación, Universidad Nacional de Colombia. Vol. 1. No 4, pp 128-135.

González, M. (2014). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). Requerimientos del clima y variedades. INIA. Chile. Disponible en: <http://www.inia.cl/wpcontent/uploads/2014/08/Lechuga-Quilamapu.pdf>. Consultado: 23/11/2018.

Gutiérrez, F. (2014) Efecto del sulfato de hierro y ácidos húmicos en solución nutritiva en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crispa L.), bajo hidroponía en Manglaralto, Provincia de Santa Elena. Tesis. Facultad de

Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena. La Libertad. Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/2232/UPSE-TIA-2015-015.pdf>. Consultado: 15/12/2018.

Gutiérrez, T. J. (2015) Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de la solución nutritiva. Tesis. Maestría de Ciencias en Horticultura. Instituto de horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo.

Howard, M. (2013). Hydroponics for the Home Grower. En: Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. Seventh Edition, Canada. No 2, pp. 45 -50.

Hoyos, D., Gonzalo, J., Chavarría, H., Montoya, A., Correa, G. and Jaramillo, S. (2012). Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en un modelo de producción Aeropónico. Revista Facultad Nacional de Agronomía -Medellín, 65(1), pp. 23-30.

Huarte, D., Hidalgo, N. and Jaimes, E. (2014). Producción Hortícola bajo cubierta. Taxonomía del cultivo de la lechuga. Instituto Nacional de tecnología agropecuaria. Primera edición, Autónoma de Buenos Aires.

IBISWORLD (2016) Hydroponic Crop Farming: Market Research Report. IBISWorld Industry Research División. Estados Unidos de América. Disponible en: <https://www.ibisworld.com/industry-trends/specialized-market-research-reports/life-sciences/food-science/hydroponic-crop-farming.html>. Consultado: 07/06/2018.

INAMHI (2017) Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Anuario Meteorológico. Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/> Consultado: 07/06/2018.

INTAGRI (S/F) Importancia de la radiación solar en la producción bajo invernadero. Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/importancia-de-la-radiacion-solar-en-la-produccion-bajo-invernadero>. Consultado: 24/01/2019.

INTAGRI (2017). La industria de los cultivos hidropónicos. Serie Horticultura Protegida. No 31. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-industria-de-los-cultivos-hidroponicos>. Consultado: 24/01/2019.

Jacobson, A. (2016). 'Hydroponics Essential Guide: The Step-By-Step Hydroponic Gardening Guide to Grow Fruit, Vegetables, and Herbs at Home (Hydroponics for Beginners, Homesteading, Home Grower)'. 2da edición, Estados Unidos.

Junta de Andalucía (2013) Normativa verduras y hortalizas. Lechuga. Agencia de Defensa de la Competencia de Andalucía, España. Disponible en:

http://www.juntadeandalucia.es/defensacompetencia/sites/all/themes/competencia/files/fichas/pdf/10_Lechuga.pdf. Consultado 9 enero 2019.

Keiser, P. C. (2017) Evaluación de tres niveles de nitrato de potasio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivado bajo sistema de producción hidropónica. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil.

Becker, C. (2014) Impact of radiation, temperature and growth stage on the concentration of flavonoid glycosides and caffeic acid derivatives in red leaf lettuce. Berlin, Alemania: Technischen Universität Berlin.

Lara, A., (2015). Manejo de la solución nutritiva en la producción de Tomate en Hidroponía. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Universidad Autónoma del Estado de México. Vol. 17. No 3, pp. 222–229.

Legrare, S., Velázquez, E, Aguado, P, Fereres, A, Morales, I, Rodríguez, D, Viñuela, E. (2014). Effects of a photosensitive greenhouse cover on the performance and host finding ability of *Aphidius ervi* in a lettuce crop. *Bio Control*. No 59, pp 265-278

Leiva, M. (2017). Requerimiento climático para el cultivo de lechuga. Disponible en: <https://www.ciren.cl/wp-content/uploads/2017/12/Lechuga.pdf> Consultado: 23/11/2018.

Magaña, R. A. (2015) Efectos de ácidos húmicos y fúlvicos en el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema raíz flotante. Tesis. Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Antonio Narro.

MAGAP (2012) Producción de lechuga en el Ecuador. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. No 1, pp 23-30.

Maroto, J. V. (2008) Elementos de horticultura general. Universidad Politécnica de Valencia. Ediciones Mundi-Prensa. Tercera edición. Vol. 3. No 48, pp 240. España.

Martínez, G., Ortiz, Y., López, R. (2012). Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en Tomate y Lechuga. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 35, No. 5, p 49-52.

Mendoza, A. R. (2017) Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Hidropónica en sistema recirculante “NFT” Tipo piramidal con tres niveles de aireación. Tesis. Facultad de agronomía. Universidad Nacional de San Agustín de Agronomía. Perú.

Montero, G. and Ruíz, L. (2014). ‘Hidroponía Básica: El cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra’, Primera edición, México.

Morán, D., Romero, I., Castillo, R., Sánchez, E. (2005). Dirección General de Normas y Tecnología Industrial (DGNTI). Tecnología de los alimentos frutas y hortalizas frescas. Lechuga. No. 25, 217, p. 13. Panamá. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/pan49518.pdf>. Consultado 12 enero 2019.

Moreno, A. (2014). Guía de cultivos para huertos urbanos. Cultivos hortícolas. Primera edición, Provincia de Valencia: Servicios de Medio Ambiente.

Norma Técnica Colombiana (1994). Frutas y Hortalizas Frescas. Lechuga. NTC-1064. Primera edición. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/58308199/NTC-1064-Lechuga>. Consultado: 8/01/2019.

OASIS, S. (2017). Manual de hidroponía. Componentes de los cultivos hidropónicos. Vol. 3. No 162, pp. 6-7.

Ortega, C., Rivera, A. and Roque, J. (2013). Aumenta producción y consumo de hortalizas. Importancia mundial de lechuga. El agro. No 3, pp 45-50.

Patten, V. (2013). Hydroponic Basics: The Basics of Soilless Gardening Indoors. Primera edición, Estados Unidos: Amazon Media.

Pinzón, R. H. (2012) Manual para cultivos de Hortalizas. Produmedios: Producción de medios de comunicación 2da edición. Colombia. No 25, p 65-68

Quintero, G. A. (2015). Efecto de dos condiciones de protección de cultivo sobre los índices de crecimiento y producción de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) tipo gourmet en la Sabana de Bogotá. Tesis. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia.

Quintero, G. and Acuña, J. (2013). Efecto de la térmicidad sobre las variables de crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) en ambientes protegidos del trópico alto colombiano. Tesis. Universidad de Colombia Sede Bogotá.

Robredo, P., Quiroga, M. and Echazú, R. (2014). Análisis comparativo de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en invernadero. Universidad Nacional de Salta. 2(117), pp. 8-9.

Rodríguez, A. and Chang, M. (2013). Soluciones nutritivas en hidroponía. Segunda edición, Republica del Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Rodríguez, D. C. (2018). Comparación de dos técnicas hidropónicas, flujo laminar de nutrientes y raíz flotante para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el centro experimental de Cota. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés.

Saavedra, D. (2017). Cultivo de lechuga. INIA La Platina. Pauta de Chequeo No 9. INDAP Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.

Santos, B. and Ríos, D. (2016). Cálculos de soluciones nutritivas. En suelos y sin suelo. Primera edición: Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. Chile.

Solorzano, J. and Bastidas, G. (2014). Huertos hidropónicos como una alternativa de producción de hortalizas vegetales en las escuelas. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Vol. 3. No 22, pp. (21-23).

Tarqui, M., Chipana, R., Mena, F., Quino, J. (2017) Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), mediante termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. Revista científica. Vol. 4. No 1, pp 7-8.

Torres, A. and López, R. (2011). Producción Comercial de Cultivos Bajo Invernadero y Viveros. Medición de Luz Diaria Integrada en Invernaderos. Departamento de Horticultura, Arquitectura de Áreas Verdes, Purdue University.

Torres., C (2018). Análisis comparativo de costos de inversión de sistemas hidropónicos. Tesis. Facultad de ciencias agrarias. Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2249/>. Consultado: 23/11/2018.

Troya., F (2014) determinación de la disponibilidad del recurso hídrico en el área de influencia del plan hidráulico Acueducto de Santa Elena (PHASE) para consumo humano y uso agrícola. Tesis. Escuela superior politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador.

Urrestarazu, M. 2015. Manual práctico de cultivo sin suelo e hidroponía. Tercera edición revisada y ampliada, Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Velasco, J., Aguirre, G. and Ortuño, N. (2016). Humus líquido y microorganismo para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en el cultivo de hidroponía. Revista Scielo. Vol. 4. No 2, pp. 76 - 79.

Velásquez, P., Ruiz, H., Chaves, G. and Luna, C. (2014). Productivity of lettuce (*Lactuca sativa*) in high tunnel conditions on vitric haplustands soil, San Juan de Pasto, Colombia. Revista de Ciencias Agrícolas. Vol. 31. No 2, pp. 93-105.

Villacís, L. and Peña, J. (2014). Datos estadísticos de producción de lechuga. Tipos y distribución de lechuga en la Sierra de la República del Ecuador. No 28, pp. 15-16.

Yzarra, W., Trebejo, I. and 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 Peruana Geo- Atmósfera RPGA. No 1, pp. 1-10.

Épocas de plantación	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	($\leq 0,05$)	($\geq 0,05$)	P-Valor	F	P-Valor	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Enero	0.004	0.031	0.002	5.23			*	24.3%	23.01 a	24.04 a	23.62 b
Febrero	0.002	0.07	0.008	4.32			*	25.1%	22.43 a	21.87 b	23.65 a
Marzo	0.003	0.063	0.004	5.32			*	22.5%	30.21 b	30.52 b	31.57 a
Mayo	0.008	0.077	0.001	4.74			*	23.5%	32.25 a	30.24 b	32.12 a

ANEXOS

N= Normalidad; H= Homocedasticidad; Sig= Significancia; CV= Coeficiente de variación.

Tabla 1A. Prueba estadística de la luz diaria integrada (LDI) en diferentes épocas de plantación de lechuga cv. Crespa.

Parámetros químicos	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	($\leq 0,05$)	($\geq 0,05$)	P-Valor	F	P-Valor	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Temperatura (T°)	0.001	4.48E-7	0.001	22.5			*	7.01%	29.0 a	29.0 a	30.0 a
Potencial de hidrógeno (pH)	0.001	0.001	0.001	29.8			*	6,9%	7.1 a	6.8 b	7.5 a
Conductividad eléctrica (CE)	0.001	0.001	0.001	24.2			*	16,4%	2.3 b	2.1 b	3.2 a

Tabla 2A. Prueba estadística de los parámetros químicos promedio de los ciclos del cultivo de lechuga cv. Crespa.

Posiciones	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	($\leq 0,05$)	($\geq 0,05$)	P-Valor	F	P-Valor	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Inicio	0.002	6.22E-9			0.102	6.20	ns	17.2%	6.55 a	5.13 a	6.52 a
Medio	0.010	0.301			0.08	6.54	ns	12.8%	6.02 a	6.83 a	6.25 a
Final	0.001	6.33E-8			0.290	3.74	ns	18.5%	5.7 a	5.7 a	5.9 a

Tabla 3A. Prueba estadística del oxígeno disuelto de las soluciones fertilizantes en el cultivo de lechuga cv. Crespa

VARIABLES	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	(≤ 0,05)	(≥ 0,05)	P-Value	F	P-Value	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Número de hojas	4,98E-02	0,499735	0.180475	3.42	0.180475	3.42	*	7,39%	17,5 a	16,5 a	16,5 a
Largo de la hoja	0,150609	0,522587	3.39E-02	6.76	3.39E-02	6.76	*	6,84%	17,9 a	16,4 b	16,2 b
Peso fresco follaje	0,900019	0,880489	0.021776	7.65	0.021776	7.65	*	16,45%	53,9 a	46,9 b	38,2 c
Peso fresco raíz	0,465551	0,679569	0.048838	6.03	0.048838	6.03	*	17,39%	5,75 a	5,0 a	3,95 b
Peso seco follaje	1,96E-01	0,953807	0.015404	8.34	0.015404	8.34	*	12,39%	7,97 a	6,79 b	6,29 b
Peso seco raíz	0,368205	0,967933	0.024547	7.41	0.024547	7.41	*	15,15%	0,56 a	0,48 b	0,36 c
% Materia seca follaje	0,288117	0,057693			0.482628	1,45	ns	4,15%	14,9 a	15,5 a	16,1 a
% Materia seca raíz	7,25E-04	0,307315			0.35411	1,17	ns	2,04%	9,7 a	9,5 a	9,3 a

Tabla 4A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 15 DDT (enero).

VARIABLES	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	(≤ 0,05)	(≥ 0,05)	P-Value	F	P-Value	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Número de hojas	3.20E-01	0.63738	0,077291	5,12			*	8.79%	16 a	14.5 a	14.5 a
Largo de la hoja	0.410823	0.42957	4.26E-02	6.31			*	6.29%	16.7 a	15.4 b	15.0 b
Peso fresco follaje	0.85163	0.68403	0.018315	8.00			*	9.71%	50.97 a	47.18 b	42.99 b
Peso fresco raíz	0.016593	0.86221	0.04150	4.92			*	11.89%	5.7 a	5.3 a	4.9 a
Peso seco follaje	5.85E-01	0.77494	0.015404	8.34			*	8.55%	5.97 a	5.65 b	5.10 b
Peso seco raíz	0.631941	0.73967	0.026394	7.26			*	14.41%	0.56 a	0.48 b	0.42 b
% Materia seca follaje	0.942571	0.23346			0.388441	1.89	ns	1.49%	11.6964	11.9025	11.9025
% Materia seca raíz	7.97E-01	0.58439			0.154837	3.73	ns	3.37%	9.4249	8.5849	8.8804

Tabla 5A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 15 DDT (marzo).

VARIABLES	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	(≤ 0.05)	(≥ 0.05)	P-Value	F	P-Value	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Número de hojas	1.26E-04	0.405344			0.7678	0.27	ns	9.22%	5.75 a	5.5 a	5.5 a
Largo de la hoja	0.70083	0.009575			0.0543	7.49	ns	9.72%	7.15 a	7.05 a	6.05 a
Peso fresco follaje	0.22144	0.319051			0.1737	3.50	ns	6.56%	7.26 a	7.09 a	6.61 a
Peso fresco raíz	0.60511	0.923089			0.1098	4.41	ns	4.66%	1.49 a	1.43 a	1.38 a
Peso seco follaje	2.64E-01	0.128468			0.8783	0.25	ns	1.10%	1.06 a	1.05 a	1.05 a
Peso seco raíz	0.515616	0.764416			0.0626	6.84	ns	6.97%	0.18 a	0.17 a	0.16 a
% Materia seca follaje	0.114337	0.059244			0.1737	3.50	ns	3.27%	3.84 a	3.87 a	3.99 a
% Materia seca raíz	4.23E-01	0.142924			0.3947	1.85	ns	2.99%	3.53 a	3.43 a	3.39

Tabla 6. Evaluación de lechuga hidropónica a los 5 DDT (mayo).

VARIABLES	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	(≤ 0.05)	(≥ 0.05)	P-Value	F	P-Value	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Número de hojas	1.98E-02	0.622431	0.0195	6.3			*	6.71%	11.5 a	11.25 a	10.25 a
Largo de la hoja	0.424761	0.701148	0.0213	7.653			*	7.74%	13.65 a	12.4 a	11.4 a
Peso fresco follaje	0.225531	0.320107			0.07454	6.730	ns	5.48%	24.94 a	24.33 a	23.56 a
Peso fresco raíz	0.861653	0.360812			0.69393	0.730	ns	11.96%	6.58 a	7.41 a	6.73 a
Peso seco follaje	3.99E-01	0.799556	0.01246	8.769			*	6.33%	3.09 a	2.90 a	2.69 a
Peso seco raíz	0.004206	0.575205	0.04489	3.863			*	13.75%	0.5 a	0.53 a	0.46 a
% Materia seca follaje	0.17454	0.149817			0.14615	3.846	ns	2.09%	3.53 a	2.41 a	3.47 a
% Materia seca raíz	4.24E-01	0.888071			0.07748	5.115	ns	4.90%	2.83 a	2.70 a	2.55 a

Tabla 7A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 12 DDT (mayo).

VARIABLES	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	(≤ 0.05)	(≥ 0.05)	P-Value	F	P-Value	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Número de hojas	3.45E-02	0.822273	0.0358	3.77			*	7.23%	16.5 a	16.0 a	14.75 b
Largo de la hoja	0.205561	0.477371	0.0214	8.80			*	6.94%	19.65 a	18.7 b	17.1 b
Peso fresco follaje	0.509857	0.920145	0.0247	7.46			*	12.52%	71.65 a	64.62 b	54.56 c
Peso fresco raíz	0.768563	0.745269	0.0137	3.50			*	7.41%	13.32 a	12.48 b	11.68 b
Peso seco follaje	1.96E-01	0.980248	0.0361	6.63			*	13.81%	6.94 a	6.1 a	4.94 b
Peso seco raíz	0.029560	0.696925	0.0437	2.43			*	6.72%	0.71 a	0.66 b	0.65 b
% Materia seca follaje	0.134188	0.393908			0.3897	1.884	ns	2.73%	3.09 a	3.03 a	3.08 a
% Materia seca raíz	1.33E-01	0.370925			0.5324	0.680	ns	2.93%	2.35 a	2.32 a	2.36 a

Tabla 8A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 19 DDT (mayo).

VARIABLES	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	(≤ 0.05)	(≥ 0.05)	P-Value	F	P-Value	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Número de hojas	0.0002	0.13950	0.001	18.86			*	5.93%	22.6 a	21.5 b	20.4 b
Largo de la hoja	0.0025	0.00301	0.001	25.2			*	8.93%	23.7 a	22.1 b	19.4 c
Largo de la raíz	0.1303	0.18242	0.051	5.9			*	6.85%	25.7 a	24.7 ab	24.3 b
Altura de la planta	0.0162	0.10317	0.034	3.72			*	6.86%	17 a	16.4 b	15.8 b
Peso fresco follaje	0.0060	0.02393	0.005	18.78			*	9.62%	132.15 a	122.3 b	110 c
Peso fresco raíz	0.0106	0.06898	0.006	5.88			*	10.24%	16.80 a	15.57 b	14.83 c
Peso seco follaje	0.0107	0.54702	0.008	5.55			*	19.94%	8.18 a	7.05 b	6.45 c
Peso seco raíz	0.0176	0.15451	0.002	7.41			*	13.31%	0.81 a	0.75 b	0.68 c
% Materia seca follaje	0.0263	0.56811			0.382	0.99	ns	6.47%	6.19 a	5.85 a	5.78 a
% Materia seca raíz	0.0338	0.07973			0.0911	2.58	ns	3.42%	4.84 a	4.81 a	4.74 a

Tabla 9A. Evaluación de lechuga hidropónica a los 25 DDT (mayo).

VARIABLES	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Solución Fertilizante		
	(≤ 0.05)	(≥ 0.05)	P-Value	F	P-Value	K. W			Hoagland	Sonneveld	Steiner
Número de hojas	0.0001	0.3554	0.001	5.91			*	7.45%	23.02 a	20.47 b	19.80 b
Largo de la hoja	0.00037	0.0482	0.008	9.77			*	8.02%	22.2 a	21.25 b	20.15 c
Altura de la planta	0.03030	0.1824	0.034	3.72			*	6.86%	17.00 a	16.40 b	15.80 c
Longitud de la raíz	0.01626	0.1031			0.051	5.91	ns	6.85%	25.70 a	24.70 a	24.30 a
Peso fresco follaje	0.00054	0.0934	0.001	4.51			*	9.8%	126.22 a	114.82 b	108.52 b
Peso fresco raíz	0.00172	0.3014	0.001	6.15			*	12.11%	16.57 a	15.12 b	14.44 b
Peso seco follaje	0.00072	0.3771	0.003	4.79			*	17.22%	8.42 a	7.59 ab	7.08 b
Peso seco raíz	0.00016	0.9495	0.001	7.45			*	16.90%	0.83 a	0.73 ab	0.68 b
% Materia seca follaje	0.14874	0.9371			0.096	10.43	ns	8.42%	6.77 a	6.35 a	6.24 a
% Materia seca raíz	0.00071	0.3045	0.016	3.53			*	6.43%	4.88 a	4.84 a	4.74 b
Peso de la planta	0.00003	0.1082	0.001	4.75			*	9.20%	142.80 a	129.94 b	122.82 c

Tabla 10A. Efectos de las soluciones fertilizantes sobre las variables tomadas a cosecha de la planta de lechuga hidropónica.

VARIABLES	N	H	Paramétrico		No paramétrico		Sig	CV (%)	Épocas de plantación			
	(≤ 0.05)	(≥ 0.05)	P-Value	F	P-Value	K. W			Enero	Febrero	Marzo	Mayo
Número de hojas	0.0006	0.1285	0.0001	8.33			*	8.34%	23 a	21 a	19 b	22 a
Largo de la hoja	0.0003	0.6005	0.0006	1.15			*	8.20%	22 a	21 b	19.9 c	21.8 ab
Peso fresco follaje	0.0005	0.6877	0.0001	4.92			*	5.48%	135.6 a	119.2 b	100.57 c	122.85 b
Peso fresco raíz	0.0021	0.9865	0.0001	1.90			*	4.44%	16.55 a	15.65 b	13.14 c	16.2 ab
Peso seco follaje	0.0007	0.0973	0.0001	8.93			*	7.22%	9.99 a	8.10 b	5.63 c	7.38 b
Peso seco raíz	0.0001	0.0867	0.0005	4.33			*	6.90%	0.81 a	0.74 b	0.66 c	0.78 ab
% Materia seca follaje	0.1484	0.4052			0.072	0.303	ns	7.66%	7.34 a	6.40 a	5.57 a	5.95 a
% Materia seca raíz	0.0001	0.0318			0.064	5.32	ns	3.43%	4.97 a	4.75 a	4.84 a	4.80 a
Peso de la planta	0.0016	0.34	0.001	9.62			*	9.90%	140 a	132.7 a	118.5 b	136.1 a

Tabla 11A. Variables tomadas a cosecha de la planta de lechuga hidropónica bajo cuatro épocas de plantación.



Figura 1A. Infraestructura del invernadero.



Figura 2A. Acondicionamiento de los contenedores de madera.



Figura 3A. Estanques de 500 litros.



Figura 4A. Soluciones concentradas macronutrientes, micronutrientes y calcio.



Figura 5A. Pregerminación de semillas de lechuga.



Figura 6A. Siembra de semilla pregerminada.



Figura 7A. Plántulas de lechuga de la 3ra y 4ta semana después de la siembra.



Figura 8A. Trasplante de lechuga en el sistema raíz flotante.



Figura 9A. Mediciones de parámetros químicos (CE, pH y temperatura).



Figura 10A. Muestreo de las plantas de lechuga (1ra semana).



Figura 11A. Muestreo de las plantas de lechuga (3ra y 4ta semana).



Figura 12A. Cosecha del cultivo de lechuga hidropónica.



Figura 13A. Identificación de las plantas evaluadas.



Figura 14A. Peso fresco y seco de la parte foliar y radicular de la planta.



Figura 15A. Ensayo del cultivo de lechuga hidropónica en el sistema raíz flotante.

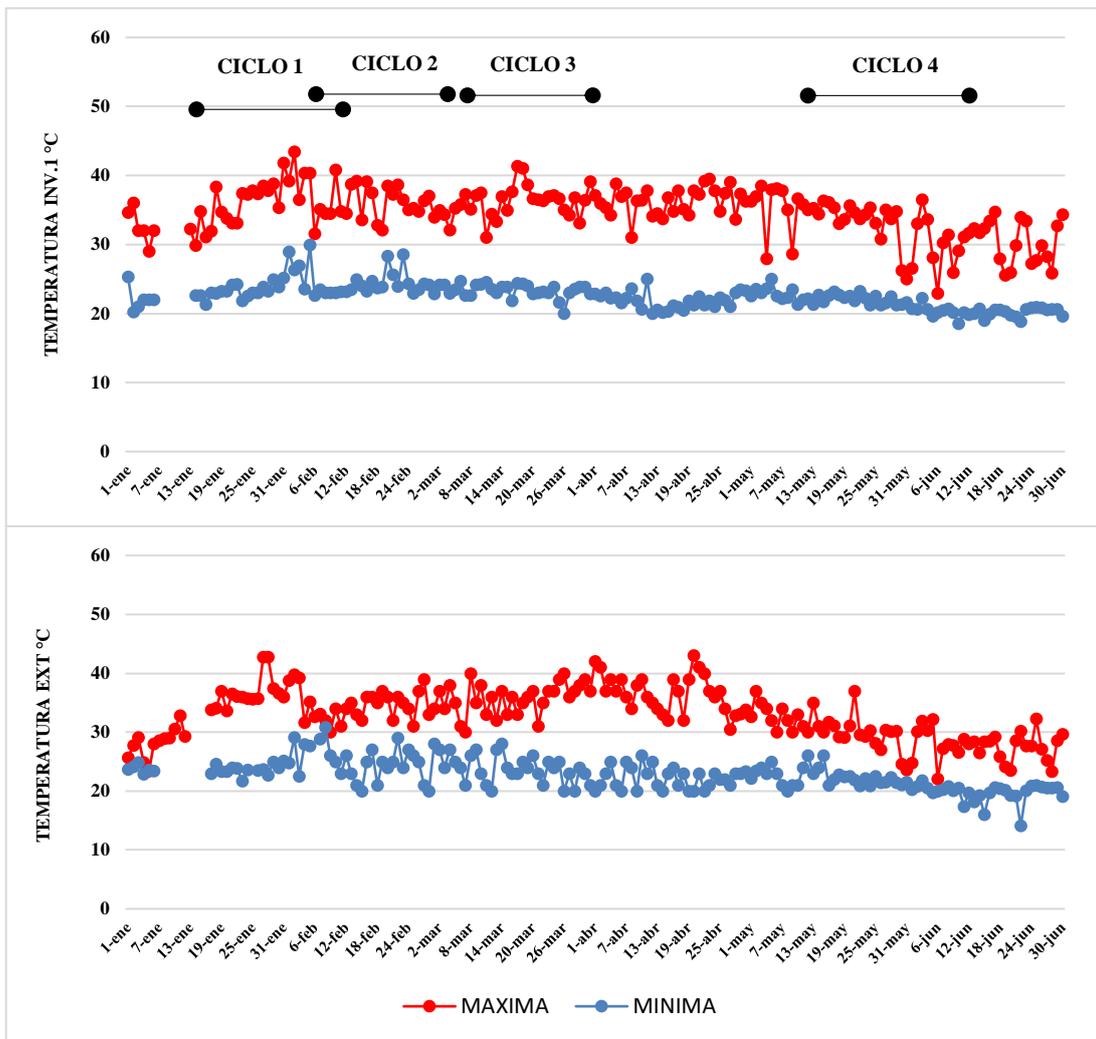


Figura 16A. Temperatura mínimas y máximas registrada en la zona del ensayo entre los meses de enero y junio en el interior y exterior de la nave bajo el sistema raíz flotante.

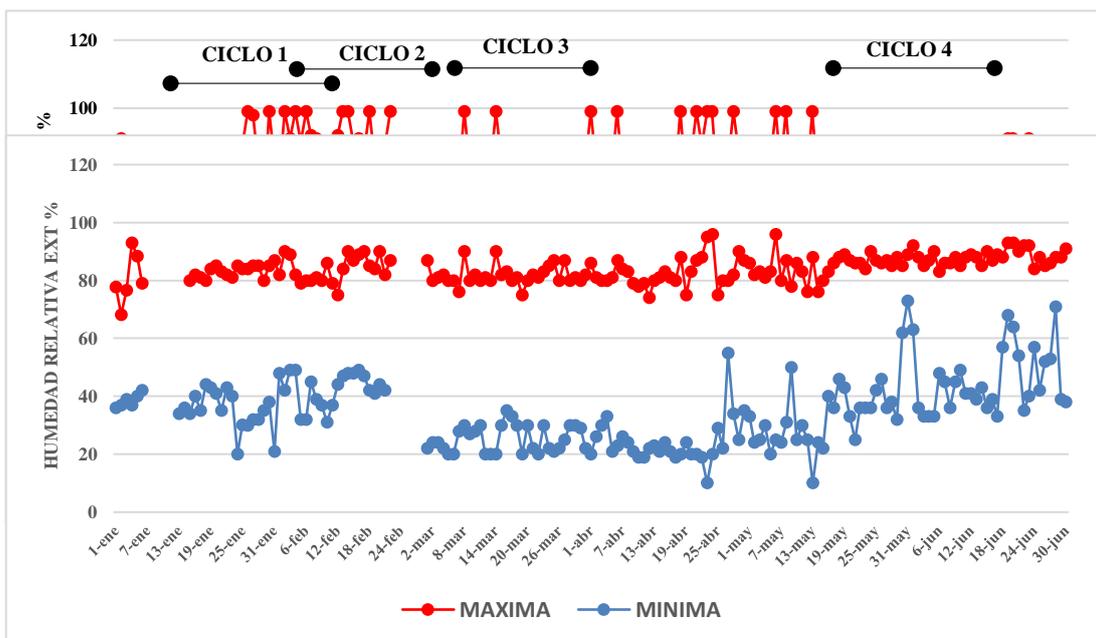


Figura 17A. Humedad relativa mínimas y máximas registrada en la zona del ensayo entre los meses de enero y junio en el interior y exterior de la nave bajo el sistema raíz flotante.

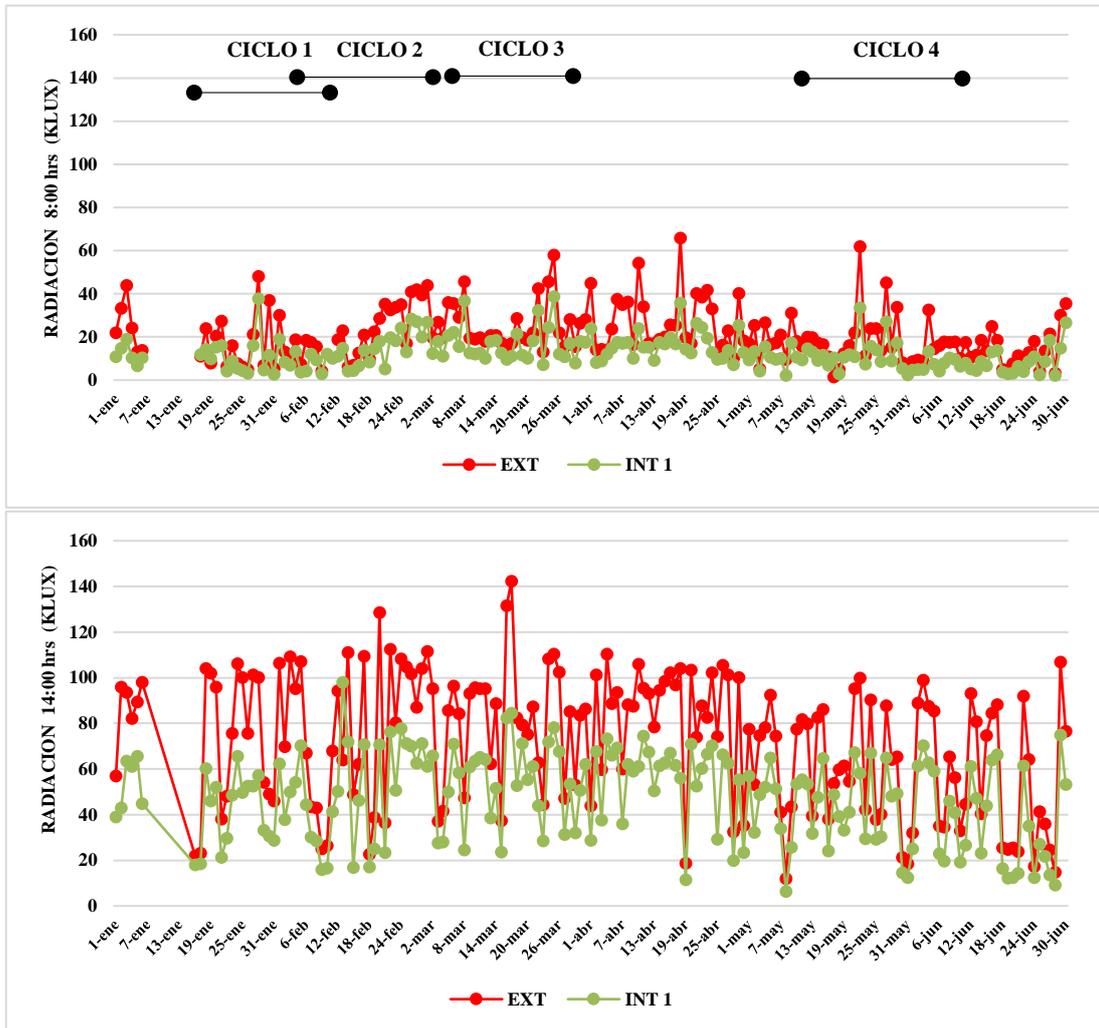


Figura 18A. Radiación medida a las 8:00 y 14:00 hrs registrada en la zona del ensayo entre los meses de enero y junio en el interior y exterior de la nave bajo el sistema raíz flotante.