

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa L.*)
CULTIVADAS EN SISTEMAS: HIDROPÓNICO TÉCNICA DE PELÍCULA
NUTRITIVA (NFT) Y CONVENCIONAL.

AUTORAS:

LEIDY MIRELLA CHACHA BARBA

NAHOMI MAGALI CHÁVEZ LÓPEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO:

DR. JAVIER DOMÍNGUEZ BRITO, PHD.

Puyo - Pastaza-Ecuador

2020

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Leidy Mirella Chacha Barba, con C.I: 1400675730, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el presente Proyecto de Investigación bajo el tema: **“Evaluación de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en sistemas: Hidropónico Técnica de Película Nutritiva (NFT) y Convencional.”**



.....
Leidy Mirella Chacha Barba

1400675730

Yo, Nahomi Magali Chávez López, con C.I: 1501029852, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el presente Proyecto de Investigación bajo el tema: **“Evaluación de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en sistemas: Hidropónico Técnica de Película Nutritiva (NFT) y Convencional.”**

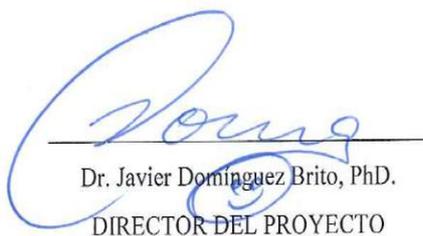


.....
Nahomi Magali Chávez López

1501029852

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo Dr. Javier Domínguez Brito, PhD. con CI: 1755530472 certifico que las egresadas: Leidy Mirella Chacha Barba y Nahomi Magali Chávez López, egresadas de la carrera Ingeniería Agropecuaria por la Universidad Estatal Amazónica, realizaron el Proyecto de Investigación titulado: **“EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) CULTIVADAS EN SISTEMAS: HIDROPÓNICO TÉCNICA DE PELÍCULA NUTRITIVA (NFT) Y CONVENCIONAL”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuaria bajo mi supervisión.



Dr. Javier Domínguez Brito, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 129-SAU-UEA-2020

Puyo, 30 de enero de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a las egresadas CHACHA BARBA LEIDY MIRELLA con C.I. 1400675730; y CHÁVEZ LÓPEZ NAHOMI MAGALI con C.I. 1501029852 con el Tema: **“Evaluación de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en sistemas: hidropónico técnica de película nutritiva (NFT) y convencional”**, de la carrera, Ingeniería Agropecuaria, Director del proyecto Dr. Domínguez Brito Javier, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 4%, Informe generado con fecha 29 de enero de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

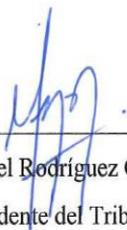
Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

**CERTIFICADO DE APROBACION POR TRIBUNAL DE
SUSTENTACIÓN**

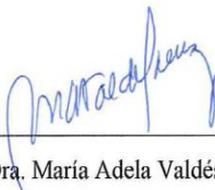
El Proyecto de Investigación, titulado: “EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) CULTIVADAS EN SISTEMAS: HIDROPÓNICO TÉCNICA DE PELÍCULA NUTRITIVA (NFT) Y CONVENCIONAL”, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.



Dr. Yoel Rodríguez Guerra
Presidente del Tribunal



MSc. Sandra Luisa Soria Re
Miembro del Tribunal



Dra. María Adela Valdés
Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTO

A dios porque siempre estuvo a nuestro lado en esta trayectoria universitaria, a nuestros padres y hermanas por ser el pilar fundamental para culminar nuestros estudios y realizar logros académicos.

De manera especial expresamos la gratitud a nuestro tutor Dr. Javier Domínguez Brito PhD, quien nos ha brindado y compartido su conocimiento, confianza, ayuda y apoyo incondicional, siendo así, un guía para realizar el proyecto y culminarlo con éxito.

A todos los profesores de la facultad de Agropecuaria por su invaluable transmisión de su intelecto los cuales mediante a ellos hemos adquirido sabios conocimientos e innovadoras experiencias.

Muchas gracias a todas las personas que aportaron y confiaron en nuestra capacidad intelectual y personal.

DEDICATORIA

A Dios por siempre caminar de nuestra mano protegiéndonos, guiándonos por el camino correcto y siendo nuestra fortaleza.

A nuestros queridos y amados padres que siempre tuvieron una palabra de aliento y motivación, depositaron su apoyo, confianza y contribuyeron con esta meta en todos los años de vida.

A todos ellos dedico este proyecto el cual sin ellos no hubiera podido lograr nuestro objetivo.

RESUMEN

La presente investigación evaluó el comportamiento morfofisiológico y productivo de dos variedades de lechuga, cultivadas en sistema de cultivo hidropónico en la Técnica de la Película Nutritiva (NFT) y convencional a campo, el experimento fue desarrollado en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica” (CIPCA). La investigación utilizó un Diseño experimental Completamente Aleatorizado (DCA) con tres repeticiones; se aplicó un análisis de varianza y se comprobaron las medias mediante la Prueba de Rango Múltiples de Tukey al 5% de probabilidad. Se emplearon las variedades de lechuga Cherokee Rz (81 - 36) y Starfighter Rz (81 - 85). La primera toma de datos se realizó a los 14 días del trasplante y progresivamente cada 7 días. Según los resultados obtenidos se destaca el sistema NFT como el sistema de cultivo que arrojó mejores resultados, con 10 hojas por planta como promedio, con 716 cm² de área foliar y 7702 kg/ha de rendimiento agrícola; la variedad de mejor resultado fue la Starfighter con 11 hojas como promedio en sistema NFT, 724 cm² de área foliar y 8272 kg/ha de rendimiento.

Palabras claves: Amazonia, Sistema hidropónico NFT, Sistema de cultivo Convencional, variedades de lechuga Cherokee y Starfighter.

ABSTRACT

The present investigation evaluated the morphophysiological and productive behavior of two varieties of lettuce, grown in a hydroponic cultivation system in the Technique of the Nutritive Film (NFT) and conventional in the field, the experiment was developed in the Amazon Research, Postgraduate and Conservation Center” (CIPCA). The research used a Fully Randomized Experimental Design (DCA) with three repetitions; a variance analysis was applied and the means were checked by the Tukey Multiple Range Test at 5% probability. Lettuce varieties Cherokee Rz (81-36) and Starfighter Rz (81-85) were used. The first data collection was made 14 days after the transplant and progressively every 7 days. According to the results obtained, the NFT system stands out as the crop system that produced the best results, with an average of 10 leaves per plant, with 716 cm² of leaf area and 7702 kg / ha of agricultural yield; The variety of best result was the Starfighter with 11 leaves on average in NFT system, 724 cm² of leaf area and 8272 kg / ha of yield.

Keywords: Amazon, NFT hydroponic system, Conventional cultivation system, Cherokee and Starfighter lettuce varieties.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPITULO II.....	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y ANTECEDENTES	5
2.1. ORIGEN DE LA HIDROPONÍA.....	5
2.1.1. Cultivo en la Técnica de la película de nutrientes (NFT)	5
2.1.1.1. Requerimientos del sistema NFT	5
2.1.1.1.1. Flujo de la solución nutritiva (SN)	5
2.1.1.1.2. Conductividad eléctrica (CE)	5
2.1.2. Requerimientos del entorno de un cultivo hidropónico.....	6
2.1.2.1. Temperatura	6
2.1.2.2. El pH	6
2.1.3. Manejo del experimento en el sistema convencional a campo	6
2.1.3.1. Labores culturales	6
2.1.3.1.1. Preparación del terreno	6
2.1.3.1.2. Fertilización	6
2.1.3.1.3. Trasplante de plántulas	6
2.1.3.1.4. Deshierbe y aporque	7
2.1.3.1.5. Drenaje	7
2.1.4. Importancia de los nutrientes en el cultivo de lechuga	7
2.1.5. Usos de nutrientes en el cultivo de lechuga.	7

2.1.5.1. Macronutrientes.....	7
2.1.5.2. Micronutrientes	8
2.2. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	8
2.2.1. Cherokee RZ (81-36)	9
2.2.2. Starfighter RZ (81-85)	9
2.2.3. Tallo	9
2.2.4. Hojas	9
2.2.5. Área foliar	10
2.3. INVESTIGACIONES RELACIONADAS A PARÁMETROS MORFOFISIOLÓGICOS EN EL CULTIVO DE LECHUGA BAJO CONDICIONES CONTROLADAS Y A CAMPO ABIERTO.....	10
CAPITULO III	14
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	14
3.1. LOCALIZACIÓN	14
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	15
3.3.1. Sistema hidropónico NFT.	15
3.3.2. Sistema convencional a campo abierto.	17
3.3.3. Manejo del experimento en el sistema hidropónico	18
3.3.3.1. Trasplante de las plántulas en el sistema hidropónico	18
3.3.4. Mediciones evaluadas para las dos condiciones experimentales.	19
3.3.5. Tratamientos de datos.	20
3.3.6. Análisis estadístico.....	20
CAPITULO IV.....	21
4. RESULTADOS ESPERADOS	21
4.1. MOMENTO DE TRASPLANTE DEL CULTIVO DE LECHUGA.....	21
4.2. COMPORTAMIENTO EN ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO DEL TALLO, NÚMERO DE HOJAS, ÁREA FOLIAR, LARGO DE RAÍCES Y PESO	

FRESCO EN LOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO Y DOS VARIEDADES A LOS 14 DÍAS DEL TRASPLANTE	22
4.2.1. Altura de la planta y diámetro del tallo.....	22
4.2.2. Número de hojas y área foliar.....	24
4.2.3. Largo de raíces y peso fresco.....	26
4.3. COMPORTAMIENTO EN ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO DEL TALLO, NÚMERO DE HOJAS, LARGO DE RAÍCES Y PESO FRESCO EN LOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO Y DOS VARIEDADES A LOS 21 DÍAS DEL TRASPLANTE	27
4.3.1. Altura de la planta y diámetro del tallo.....	27
4.3.2. Número de hojas por planta	29
4.3.3. Largo de raíces y peso fresco.....	30
4.4. COMPORTAMIENTO EN ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO DEL TALLO, NÚMERO DE HOJAS, ÁREA FOLIAR, LARGO DE RAÍCES Y PESO FRESCO EN LOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO Y DOS VARIEDADES A LOS 28 DÍAS DEL TRASPLANTE	31
4.4.1. Altura de la planta, diámetro del tallo y largo de raíces	31
4.4.2. Número de hojas, Área foliar y Peso fresco	34
CAPITULO V	37
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
5.1. CONCLUSIONES.....	37
5.2. RECOMENDACIONES	37
CAPITULO VI.....	38
6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	38
CAPITULO VII.....	42
7. ANEXOS	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de la solución nutritiva.	16
Tabla 2. Composición química del suelo del área de estudio localizada en el CIPCA	18
Tabla 3. Media de las variables altura de la planta (Ap) y diámetro de tallo (Dt) de dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.	22
Tabla 4. Media de las variables número de hojas (N°h) y área foliar por planta en dos variedades de lechuga.	24
Tabla 5. Medias de variables largo de raíz (Lr) y peso fresco (Pf) por planta de dos variedades de lechuga evaluadas en sistema hidropónico NFT.	26
Tabla 6. Media de las variables altura de la planta (Ap) y diámetro del tallo (Dt) de dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.	27
Tabla 7. Media de la variable Numero de hojas (N°h) por planta en dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.	29
Tabla 8. Media de las variables largo de raíz (Lr) y peso fresco (Pf) por planta en dos variedades de lechuga evaluadas en sistema hidropónico NFT.	30
Tabla 9. Media de las variables altura de la planta (Ap), diámetro del tallo (Dt) y largo de raíz (Lr) de dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.	31
Tabla 10. Media de las variables número de hojas (N°h), área foliar (Af) y peso fresco (Pf) por planta de dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. a. Lechuga Cherokee RZ (81 -36), b. Lechuga Starfighter RZ (81- 85).....	9
Figura 2. Ubicación geográfica del CIPCA.	14
Figura 3. Distribución de las variedades en la estructura escalonada bajo invernadero.	16
Figura 4. Distribución de las variedades en el campo.	17
Figura 5. Plántulas de lechuga en el momento del trasplante, a: variedad Cherokee Rz 81-36, b: Starfighter Rz 81- 85.	21
Figura 6. Medias de altura y número de hojas de las plántulas de lechuga al momento del trasplante.	21
Figura 7. Interacción de sistema de cultivo y variedades para altura de las plantas de lechuga a 14 días del trasplante.	23

Figura 8. Interacción de sistema de cultivo y variedad para diámetro del tallo de las plantas de lechuga a 14 días del trasplante.	24
Figura 9. Interacción de sistema de cultivo y variedad para número de hojas por planta de lechuga a 14 días del trasplante.	25
Figura 10. Interacción de sistema de cultivo y variedad para área foliar (cm ²) por planta de lechuga a 14 días del trasplante.	26
Figura 11. Interacción con sistema de cultivo y variedad para altura de la planta de lechuga a 21 días del trasplante.	28
Figura 12. Interacción de sistema de cultivo y variedad para diámetro del tallo de las plantas de lechuga a 21 días del trasplante.	28
Figura 13. Interacción de sistema y variedad para número de hojas por planta de lechuga 21 días del trasplante.	30
Figura 14. Interacción de sistema de cultivo y variedad para altura de la planta de lechuga a 28 días del trasplante.	32
Figura 15. Variedad V1 (Cherokee Rz 81 – 36) a. Sistema NFT b. Sistema convencional en campo, Variedad V2 (Starfighter Rz 81 – 85) c. Sistema NFT d. Sistema convencional en campo.	32
Figura 16. Interacción de sistema de cultivo y variedad para diámetro de tallo de lechuga a 28 días de trasplante.	33
Figura 17. Interacción de sistema de cultivo y variedad para largo de raíces en plantas de lechuga a 28 días de trasplante.	33
Figura 18. Interacción de sistema de cultivo y variedad para número de hojas por plantas de lechuga a 28 días del trasplante.	35
Figura 19. Interacción de sistema de cultivo y variedad para área foliar por plantas de lechuga a 28 días de trasplante.	35
Figura 20. Interacción de sistema de cultivo y variedad para peso fresco por plantas de lechuga a 28 días de trasplante.	36
Figura 21. Interacción de sistema de cultivo y variedad para rendimiento agrícola de lechuga a 28 días de trasplante.	36

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo la producción de hortalizas ha ido aumentando significativamente en cuanto a rendimiento y calidad, dentro de estas hortalizas se encuentra la lechuga (*Lactuca sativa* L.) cuyo cultivo ha progresado constantemente a nivel mundial, debido a su diversidad de variedades y a su diferente hábito de crecimiento (Muñoz, 2018).

Esta hortaliza se produce en todas las regiones bajo diferentes condiciones edafoclimáticas teniendo ciertos controles del medio, ocupando a nivel mundial un lugar preferente, siendo en algunos países un importante componente en la contribución nutricional de las dietas, además de constituir una fuente notable de ingresos para el sector agrícola (Esparza et al., 2013).

La agricultura constituye una actividad significativa en la economía de diferentes países en desarrollo, debido al aporte y contribución a la producción y seguridad alimentaria, en Ecuador se encuentra concentrada en la región sierra y costa, siendo la región sierra la de mayor producción hortícola, destacándose el cultivo de lechuga. La lechuga de hoja se cultiva en las zonas altas de la serranía del Ecuador su cultivo entre otros requerimientos demanda del uso de fertilizantes (Pomboza, León, Villacis, Vega y Aldaz, 2016). Su diversidad predomina en las diferentes variedades estudiadas en los últimos años, entre ellas se incorpora a la lechuga tipo Batavia, Lisa o Mantequilla, Romana y Crespas de diferentes tonalidades verdes, rojas y morada (Jaramillo et al., 2014).

Según Solagro (2016), en Ecuador existen 1145 ha cultivadas de lechuga, con un rendimiento promedio de 7928 kg/ha en los últimos años se ha incrementado la producción bajo invernaderos para su exportación. De la producción total, el 70% es de lechuga criolla o de repollo, mientras el 30% es de variedades como la roja, roma o salad. La provincia con mayor producción de lechuga es Pichincha (924 ha), seguida de Cotopaxi (481 ha), Chimborazo (232 ha), Tungurahua (325 ha) y Carchi (96 ha).

La agricultura mundial ha sufrido grandes cambios en las últimas décadas siendo hoy en día la hidroponía el método más intensivo de producción hortícola, aunque por lo general influye en la incorporación de altas tecnologías, obteniendo inversiones monetarias de un fuerte capital. En Latinoamérica, es una alternativa que se está motivando en el progreso de los

días haciendo que este sistema sea una interesante elección de producción ya que permite el aprovechamiento de suelos no aptos para la agricultura convencional (Jiménez y Brenes, 2013).

Desde 1950 se aumentaron las técnicas de plantaciones hidropónicas ya que permiten obtener excelentes rendimientos por unidad de área en todo el mundo y específicamente en lugares donde la agricultura convencional era imposible de efectuar por diferentes causas externas como zonas desérticas, contaminadas, con poca disponibilidad de agua, entre otros (Tapia, 2016).

En los años noventa inició el desarrollo de cultivo hidropónico en el Ecuador, aplicando las técnicas que utilizaban otros países donde se ha difundido más esta tecnología. La empresa GREENLAB que se encuentra ubicada en San Vicente-cantón Quito, está dedicada a la producción de lechuga hidropónica desde 1994, tiene la capacidad de producir 90000 plantas de lechugas al mes, donde el 50% de la producción es de lechuga de hoja variedad Crespa, en un área de 7000 m² (Cajo, 2016).

En lo que respecta a la hidroponía, al tratarse específicamente de cultivos en agua, existen varios sistemas de producción como: Nutrient Film Technique (NFT), camas profundas con mesas flotantes (RFT), nuevo sistema de cultivo (NGS), entre otras que son derivadas de las antes mencionadas (Tapia, 2016).

Según Aguirre, González, Vega y Monje (2019), una de las mejores técnicas de hidroponía es la NFT. Este sistema se originó en Inglaterra en los años sesenta, también es conocido como sistema de recirculación continua o sistema cerrado, debido a que no existe pérdida de agua hacia el exterior ya que la solución nutritiva circula a través de las raíces (Leiva, Peña, Vilca y Neri, 2018).

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Como se ha mencionado el cultivo de la lechuga se concentra en las provincias de la Sierra, por lo tanto en la Amazonía se debe importar con el correspondiente incremento de su precio debido al costo de transportación, por esta razón este proyecto de investigación busca obtener hortalizas producidas en la Amazonia, siendo este un enfoque para la producción de cultivos con especies que se adapten a las condiciones edafoclimáticas de la región, que fomenten los circuitos cortos de producción y comercialización de hortalizas. Al utilizar este

sistema se obtiene un mejor uso y aprovechamiento del agua mediante la técnica de recirculación en la cual se implementan sustancias nutritivas controladas, que al culminar el ciclo vegetativo se reutilizarán de dos formas: fertirriego que ayuda a mejorar la absorción de la planta y de forma foliar evitando la contaminación del suelo.

La técnica de la película de nutriente (NFT) es un sistema hidropónico utilizado en la actualidad para cultivar en solución nutritiva que recircula por los tubos de cultivo y que le permite a la planta asimilar los nutrientes para su crecimiento fisiológico. De esta manera se puede establecer el sistema en espacios reducidos, dando como resultado productos hortícolas de alta calidad y con mejores rendimientos, se puede efectuar en épocas difíciles o cuando el clima no es apto, durante todo el periodo del año (López, 2018).

Este proyecto de investigación pretende contribuir en el mejoramiento de la producción del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la Amazonía, obteniéndose una producción en menor tiempo y espacio y con la aplicación de diversas técnicas innovadoras y progresivas en la agricultura, encaminadas al mejoramiento de las características bromatológicas y a la satisfacción de la demanda de hortalizas frescas que mejoren y tributen a la seguridad alimentaria (Soares et al., 2019). La importancia de dicha técnica radica en el control preciso sobre la simplificación del sistema de riego asegurando una cierta uniformidad entre los nutrientes de la planta y maximizando el contacto directo de las raíces con la solución nutritiva, enfocándose en el aumento de la producción y exigencia en relación a la calidad y cantidad, así potenciando el emprendimiento para jóvenes en la región amazónica ecuatoriana.

Debido a lo anteriormente expuesto, esta investigación busca evaluar el comportamiento morfofisiológico y productivo de dos variedades de lechuga (Cherokee Rz 81 – 36 y Starfighter Rz 81 - 85), cultivadas en sistema hidropónico NFT bajo invernadero y convencional a campo (C) en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo incrementar la producción del cultivo de lechuga bajo condiciones de la Región Amazónica en los sistemas: hidropónico NFT y convencional a campo con el uso de dos variedades en el CIPCA, provincia de Napo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el comportamiento morfofisiológico y productivo de las variedades de lechuga Cherokee Rz (81 - 36) y Starfighter Rz (81 - 85), cultivadas en sistema hidropónico NFT y convencional a campo, en el CIPCA, provincia de Napo.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar los indicadores morfofisiológicos de las variedades Cherokee Rz (81 - 36) y Starfighter Rz (81 - 85) bajo el sistema hidropónico NFT y sistema convencional a campo en el CIPCA, provincia de Napo.
2. Estimar el rendimiento agrícola de las variedades Cherokee Rz (81 - 36) y Starfighter Rz (81 - 85) bajo el sistema hidropónico NFT y sistema convencional a campo en el CIPCA, provincia de Napo.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y ANTECEDENTES

2.1. ORIGEN DE LA HIDROPONÍA

El desarrollo de la hidroponía aparece encaminado desde el año 382 a.C. pero la primera reseña escrita viene de 1600, cuando el científico belga Jan Bautista Van Helmont, descubrió en un experimento que las plantas obtienen sustancias del suelo y del agua, mediante el cual de ahí derivaba el crecimiento de la planta siendo resultado de la absorción que realizaban (Beltrano, 2015).

Según Cruz (2010), a comienzos de 1996, la FAO auspició un taller de sistema hidropónico “Esperanza para Latinoamérica”, teniendo como relevancia de dicha actividad a la técnica a nivel popular o empresarial que representen una opción complementaria útil en la producción de numerosos alimentos de alta calidad, inofensivos a la salud y adecuados para su comercialización.

2.1.1. Cultivo en la Técnica de la película de nutrientes (NFT)

Según Cruz (2016), este se basa en un sistema de recirculación continuo de la solución, permitiendo mantener a las raíces en sumo contacto con la solución nutritiva que circula por una serie de tubos de Policloruro de Vinilo (PVC) llamados tubos de cultivo, favoreciendo la oxigenación de la solución nutritiva.

2.1.1.1. Requerimientos del sistema NFT

2.1.1.1.1. Flujo de la solución nutritiva (SN)

La hidroponía es una técnica para desarrollar plantas en solución nutritiva (SN) con agua y fertilizantes, es parte fundamental en la producción hidropónica, de ella depende la magnitud y calidad del rendimiento productivo, enfocándose en la estrecha relación entre aniones y cationes teniendo un vínculo con la concentración de nutrientes manifestados en la conductividad eléctrica (Velasco, Aguirre y Ortuño, 2016).

2.1.1.1.2. Conductividad eléctrica (CE)

Es un indicador indirecto de la concentración salina del agua y de la solución nutritiva, se recomienda mantener niveles de electro conductividad en valor óptimo de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para que las plantas no se deshidraten por exceso de sales o, al contrario, absorban menos nutrientes por ausencia de los mismos (Cebada, Herrera, Meza y Ovalle, 2016).

2.1.2. Requerimientos del entorno de un cultivo hidropónico

Lima et al. (2018), mencionan que es necesario que las plántulas de lechuga implementadas en el sistema NFT se reproduzcan en bandejas de pequeños volúmenes las cuales requieren de dos fases de trasplantes: bandeja al vivero y posteriormente al lugar *in situ*, llevando controles de temperatura y pH.

2.1.2.1. Temperatura

La temperatura tiene un vínculo directamente proporcional con la cantidad de oxígeno consumido por la planta, teniendo presente que con temperatura menores a 22° C el oxígeno disuelto es suficiente para abastecer la demanda a diferencia que, a mayores temperaturas, la cantidad de oxígeno disuelto empieza a mermar su concentración (Smith, Ernie y Silva, 2015).

2.1.2.2. El pH

El pH de una solución es importante ya que controla la disponibilidad de sales de los fertilizantes, el valor de pH recomendado para el cultivo de lechuga es de 5.5 a 6.5, en los cuales las deficiencias de nutrientes pueden darse sobre o debajo del rango aceptable (Sharma, Acharya, Kumar, Singh y Chaurasia, 2018).

2.1.3. Manejo del experimento en el sistema convencional a campo

2.1.3.1. Labores culturales

2.1.3.1.1. Preparación del terreno

La primera labor de arada se realiza 45 días antes del trasplante, a una profundidad de 30 cm y 40 cm; con el objetivo de eliminar las malezas y roturar el suelo compacto para una mejor aireación e infiltración del agua (Velásquez, Ruiz, Chaves y Luna, 2014).

2.1.3.1.2. Fertilización

En condiciones de la Amazonía, la gallinaza es un fertilizante orgánico que al utilizarse se alcanza mayor área foliar y número de hojas entre los 14 y 21 días (Alemán, Bravo, Freile, Ibarra y Alba, 2018). Por lo general se aplican entre 4 y 8 t/ha de materia orgánica, 500 a 600 kg/ha de fertilizante completo y 500 a 600 kg/ha de cal dolomítica (Valderrama, 2016).

2.1.3.1.3. Trasplante de plántulas

Se plantarán en los surcos cuando las plántulas tengan de 3 a 4 hojas verdaderas, se debe realizar en las primeras horas de la mañana y el suelo tiene que estar húmedo para asegurar el sistema radical (Saavedra, 2017).

2.1.3.1.4. Deshierbe y aporque

Se realizan manualmente en tres ocasiones: la primera a los 20 días luego del trasplante en el campo, la segunda a los 40 y la última a los 65 días del trasplante debido a la presencia de malezas (Velásquez et al., 2014).

2.1.3.1.5. Drenaje

Principalmente se realiza cuando el terreno presenta exceso de agua sobre la superficie, con el fin de mantener la humedad necesaria que requiere la planta sin afectar al sistema radical y a la absorción de nutrientes (Valderrama, 2016).

2.1.4. Importancia de los nutrientes en el cultivo de lechuga

Carbone (2015), manifiesta que las plantas necesitan disponer de variados nutrientes esenciales en diferentes cantidades tales como: los elementos mayores o macronutrientes los que demandan en grandes cantidades en orden de g/L, teniendo principalmente el N, P, K, S, Ca y Mg, al igual es necesario disponer de un grupo de nutrientes con elementos reducidos o micronutrientes en orden mg/L conformados por Fe, Mn, Zn, Mo y B. La variación en relación al exceso o abundancia conlleva a impactos negativos de toxicidad del cultivo.

2.1.5. Usos de nutrientes en el cultivo de lechuga.

2.1.5.1. Macronutrientes

Nitrógeno: La escasez del nitrógeno afecta particularmente en la formación y desarrollo, provocando pigmentación y degradación hacia tonalidades amarillentas en las hojas, en casos de que al déficit fuera alto, éste provoca muerte espontánea de cogollos de la planta (Carrasco y Sandoval, 2016).

Fósforo: Al existir deficiencia de este elemento perjudica al crecimiento causando tonos de colores opacos y púrpuras, conlleva al endurecimiento de las hojas, nervaduras y foliolos, en casos extremos impide la absorción del hierro (Carrasco y Sandoval, 2016).

Potasio: La escasez de este elemento presenta unas manchas amarillas en el borde de las hojas externas que se amplían hacia el centro de la hoja y hacia las hojas medias. Cuando la carencia es evidente, las manchas se tornan marrones y el margen se necrosa (Medina, 2017).

Azufre: Las características predominantes por la escasez de azufre se representan en pequeñas, tiesas y amarillentas hojas tornándose en forma de una roseta (Carrasco y Sandoval, 2016).

Calcio: El perjuicio que conlleva la escasa disponibilidad de calcio provoca la malformación de la planta, en las hojas jóvenes se evidencian unos puntos negruzcos o marrones que juntos representan una quemadura típica (Medina, 2017).

Magnesio: Las hojas viejas presentan una decoloración amarillenta y pueden llegar a necrosarse, cuando la escasez es muy evidente provoca progresión hacia las hojas medias (Medina, 2017).

2.1.5.2. Micronutrientes

Hierro: El daño causado por el déficit de este elemento en la planta se manifiesta en la parte intervenal en las hojas jóvenes, con el avance progresivo las hojas se tornan más amarillentas y en casos excesivos llegan a la ausencia total de la clorofila (García, 2013).

Manganeso: La representación de escasez se ve manifestada en la presencia de suelos que contengan altos grados de pH. Se observa cambios de coloración palidez e incluso clorosis, manchas con tonalidades marrones en las hojas (García, 2013).

Zinc: La afectación se presenta las hojas más viejas, impide su crecimiento provoca la forma de roseta y le da una textura marchita, esto se manifiesta en suelos ácidos o neutros; los síntomas más visibles son el retraso en el desarrollo causante por el acortamiento de los entrenudos y una disminución en el tamaño de las hojas, presentando clorosis (García, 2013).

Molibdeno: La falta de este mineral provoca a la lechuga que detenga su crecimiento y tener una forma de roseta, conlleva a la palidez de los folíolos viejos y progresivamente atacan a las hojas jóvenes, provocando una caída prematura de éstas, la cual reduce el rendimiento (García, 2013).

Boro: Con síntomas similares al calcio con la diferencia en el lugar de la necrosis, que se halla en el punto de desarrollo impidiendo la producción de hojas nuevas. Las hojas jóvenes se engrosan, la planta puede ser afectada por la toxicidad con representación en los bordes de color amarillento (Medina, 2017).

2.2. CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS

Dentro de la especie *Lactuca Sativa L.* se diversifican variedades por poseer una gran diversidad en su morfología, diferenciadas por el tipo de hojas y hábito de crecimiento. La lechuga de hojas sueltas se caracteriza por tener hojas no envolventes, una roseta plana y con bordes en sus hojas modificadas por cada variedad, principalmente no forman cogollos,

por dicha característica son mejores para implementarlas en hidroponía, aunque de igual forma se pueden desarrollar en el suelo (Redagricola, 2018).

2.2.1. Cherokee RZ (81-36)

Variedad de Batavia Roja (Figura 1.a) de color muy intenso y brillante, de gran tamaño y corazón semi abierto. Sus hojas son gruesas lo que permite que tras la manipulación su aspecto comercial y calidad perduren durante más tiempo (Sharing a healthy future, 2007).

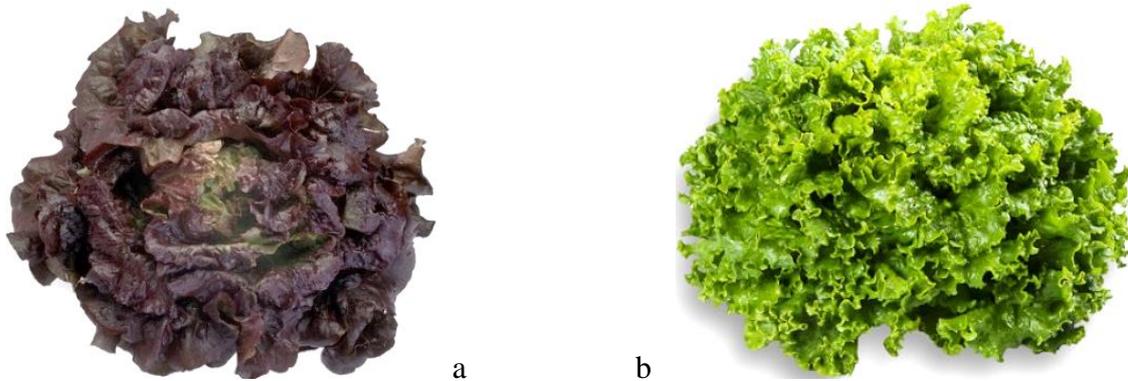


Figura 1. a. Lechuga Cherokee RZ (81 -36), b. Lechuga Starfighter RZ (81- 85)

2.2.2. Starfighter RZ (81-85)

Es un tipo de lechuga perteneciente a la variedad Batavia (Figura 1.b) predominado con características rizadas y mantecosas, siendo de gran vigor y rendimiento, es una variedad auténtica de la lechuga que en semejanza a otras tiene un sabor muy neutral (Sharing a healthy future, 2007).

2.2.3. Tallo

El tallo es pequeño, muy corto, cilíndrico y no se ramifica cuando la planta está en el estado óptimo de cosecha; sin embargo, cuando finaliza la etapa comercial, el tallo se alarga hasta 1.2 m de longitud, con ramificación del extremo y presencia, en cada punta, de las ramillas terminales de una inflorescencia (Muñoz, 2018).

2.2.4. Hojas

Este tipo de lechuga al ser de hoja suelta tiene un promedio de entre 8 – 10% de pérdida de hoja. El largo y ancho de la hoja va a depender de las condiciones en las que se encuentre el cultivo de lechuga, por otro lado, también se tiene en cuenta que son diferentes variedades, su diámetro es aproximadamente de 15 a 20 cm (Sharing a healthy future, 2007).

2.2.5. Área foliar

Es una medida que es tomada de la superficie foliar de la planta en términos de densidad o grosor relativo de la hoja, por medio del cual se puede calcular el índice del área foliar (IAF) que expresa la superficie de la hoja por unidad de área de superficie ocupada por la planta (Carranza, Lanchero, Miranda y Chaves, 2009). Esta varía en dependencia de la variedad de la lechuga y de las condiciones climáticas en las que se encuentre el cultivo.

2.3. INVESTIGACIONES RELACIONADAS A PARÁMETROS MORFOFISIOLÓGICOS EN EL CULTIVO DE LECHUGA BAJO CONDICIONES CONTROLADAS Y A CAMPO ABIERTO.

Afton (2018), en su trabajo de investigación evaluó el crecimiento y rendimiento de 45 variedades de cuatro tipos de lechuga (*Lactuca sativa* L.), cultivadas en el jardín botánico de la Universidad Estatal de Luisiana. Los datos fueron tomados cada 7 días por 28 días, según los resultados obtenidos, la variedad Starfighter en cuanto a la altura de la planta resultó mayor (15.3 cm) que la variedad Cherokee con un promedio de 14.8 cm, no existiendo diferencias estadísticas significativas; el ancho de la copa fue mayor para la variedad Starfighter con 27.6 cm diferenciándose estadísticamente de la variedad Cherokee con 25.1 cm; en cuanto al área foliar también existió diferencia estadística y la variedad Starfighter obtuvo 2954.8 cm² mientras que el área foliar de la variedad Cherokee fue de 2189.7 cm².

Según Paterlini, González y Picone (2018), en su investigación evaluaron el efecto del compost de cama de pollo sobre la producción de lechuga morada, obteniendo que a los 7 días después del trasplante(ddt) un promedio de hojas por planta de 5 hojas para cada tratamiento y a los 55 ddt, momento de la cosecha, el testigo tuvo promedio de 16 hojas, el tratamiento con 15 t de compost 21 hojas y el tratamiento con 30 t promedio 20 hojas por planta; en cuanto a la altura de la planta a los 7 ddt el testigo promedió 7.2 cm, el tratamiento de 15 t 7.5 cm y el tratamiento de 30 t promedio 7.1 cm y al momento de la cosecha el testigo tuvo un promedio de 22.8 cm, el tratamiento de 15 t promedió 27.2 cm y el tratamiento de 30 t promedió 27.4 cm.

En un estudio realizado en Cevallos, Tungurahua, Ecuador, Cajo (2016), evaluó tres variedades de lechuga bajo un sistema NFT con tres soluciones nutritivas, las variedades utilizadas fueron de hoja. Las variables fueron evaluadas a los 35, 50, 65 y 80 días. Los resultados obtenidos indicaron que a los 35 días no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las variedades en cuanto al número de hojas; a los 50 días las variedades

Salad Bowl (5.46), Lollo Rosso (5.40) y Crespa con 5.33 hojas promedio no fueron significativas; a los 80 días las variedades Lollo Rosso (11.70) y Salad Bowl (11.56) se diferenciaron estadísticamente de la variedad Crespa que presentó un promedio de 10.39 hojas. En cuanto a la variable longitud de hoja a los 35 días las variedades Lollo Rosso (5.19 cm) y Salad Bowl (4.86 cm) mostraron diferencias estadísticamente significativas respecto a la variedad Crespa con un promedio de longitud de hojas de 3.98 cm; a los 50 días las variedades Salad Bowl (5.60 cm) y Lollo Rosso (5.41 cm) se diferenciaron estadísticamente de la variedad Crespa 4.61 cm; a los 80 días se mantuvo la diferencia estadísticamente significativa en el mismo orden de la fecha anterior Salad Bowl (9.66 cm), Lollo Rosso (9.59 cm) y la variedad Crespa 7.48 cm.

El mismo autor reportó para altura de la planta a los 35 días se diferencia estadísticamente entre las variedades, siendo la variedad Lollo Rosso (6.96 cm) superior a la Salad Bowl (6.57 cm) pero sin diferencias entre ellas y la variedad Crespa con un promedio de 5.66 cm inferior a las dos anteriores; a los 50 días se mantiene el mismo comportamiento no existiendo diferencias entre Lollo Rosso (7.12 cm) superior a la Salad Bowl (6.85 cm) y si diferenciándose de la Crespa con 5.97 cm; a los 80 días se mantuvo el mismo comportamiento Lollo Rosso (10.02 cm) superior a la Salad Bowl (9.92 cm) y a la Crespa 8.80 cm.

Leiva et al., (2018), evaluaron el comportamiento productivo de once variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico NFT recirculante en Chachapoyas, Perú, encontraron diferencias estadísticas significativas entre las variedades evaluadas en el momento de la cosecha, a los 35 ddt, siendo la variedad Tropicana la de mayor altura de planta con 16.3 cm, en cuanto al diámetro del tallo reportan que la variedad con mayor valor fue la Cuatro Estaciones con 20.98 mm, en la variable número de hojas la variedad de mejor resultado fue la Tonya con una media de 43.8 hojas, la variedad con mayor longitud de raíces fue la Curly Red con un valor de 23.87 cm aunque no existió diferencia estadística entre ésta y las demás variedades, el mayor diámetro de copa fue reportado para la variedad Cuatro Estaciones con 32.02 cm.

Cruz (2016), evaluó tres variedades de lechuga en un sistema de hidropónico bajo ambiente semiprotegido en Chocloca, Bolivia. Fueron estudiadas tres variedades de lechuga (Great Lakes, White Boston y Grand Rapids Tbr), siendo la variedad Great Lakes la de mejor respuesta en cuanto a largo de la raíz con 18.4 cm, en tanto que la variedad Grand Rapids Tbr manifestó un largo de raíz de 18.0 cm y la variedad White Boston 16.1 cm.

Alemán et al., (2018), evaluaron la influencia de fertilizantes orgánicos en el desarrollo morfofisiológico y productivo del cultivo de lechuga variedad Patagonia, desarrollado en el CIPCA. A los 14 ddt el experimento con gallinaza reportó una media de 11 hojas por planta y en cuanto al área foliar registraron una media de 800 cm² por planta; a los 21 ddt se reportaron un promedio de 12 hojas por planta y el área foliar fue de 1300 cm².

En una investigación donde se evaluaron las variedades de lechuga Verónica y Vulcano en sistema hidropónico NFT y sistema a campo, en Zamorano, Honduras, se reportó que en el sistema hidropónico las plantas absorbieron con más eficiencia el agua y también los macro elementos, sin embargo, en el sistema a campo se absorbieron mejor los micronutrientes; en el mismo ensayo se reporta una mortalidad de plantas en el sistema a campo del 22% mientras que en el sistema hidropónico no existió mortalidad de plantas. Además, en el sistema hidropónico, debido al estrés, se obtuvo menos peso fresco, promediando 40 g por planta para las dos variedades, mientras que en el sistema a campo la variedad Verónica promedió 168 g y la variedad Vulcano 141 g por planta (Cárdenas, 2004).

Según Hernández y Hernández (2005), en una evaluación productiva de lechuga francesa (*Lactuca sativa* L. var. *acephala*) y lechuga romana (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) con la técnica de película nutritiva (NFT), bajo invernadero y dos densidades de siembra. Fueron cultivadas bajo dos densidades de siembra (4.3 y 5.9 plantas/m²). Teniendo como resultado que el rendimiento de la variedad francesa fue de 23.6 t/ha y la variedad romana 32.4 t/ha.

En cuanto al peso de la planta Cajo (2016), encontró diferencias estadísticamente significativas entre tres variedades, siendo la variedad Salad Bowl la de mayor peso con 184.4 g/planta, la variedad Lollo Rosso 152.8 g/planta y la variedad Crespa 126.1 g/planta. El mismo autor reporta que para la variable rendimiento existieron diferencias estadísticas significativas entre las tres variedades, la variedad Salad Bowl fue la de mayor rendimiento con 36882.2 kg/ha, seguida de la variedad Lollo Rosso con 30.5 t/ha y por último la variedad Crespa con 25.2 t/ha.

En un estudio realizado en la Universidad de Luisiana, Afton (2018), reportó que la variedad Starfighter se diferenció estadísticamente de la variedad Cherokee en cuanto al peso fresco con un promedio de 191.5 g y 113.6 g/planta respectivamente.

Leiva et al., (2018) reportan diferencias altamente significativas de la variedad Curly Green respecto a otras diez variedades estudiadas al momento de la cosecha (35 después del

trasplante), con 203.36 g/planta de peso fresco, en la variedad Tropicana, también reportaron peso seco de 32.18 g/planta y 26.44 % de materia seca para la variedad Bohemia.

En un estudio de tres variedades de lechuga en sistema hidropónico recirculante bajo condiciones semiprotegidas Cruz (2016) obtuvo como resultados que el peso fresco fue mayor para la variedad Great Lakes con 134.13 g/planta, en cuanto a rendimiento también la variedad Great Lakes fue superior alcanzando 33.53 t/ha en tanto la Grand Rapids Tbr produjo 26.72 t/ha y la variedad White Boston obtuvo 24.46 t/ha, no existiendo diferencias estadísticas entre las variedades.

Alemán et al., (2018), plantean que el peso seco en raíces de la variedad de lechuga Patagonia al momento de la cosecha fue de 0.50 g/planta, el peso seco de las hojas fue de 3.75 g/planta y el tallo tuvo un peso seco promedio de 0.52 g/planta. En cuanto al rendimiento biológico la media fue de 5 g de materia seca/planta, el rendimiento económico fue de 2.6 g/planta materia seca de las hojas y el rendimiento agrícola fue de 9.6 t/ha.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó en el “Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica” (CIPCA), ubicado en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola junto a la desembocadura del río Piatua y Antzu, en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena, de la provincia de Napo (Figura 2).



Figura 2. Ubicación geográfica del CIPCA.

Geográficamente se encuentra en las coordenadas $01^{\circ}14'4.105''$ Latitud Sur y $77^{\circ}53'4.27''$ Longitud Oeste, con una altitud de 547 msnm. A una temperatura promedio de 24° C, con clima tropical húmedo y precipitación anual entre 3654.5 y 5516 mm (Ramírez, González, Andrade y Torres, 2016).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación fue experimental, porque se consideraron como factores de estudio los sistemas de cultivo hidropónico bajo la Técnica de la película de nutrientes (NFT) y convencional a campo y las variedades de lechuga sobre los indicadores morfofisiológicos y productivos, los cuales conformaron los tratamientos de la investigación para evaluar el comportamiento de las variedades de lechuga, con el fin de identificar el mejor sistema que permita alcanzar un rendimiento estable en las condiciones amazónicas.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

La sistemática a utilizarse para el progreso de esta evaluación fue experimental, teniendo en cuenta:

Variables Independientes: Sistema de cultivo NFT, sistema de cultivo convencional (a campo), y variedades Cherokee Rz 81 – 36 y Starfighter Rz 81 – 85.

Variables Dependientes: Variables morfofisiológicas y productivas.

Para establecer la dinámica de crecimiento de las plantas, se realizó la toma de datos el día del trasplante de las variables altura y número de hojas de las plántulas de lechuga. Consecutivamente a los 14 días después del trasplante se evaluaron las siguientes variables: altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas y área foliar en los dos sistemas de cultivo, las variables largo de raíces y peso fresco fueron evaluadas solo en el sistema hidropónico NFT, progresivamente las dos tomas de datos restantes se realizaron cada 7 días.

3.3.1. Sistema hidropónico NFT.

El sistema hidropónico NFT abarca un área de 9 m², con 20 tubos PVC de 3.0 m de largo por 101.6 mm (4”) de diámetro cada uno y con una distancia entre tubos de 0.207 m. Este sistema tuvo 280 plántulas con dos variedades (V1, Cherokee Rz 81 – 36 y V2, Starfighter Rz 81 – 85) Figura 3, cada tubo contuvo 14 plantas, separadas a una distancia de 0.200 m, con la misma variedad y cada repetición estuvo conformada por tres tubos.

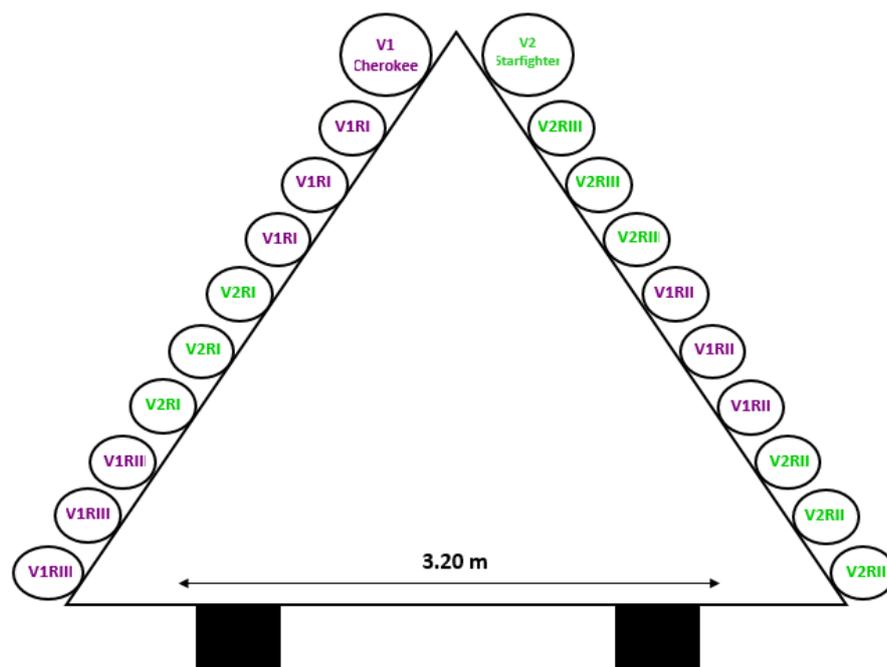


Figura 3. Distribución de las variedades en la estructura escalonada bajo invernadero.
Fuente: *Elaborado por los autores.*

Se empleó solución nutritiva concentrada para lechuga del fabricante La Huerta Honfleur, radicado en la ciudad de Quito; la solución se comercializa en presentaciones de 500 y 1000 ml. Los frascos A y C contienen los macronutrientes y el frasco B contiene los micronutrientes (Tabla 1).

Tabla 1. Componentes de la solución nutritiva.

	Elementos	Solución A	Solución C	Solución B	Total	Total, aplicado
Macronutrientes (g/100 ml)	N	1.11	0.07	0.21	1.39	13.9
	P	1.990	0.00	0.00	1.99	19.9
	S	0.03	0.01	1.08	1.12	11.2
	K	9.80	0.06	0.97	10.83	108.3
	Ca	0.72	13.16	0.45	14.33	143.3
	Mg	0.17	0.09	3.54	3.80	38.0
Micronutrientes (ml/L)	Zn	3.63	9.80	192.70	206.13	206.13
	Cu	0.07	0.02	143.2	143.29	143.29
	Fe	31	36	362	429.00	429.00
	Mn	26.2	31.3	853.7	912.20	912.20
	B	10.34	55.80	28.75	94.89	94.89

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas, INIAP – EECA. Orellana.

3.3.2. Sistema convencional a campo abierto.

El sistema convencional a campo conto con un área de 30.14 m², conformado por 20 surcos como se muestra en la Figura 4 es decir, cada repetición estuvo de cuatro surcos de 3.0 m de largo, la distancia entre repetición será de 0.50 m, cada surco tuvo 14 plantas separadas a 0.20 m, de la misma variedad con una distancia 0.207 m entre surcos. En cuanto a la fertilización a campo abierto, Hogares juveniles campesinos (2010), indicó: “La fertilización se aplicar en dependencia de la especie, variedad y las características químicas del suelo, generalmente realizando un muestreo y análisis de suelo”. Se fertilizó con abono orgánico, utilizando una norma de fertilización de 8 t/ha de gallinaza.

Según Alemán et al., (2018) la composición química de la gallinaza utilizada en el experimento realizado en el CIPCA fue la siguiente: en los macronutrientes la concentración de N es de 2.3 %, P 1.66 %, S 1.45%, K 3,24 %, Ca 7.78 % y Mg 0.11 %; y en los micronutrientes el B es de 20 mg/kg, Zn 115 mg/kg, Cu 145 mg/kg, Fe 592 mg/kg y Mn 355 mg/kg.

Se evaluaron las plantas evitando el efecto de borde y se tomaron aquellas que estén en competencia intraespecífica, en cada repetición se tomarán 14 plantas, siete plantas centrales por cada surco o tubo. Los dos sistemas tendrán el mismo número y distribución de plantas con sus respectivas variedades. La variedad Cherokee tendrá 140 plantas en cada sistema para un total de 280 plantas y la variedad Starfighter también 140 plantas en cada sistema para un gran total de 560 plantas en el experimento.

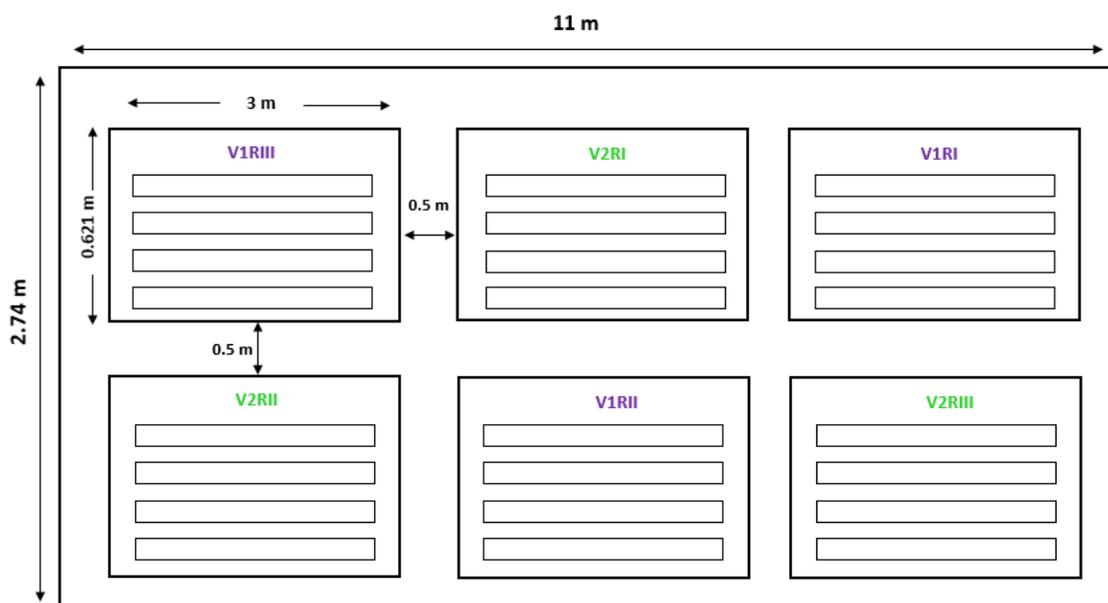


Figura 4. Distribución de las variedades en el campo. Fuente: *Elaborado por los autores.*

Alemán et al., (2018), realizó el estudio de la contextura del suelo en el área de hortalizas y verduras del CIPCA, manifestándose una mejor composición química en el horizonte superficial con respecto al segundo horizonte apreciando que se obtienen suelos ácidos ya que contiene altas concentraciones de macro y micro nutrientes (Tabla 2).

Tabla 2. Composición química del suelo del área de estudio localizada en el CIPCA

	Elementos	Profundidad 0 - 15 (cm)	Profundidad 15 - 30 (cm)
Macronutrientes	N (mg/kg)	81	37
	P (mg/kg)	16	10
	S (mg/kg)	58	20
	K (mg/kg)	74.1	54.6
	Ca (mg/kg)	601.5	601.5
	Mg (mg/kg)	145.8	72.9
Micronutrientes	Zn (mg/kg)	8.40	3.20
	Cu (mg/kg)	8.60	9.60
	Fe (mg/kg)	150	138
	Mn (mg/kg)	8.80	5.90
	B (mg/kg)	0.19	0.10

Fuente: Alemán et al., (2018).

3.3.3. Manejo del experimento en el sistema hidropónico

3.3.3.1. Trasplante de las plántulas en el sistema hidropónico

Se procedió al trasplante, en una esponja de baja densidad de 2 x 2 cm y una altura de 4 cm, para ello se cortaron las esponjas en forma de cubo, que previamente se desinfectaron con vinagre para eliminar los elementos tóxicos retenidos por la fabricación de la espuma, y luego se enjuagaron con abundante agua para eliminar el vinagre. A continuación, se realizó la apertura en medio de cada esponja hasta la mitad, posteriormente las plántulas se extrajeron cuidadosamente del recipiente pregerminativo, se lavaron las raíces con agua. Posteriormente se depositaron las plántulas en vasos plásticos sujetas en el fondo con las esponjas, los recipientes se colocaron en los orificios practicados en los tubos de cultivo por donde recircula la solución nutritiva que es absorbida por las plantas a través del orificio que tienen los vasos en la parte inferior.

3.3.4. Mediciones evaluadas para las dos condiciones experimentales.

Se midieron las siguientes variables en 14 plantas elegidas aleatoriamente de cada repetición en los dos sistemas.

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

Se tomó en cuenta la longitud desde la base del cuello de la raíz hasta el extremo superior del ápice de la hoja, mediante el empleo de una regla graduado.

- **Diámetro del tallo (mm)**

Se midió en el cuello de la raíz con la ayuda de un calibrador.

- **Número de hojas**

Se realizó un conteo del número de hojas producidas durante el desarrollo del cultivo.

- **Largo de raíz(cm)**

Se estableció mediante la medición del inicio del órgano radicular hasta la punta final del mismo, con una regla.

- **Largo y ancho de las hojas (cm)**

Se determinó el largo de la hoja desde el ápice hacia el punto donde se une con el tallo, y el ancho en la parte media de la hoja; con la ayuda de una regla graduada.

- **Área foliar (cm²)**

Se desarrolló en tres momentos del crecimiento fisiológico del cultivo, a los 14 y 28 ddt y en cosecha, el cual se obtuvo por el método de relación peso: área (método del sacabocado o de cilindro de área conocida). De cada hoja analizada (parte media y externa de la planta), se extraen tres discos de tejido fresco de la lámina foliar obtenidos con el sacabocados.

Seguidamente, se calculó el área foliar por planta, a través de la relación entre el peso fresco total de las hojas y el área unitaria del disco como se describe en la siguiente ecuación (Pire y Valenzuela, 1995):

$$\text{Área foliar} = \frac{\text{Peso total de las hojas} \times \text{Área del disco}}{\text{Peso promedio de los discos}}$$

- **Peso fresco (g)**

Es el peso de los órganos de las plantas recién recolectado en un momento determinado.

- **Rendimiento Agrícola (RA)**

Es la sumatoria del peso total de la muestra de cada tratamiento, por la unidad de área, expresada en kg/m² y kg/ha.

3.3.5. Tratamientos de datos.

En la presente investigación el diseño experimental aplicado fue el completamente aleatorizado (DCA) con tres repeticiones. Este diseño buscó encontrar el mejor comportamiento de los cultivares en los diferentes sistemas.

El modelo estadístico lineal utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Respuesta de la i-ésima variable.

μ = Media general

τ_i = Efecto asociado al i-ésimo sustrato

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la i-ésima unidad experimental.

3.3.6. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos, se empleó el paquete estadístico Statgraphic Centurion XVI, con el que se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial, para determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos, además, se efectuó la prueba de Rangos Múltiples de Tukey al 95 % de probabilidad para determinar cuál es el mejor tratamiento.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS ESPERADOS

4.1. MOMENTO DE TRASPLANTE DEL CULTIVO DE LECHUGA

Dos variedades de lechuga, pertenecientes a la variedad Batavia, la Cherokee Rz 81 – 36 (V1) y Starfighter Rz 81 – 85 (V2), se cultivaron en dos sistemas de producción: sistema hidropónico con la Técnica de la Película de Nutrientes (NFT) y en el sistema convencional a campo (C).

Al momento del trasplante se tuvo en cuenta la altura y número de hojas para las variedades; siendo de 5 cm la altura de planta y 3 hojas para la variedad V1 (Figura 5 a) y la V2 promedió 5.12 cm de altura y 3.3 hojas por planta (Figura 5b).

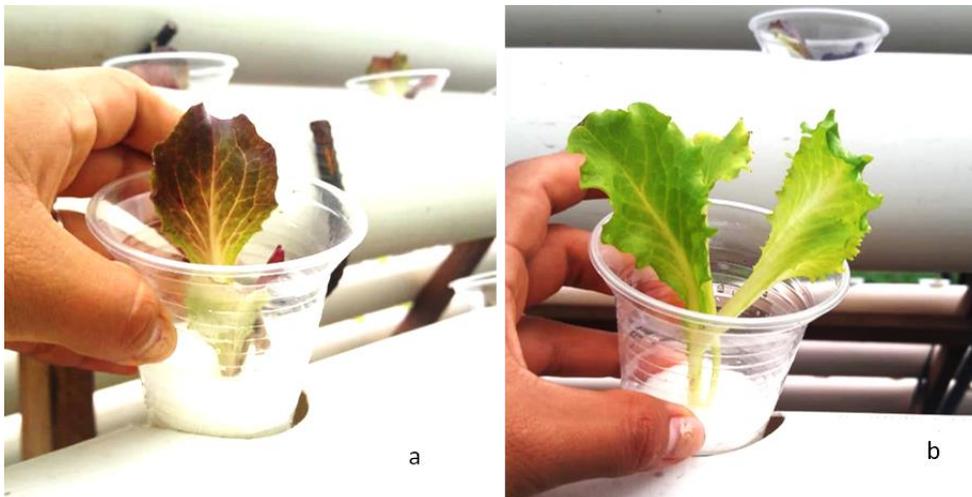


Figura 5. Plántulas de lechuga en el momento del trasplante, a: variedad Cherokee Rz 81-36, b: Starfighter Rz 81-85 (Fuente: los autores, 2019).

En el momento del trasplante las diferencias entre las dos variedades no fueron estadísticamente significativas en cuanto a las variables altura de la planta y número de hojas, como se observa en la Figura 6.

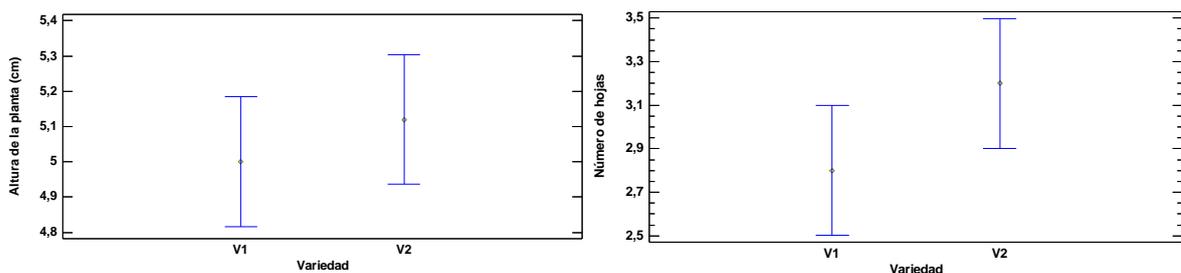


Figura 6. Medias de altura y número de hojas de las plántulas de lechuga al momento del trasplante. Medias con Tukey a $P \leq 0.05$.

Lo cual pudiera estar dado a que ambas variedades germinaron en un mismo sustrato, y que éste aportó los nutrientes necesarios en los primeros estadios, comportándose de igual manera en la formación de las hojas verdaderas y sin influencia aún sobre el potencial genético de cada una de las variedades.

4.2. COMPORTAMIENTO EN ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO DEL TALLO, NÚMERO DE HOJAS, ÁREA FOLIAR, LARGO DE RAÍCES Y PESO FRESCO EN LOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO Y DOS VARIEDADES A LOS 14 DÍAS DEL TRASPLANTE

4.2.1. Altura de la planta y diámetro del tallo

A los 14 días del trasplante se encontraron diferencias estadísticamente significativas (*Tukey a $P \leq 0.05$*) entre las dos variedades, también para los dos sistemas de producción, así como para la interacción de estos dos factores en cuanto a las variables altura y diámetro de tallo (Tabla 3).

Tabla 3. Media de las variables altura de la planta (*Ap*) y diámetro de tallo (*Dt*) de dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.

<i>Factor</i>	<i>Ap</i> (<i>cm</i>)	<i>P-Value</i>	<i>Dt</i> (<i>mm</i>)	<i>P-Value</i>
A: Sistema de Cultivo		0.0000		0.0000
NFT	16.1 a		3.2 a	
C	5.9 b		2.6 b	
B: Variedad		0.0000		0.1499
V1	9.4 b		2.8 a	
V2	12.5 a		2.9 a	
AB		0.0000		0.0346

Comparación de medias con Tukey a $P \leq 0.05$. Letras distintas en la misma columna significa que existe diferencia estadística a un nivel de significancia del 5%.

Como se observa en la Tabla 3 las plantas de lechuga mantuvieron la tendencia que existía al momento de la plantación, la variedad V2 fue la de mayor promedio de altura existiendo diferencias estadísticamente significativas entre variedades con una altura de 12.5 cm superior a la media de la V1 que fue de 9.4 cm. También se puede observar que en el sistema hidropónico NFT se promedió la mayor altura con 16.1 cm sobre los 5.9 cm en el tratamiento convencional a campo abierto, siendo significativa esta diferencia y con mejor comportamiento la variedad V2.

Al analizar la interacción entre sistema de cultivo y variedad (Figura 7) se observa que existieron diferencias estadísticas significativas entre las variedades cultivadas en el sistema NFT y las cultivadas en el sistema convencional a campo, siendo la variedad V2 superior en ambos sistemas a la V1. La variedad Starfighter cultivada en el sistema NFT mostró los mayores valores de altura media por planta con 18.9 cm superior a los 13.2 cm de la variedad Cherokee, coincidiendo con los resultados obtenidos por Afton (2018) para estas mismas variedades.

En el tratamiento convencional a campo no se manifestaron diferencias estadísticas significativas entre las dos variedades estudiadas, aunque la V2 con 6.1 cm registró los valores medios de altura por planta superiores a los 5.7 cm de la V1.

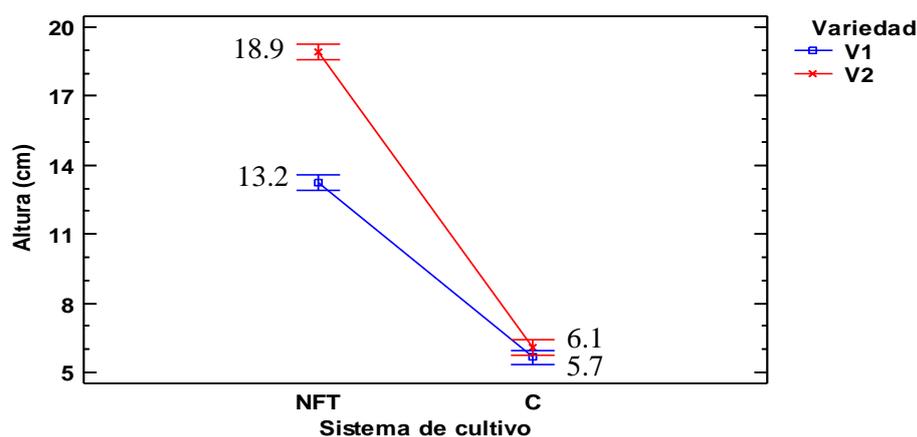


Figura 7. Interacción de sistema de cultivo y variedades para altura de las plantas de lechuga a 14 días del trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

Al analizar la variable diámetro del tallo (Tabla 3) se observa que en sentido general el comportamiento de esta variable es similar a la altura, registrándose diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento hidropónico NFT con un mayor promedio de diámetro 3.2 cm y el tratamiento convencional a campo con 2.6 cm. En cuanto al factor variedad, las diferencias fueron no significativas entre ellas siendo prácticamente los mismos valores para ambas.

El efecto del sistema de cultivo versus la variedad (Figura 8) indica que existieron diferencias estadísticas significativas entre las variedades cultivadas en el sistema NFT y las cultivadas en el sistema convencional a campo, las plantas cultivadas en sistema NFT fueron de mayor diámetro de tallo que las cultivadas en el sistema convencional, siendo las plantas de la variedad V2 cultivadas en hidroponía las de mayor valores con un promedio de 3.3 mm superior a lo mostrado por la variedad V1 (3.1 mm); en el tratamiento convencional a campo

las dos variedades tuvieron valores similares de diámetro de tallo (2.7 mm variedad V2 y 2.6 mm variedad V1).

Esto pudo deberse al suministro constante de nutrientes que existe en el sistema NFT, posibilitando que las plantas tengan un mayor desarrollo de todos los órganos, concordando con lo reportado por Cárdenas (2004) quien manifiesta que las plantas en el sistema NFT son más eficientes en el consumo de agua y la toma de elementos mayores. No siendo así en el tratamiento convencional a campo donde por el exceso de precipitaciones algunas nutrientes pueden ser lavados

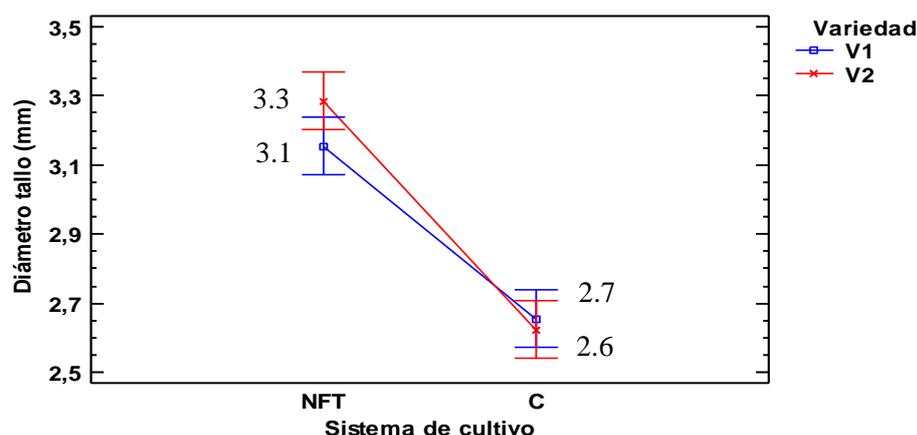


Figura 8. Interacción de sistema de cultivo y variedad para diámetro del tallo de las plantas de lechuga a 14 días del trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

4.2.2. Número de hojas y área foliar

El estudio del número de hojas por planta y del área foliar arrojó que ambas variables mostraron diferencias estadísticamente significativas (*Tukey a $P \leq 0.05$*) respecto a los factores sistemas de cultivo y variedad como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Media de las variables número de hojas ($N^{\circ}h$) y área foliar por planta en dos variedades de lechuga.

Factor	$N^{\circ}h$	<i>P-Value</i>	<i>Af</i> (cm^2)	<i>P-Value</i>
A: Sistema de Cultivo		0.0000		0.0000
NFT	6.4 a		316.7 a	
C	4.3 b		62.6 b	
B: Variedad		0.0001		0.0000
V1	5.0 b		163.4 b	
V2	5.6 a		215.9 a	
AB		0.0000		0.0000

Comparación de medias con Tukey a $P \leq 0.05$. Letras distintas en la misma columna significa que existe diferencia estadística a un nivel de significancia del 5%.

El número de hojas y área foliar por planta presentaron similares comportamientos (Tabla 4). El sistema hidropónico, independientemente de las variedades, continuó diferenciándose al sistema convencional a campo, reportando un valor medio de número de hojas igual a 6.4 mientras el convencional promedió 4.3, resultados que son inferiores a los de Alemán et al., (2018) pero similares a los reportados por Cajo (2016) evaluados a 50 días del trasplante. De igual forma se manifestó la variable área foliar con resultados promedio para el sistema NFT (316.7 cm²) superiores a los reportados en el sistema convencional a campo que fue de 62.6 cm². Las variedades se mantienen con el mismo comportamiento siendo la V2 superior en número de hojas por planta (5.6) y en área foliar (215.9 cm²) a la variedad V1 en donde se reportaron 5 hojas por planta y 163.4 cm² de área foliar, resultados que son inferiores a los reportados por Alemán et al., (2018) en ambas variables.

En relación a la interacción entre los dos factores estudiados (Figura 9), se observa que existe diferencia estadística significativa entre las variedades cultivadas en el sistema NFT y las cultivadas en el sistema convencional a campo independientemente de la variedad, siendo la variedad V1 superior a la variedad V2.

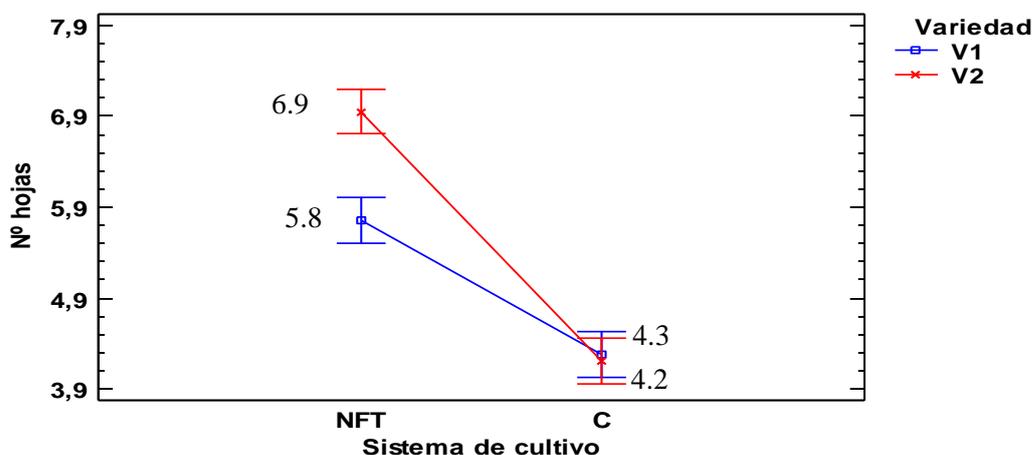


Figura 9. Interacción de sistema de cultivo y variedad para número de hojas por planta de lechuga a 14 días del trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

La variedad Starfighter (V2) cultivada en el sistema NFT mostró los mayores resultados con una media de 6.9 hojas por planta, superior a las 5.8 hojas por planta de la variedad Cherokee (V1), valores superiores a los reportados por Cajo (2016). En el tratamiento convencional a campo no se manifestaron diferencias estadísticas significativas entre las dos variedades estudiadas, con valores de 4.3 y 4.2 hojas por planta para las variedades V1 y V2 respectivamente siendo inferiores a los reportados por Paterlini et al., (2018).

En este sentido el efecto de los sistemas de cultivo sobre las variedades, para el área foliar, (Figura 10) indica que existe diferencia estadística significativa entre las variedades cultivadas en el sistema NFT y las cultivadas en el sistema convencional a campo, las plantas cultivadas en sistema NFT aquellas con mayor valor, siendo las plantas cultivadas en NFT las de mayor área foliar, con un promedio de 370.8 cm² para la V2 y 262.6 cm² para la V1. Las plantas cultivadas en el sistema convencional a campo promediaron 64.1 cm² y 61.1 cm² para las variedades V2 y V1 respectivamente, no existiendo diferencia significativa entre ellas, valores que en ambos sistemas fueron inferiores a los reportados por Alemán et al., (2018).

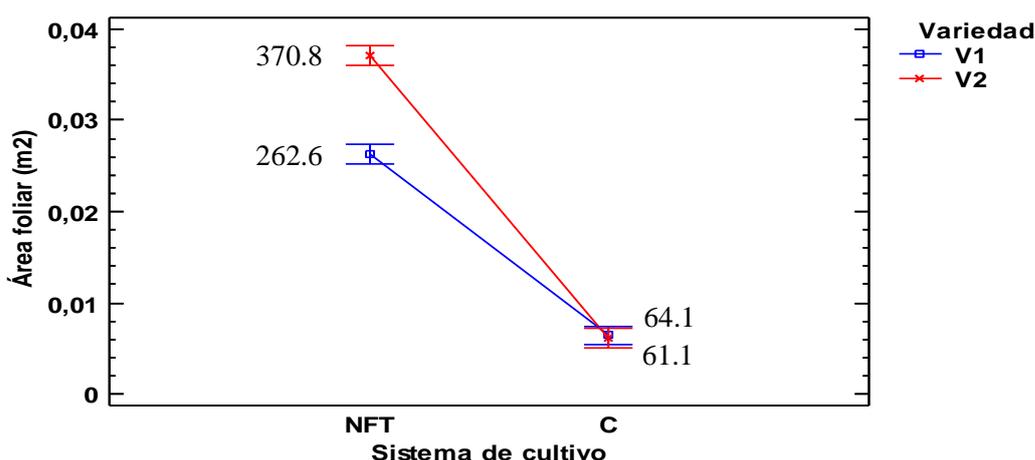


Figura 10. Interacción de sistema de cultivo y variedad para área foliar (cm²) por planta de lechuga a 14 días del trasplante. *Interacción con Tukey a P ≤ 0.05.*

4.2.3. Largo de raíces y peso fresco.

La evaluación del largo de raíces y peso fresco por planta solo se llevó a cabo en el sistema hidropónico NFT a los 14 días del trasplante con el objetivo de comparar el comportamiento de las dos variedades en ese sistema, aplicándose un análisis de varianza de un factor (Tabla 5).

Tabla 5. Medias de variables largo de raíz (Lr) y peso fresco (Pf) por planta de dos variedades de lechuga evaluadas en sistema hidropónico NFT.

Factor	Lr (cm)	P-Value	Pf (g)	P-Value
Variedad		0.0000		0.0000
V1	9.6 a		4.65 b	
V2	7.5 b		7.13 a	

Comparación de medias con Tukey a P ≤ 0.05. Letras distintas en la misma columna significa que existe diferencia estadística a un nivel de significancia del 5%.

Observándose que las variables largo de raíces y peso fresco por planta registraron diferencias estadísticamente significativas entre las dos variedades (*Tukey a $P \leq 0.05$*). La variedad V1 alcanzó el mayor largo de raíces promediando con 9.6 cm superior a los 7.5 cm de la variedad V2. En tanto el peso fresco por planta fue de 7.13 g para la variedad V2, superior en promedio a la variedad V1 que obtuvo valores de 4.65 g.

4.3. COMPORTAMIENTO EN ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO DEL TALLO, NÚMERO DE HOJAS, LARGO DE RAÍCES Y PESO FRESCO EN LOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO Y DOS VARIEDADES A LOS 21 DÍAS DEL TRASPLANTE

4.3.1. Altura de la planta y diámetro del tallo

A los 21 días del trasplante, en la variable altura de planta, se encontraron diferencias estadísticamente significativas (*Tukey a $P \leq 0.05$*) entre las dos variedades, también para los dos sistemas de producción, así como para la interacción de estos dos factores; la variable diámetro del tallo solo registró diferencia estadística para sistema de cultivo (Tabla 6).

Tabla 6. Media de las variables altura de la planta (*Ap*) y diámetro del tallo (*Dt*) de dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.

<i>Factor</i>	<i>Ap</i> (<i>cm</i>)	<i>P-Value</i>	<i>Dt</i> (<i>mm</i>)	<i>P-Value</i>
A: Sistema de Cultivo		0.0000		0.0000
NFT	22.1 a		4.0 a	
C	8.9 b		3.5 b	
B: Variedad		0.0000		0.2695
V1	13.5 b		3.7 a	
V2	17.5 a		3.8 a	
AB		0.0000		0.4052

Comparación de medias con Tukey a $P \leq 0.05$. Letras distintas en la misma columna significa que existe diferencia estadística a un nivel de significancia del 5%.

La variedad V1 sigue siendo menor en altura que la V2 presentando diferencias estadísticamente significativas entre ellas, la V2 tuvo una media de altura de 17.5 cm superior a la media de la V1 que fue de 13.5 cm. También se puede observar que el sistema hidropónico NFT promedió la mayor altura con 22.1 cm superior a los 8.9 cm que promedió el tratamiento convencional a campo, siendo significativa esta diferencia.

Al analizar la interacción entre sistemas de cultivo y variedades (Figura 11), se observa que existieron diferencias estadísticas significativas entre las variedades cultivadas en el sistema NFT y las cultivadas en el sistema convencional a campo, siendo la variedad V2 superior en ambos sistemas a la V1. La variedad Starfighter cultivada en el sistema NFT mostró los mayores valores de altura media por planta con 25.4 cm superior a los 18.8 cm de la variedad Cherokee, siendo estos resultados superiores a los obtenidos por Afton (2018). En el tratamiento convencional a campo también se manifestaron diferencias estadísticas significativas entre las dos variedades estudiadas, la V2 con 9.5 cm registró los valores medios de altura por planta superiores a los 8.2 cm de la variedad V1.

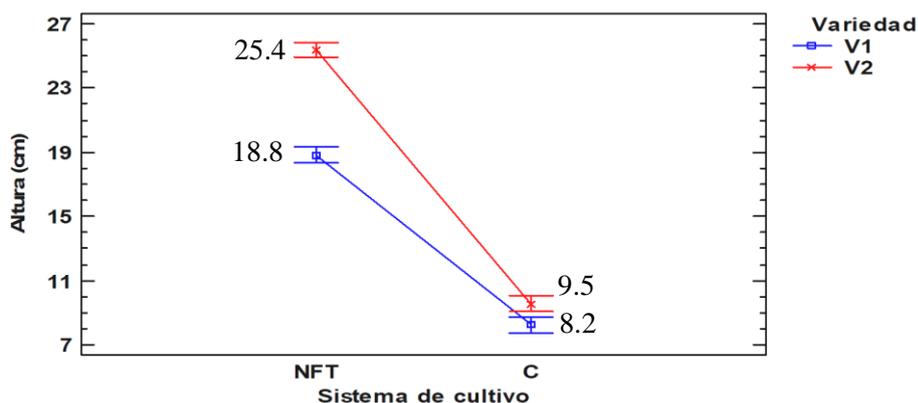


Figura 11. Interacción con sistema de cultivo y variedad para altura de la planta de lechuga a 21 días del trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

En la Figura 12 se puede observar que las plantas cultivadas en el sistema NFT mostraron diferencias significativas en cuanto a diámetro de tallo para una misma variedad al compararse con el tratamiento convencional a campo siendo las variedades V2 y V1 (4.0 y 3.9 mm respectivamente) cultivadas en hidroponía mayores a las cultivadas en el sistema convencional (3.6 y 3.4 mm respectivamente).

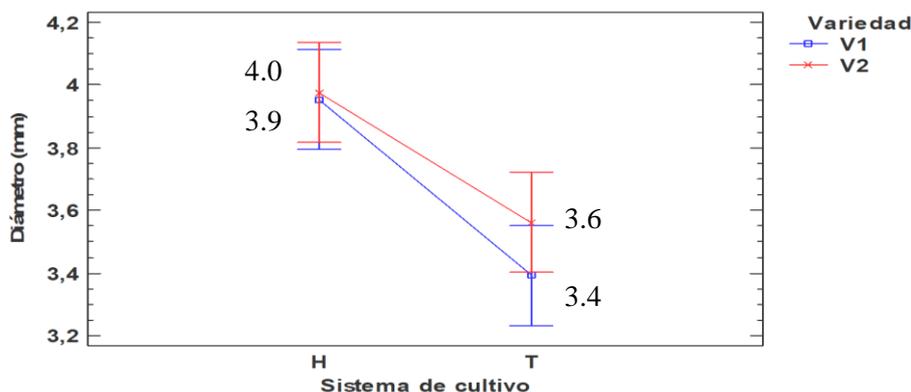


Figura 12. Interacción de sistema de cultivo y variedad para diámetro del tallo de las plantas de lechuga a 21 días del trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

4.3.2. Número de hojas por planta

La variable número de hojas por planta mostró diferencias estadísticamente significativas (*Tukey a $P \leq 0.05$*) debido al efecto de los factores sistemas de cultivo y variedad como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Media de la variable Numero de hojas (Nºh) por planta en dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.

<i>Factor</i>	<i>Nºh</i>	<i>P-Value</i>
A: Sistema de Cultivo		0.0000
NFT	7.9 a	
C	6.6 b	
B: Variedad		0.0001
V1	6.8 b	
V2	7.8 a	
AB		0.0035

Comparación de medias con Tukey a $P \leq 0.05$. Letras distintas en la misma columna significa que existe diferencia estadística a un nivel de significancia del 5%.

Para la variable número de hojas por planta, el sistema de cultivo, independientemente de las variedades, continuó mostrando diferencias estadísticas respecto al sistema convencional a campo, reportándose un valor medio de número de hojas igual a 7.9, mientras el convencional promedió 6.6, resultados que son inferiores a los reportados por Alemán et al., (2018) pero superior a los valores reportados por Cajo (2016) evaluados a 50 días del trasplante. Las variedades se mantienen con el mismo comportamiento siendo la V2 superior en número de hojas por planta (7.8) a la variedad V1 (6.8), resultados que son inferiores a los reportados por Alemán et al., (2018) en ambas variedades.

En relación a la interacción de los dos factores, sistemas de cultivo y variedades, se observa que existe un efecto significativo de estos sobre la variable número de hojas en las dos variedades (Figura 13), la variedad V2 fue superior en ambos sistemas a la V1. La variedad Starfighter (V2) cultivada en el sistema NFT mostró los mayores resultados con una media de 8.6 hojas por planta, superior a las 7.2 hojas por planta de la variedad Cherokee (V1), valores superiores a los reportados por Cajo (2016). En el tratamiento convencional a campo también se manifestaron diferencias estadísticas significativas entre las dos variedades estudiadas y su interrelación, con valores de 6.9 y 6.3 hojas por planta para las variedades V1 y V2 respectivamente, resultados superiores también a los reportados por Cajo (2016), se mantuvo la tendencia de las fechas anteriores, las dos variedades en el sistema hidropónico

NFT registran mayor número de hojas que las cultivadas en el sistema convencional a campo y la diferencia es estadísticamente significativa.

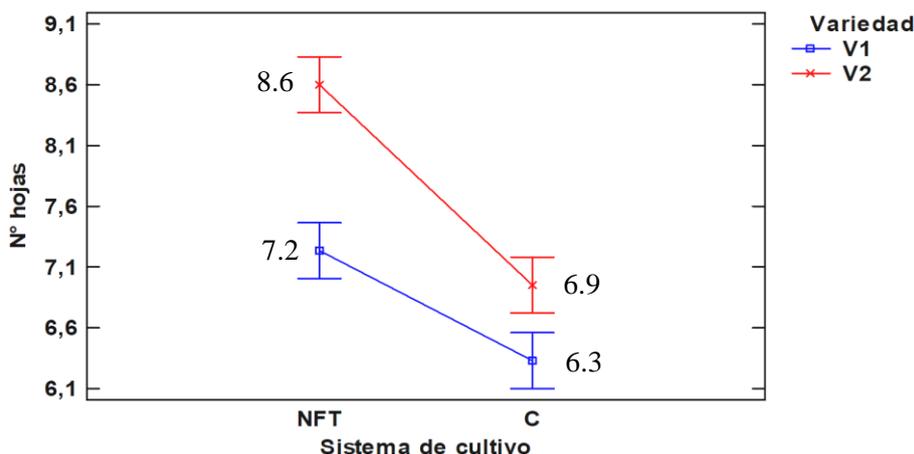


Figura 13. Interacción de sistema y variedad para número de hojas por planta de lechuga 21 días del trasplante. *Interacción de Tukey a $P \leq 0.05$.*

4.3.3. Largo de raíces y peso fresco

La evaluación del largo de raíces y peso fresco por planta solo se llevó a cabo en el sistema hidropónico NFT a los 21 días del trasplante, para comparar el comportamiento de las dos variedades en ese sistema. Las plantas en el sistema convencional a campo no tenían en esa fecha un desarrollo foliar ni radicular adecuado.

Como se observa en la Tabla 8 la variable largo de raíces no fue significativa entre las dos variedades. En el peso fresco por planta si hubo efecto significativo del factor variedad, siendo la V2 (19.3 g) superior en peso promedio a la V1 (13.7 g).

Tabla 8. Media de las variables largo de raíz (Lr) y peso fresco (Pf) por planta en dos variedades de lechuga evaluadas en sistema hidropónico NFT.

Factor	Lr (cm)	P-Value	Pf (g)	P-Value
Variedad		0.2596		0.0000
V1	11.7 a		13.7 b	
V2	11.4 a		19.3 a	

Comparación de medias con Tukey a $P \leq 0.05$. Letras distintas en la misma columna significa que existe diferencia estadística a un nivel de significancia del 5%.

Esto pudo estar dado a que las raíces para las dos variedades se mantuvieron con el mismo tamaño, pero más volumen de raíces para la variedad V2, por lo que pudo estar acumulando más sustancia de reserva y una mayor absorción de nutrientes en las condiciones de hidroponía NFT.

4.4. COMPORTAMIENTO EN ALTURA DE LA PLANTA, DIÁMETRO DEL TALLO, NÚMERO DE HOJAS, ÁREA FOLIAR, LARGO DE RAÍCES Y PESO FRESCO EN LOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO Y DOS VARIETADES A LOS 28 DÍAS DEL TRASPLANTE

4.4.1. Altura de la planta, diámetro del tallo y largo de raíces

Los resultados obtenidos a los 28 días del trasplante se observan en la Tabla 9, para la variable altura de planta, se encontraron diferencias estadísticamente significativas (*Tukey a* $P \leq 0.05$) entre las dos variedades, también para los dos sistemas de producción, así como para la interacción de los dos factores.

Tabla 9. Media de las variables altura de la planta (*Ap*), diámetro del tallo (*Dt*) y largo de raíz (*Lr*) de dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.

<i>Factor</i>	<i>Ap</i> (<i>cm</i>)	<i>P-Value</i>	<i>Dt</i> (<i>mm</i>)	<i>P-Value</i>	<i>Lr</i> (<i>cm</i>)	<i>P-Value</i>
A: Sistema de Cultivo		0.0000		0.0003		0.0000
NFT	30.2 a		5.4 a		16.3 a	
C	13.3 b		4.5 b		6.9 b	
B: Variedad		0.0000		0.5874		0.0980
V1	19.6 b		4.9 a		12.1 a	
V2	23.9 a		5.0 a		11.1 a	
AB		0.0000		0.1801		0.0034

Comparación de medias con Tukey a $P \leq 0.05$. Letras distintas en la misma columna significa que existe diferencia estadística a un nivel de significancia del 5%.

Las plantas cultivadas en el sistema hidropónico NFT continuaron mostrando una mayor altura de plantas con 30.2 cm superiores a las plantas cultivadas en el tratamiento convencional a campo con 13.3 cm, resultados superiores a los reportados por Afton (2018), aunque estos resultados no significan que las plantas sean superiores en calidad.

La variable diámetro del tallo, al igual que en las fechas anteriores, solo registró diferencia estadística para sistema de cultivo, en relación a la variable largo de raíces mostró diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de cultivo, no siendo así entre las variedades.

Como se observa en las Figuras 14 y 15, la variedad V2 continúa siendo la de mayor promedio de altura de forma general, en cuanto al efecto de la interacción entre los dos sistemas de cultivo y variedades se observa, que la variedad V1 y V2 cultivadas en sistema NFT tuvieron valores medios superiores a las plantas cultivadas en sistema convencional a campo, siendo la V2 superior a la V1 en ambos sistemas.

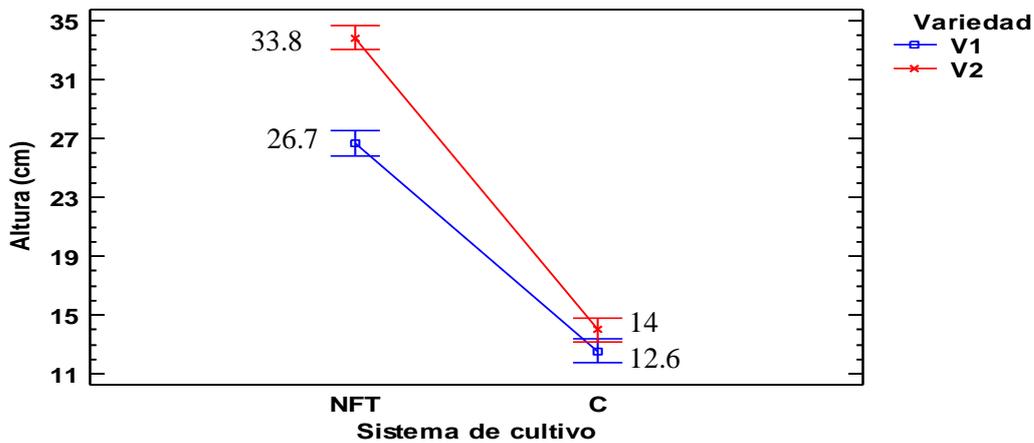


Figura 14. Interacción de sistema de cultivo y variedad para altura de la planta de lechuga a 28 días del trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

Mostrando las plantas cultivadas en el sistema NFT un mayor desarrollo en altura y tamaño de las hojas, no siendo así para el sistema convencional a campo abierto donde la altura y tamaño de las hojas fueron menores, lo cual pudo estar dado al suministro constante de nutrientes en el sistema NFT, mayor largo y volumen de raíces, manteniendo a las plantas más nutridas y con mayor efecto en el desarrollo de su follaje como fruto agrícola para el consumo y comercialización del cultivo.



Figura 15. Variedad V1 (Cherokee Rz 81 – 36) a. Sistema NFT b. Sistema convencional en campo, Variedad V2 (Starfighter Rz 81 – 85) c. Sistema NFT d. Sistema convencional en campo. (Fuente: los autores, 2020).

Las plantas cultivadas en sistema NFT mostraron promedios de diámetro de tallo superior a las plantas a campo abierto; sin embargo, el factor variedad no mostró efecto significativo en cuanto a este indicador y tampoco la interacción del sistema de cultivo con las variedades mostró diferencias significativas (Figura 16).

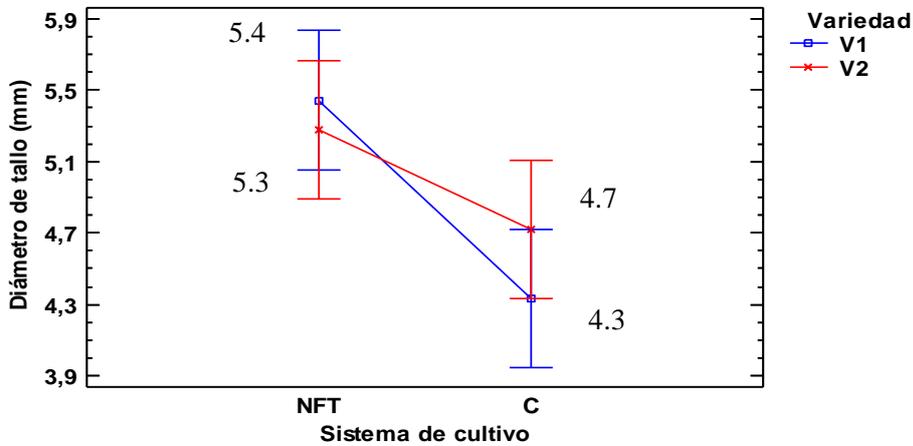


Figura 16. Interacción de sistema de cultivo y variedad para diámetro de tallo de lechuga a 28 días de trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

En cuanto al largo de las raíces, el comportamiento fue igual a las variables antes mencionadas, siendo las plantas con mayor promedio en largo de raíces las cultivadas en el sistema NFT. La variedad V1 cultivada en sistema NFT promedió mayor longitud de raíces que la variedad V2 y a la vez estas dos variedades en hidroponía fueron superiores a las cultivadas en campo (Figura 17).

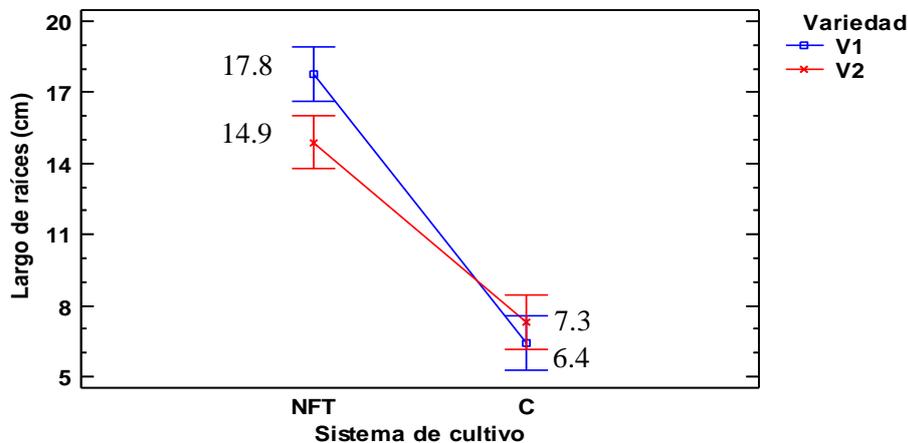


Figura 17. Interacción de sistema de cultivo y variedad para largo de raíces en plantas de lechuga a 28 días de trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

4.4.2. Número de hojas, Área foliar y Peso fresco

En la Tabla 10 se muestran los resultados del estudio del número de hojas por planta, del área foliar y del peso fresco por plantas, el mismo arrojó que las tres variables mostraron diferencias estadísticamente significativas (*Tukey a $P \leq 0.05$*) respecto a los factores sistemas de cultivo y variedad.

Tabla 10. Media de las variables número de hojas (N°h), área foliar (Af) y peso fresco (Pf) por planta de dos variedades de lechuga evaluadas en dos sistemas de cultivo.

<i>Factor</i>	<i>N°h</i>	<i>P-Value</i>	<i>Af</i> (<i>cm</i> ²)	<i>P-Value</i>	<i>Pf</i> (<i>g</i>)	<i>P-Value</i>
A: Sistema de Cultivo		0.0001		0.0000		0.0000
NFT	10.2 a		716.1 a		35.0 a	
C	8.6 b		322.4 b		11.8 b	
B: Variedad		0.0070		0.0115		0.0015
V1	8.9 b		506.3 b		20.9 b	
V2	9.9 a		532.2 a		25.9 a	
AB		0.4539		0.3029		0.8643

Comparación de medias con Tukey a $P \leq 0.05$. Letras distintas en la misma columna significa que existe diferencia estadística a un nivel de significancia del 5%.

Las plantas cultivadas en el sistema hidropónico, independientemente de la variedad, continuaron diferenciándose a las cultivadas en el sistema convencional a campo, reportando un valor medio de número de hojas igual a 10.2 y de 8.6 respectivamente, resultados que son inferiores a los de Alemán et al., (2018) y Paterlini et al., (2018), pero similares a los reportados por Cajo (2016). De igual forma se manifestó la variable área foliar con resultados promedio para el sistema NFT (716.1 cm²) superiores a los obtenidos en el sistema convencional a campo que fue de 322.4 cm². Las plantas cultivadas en el sistema NFT alcanzaron el mayor promedio en peso fresco, superando en 23.2 g a las cultivadas en convencional a campo; la variedad V2 superó en promedio de peso fresco a la variedad V1 en 5 g, valores inferiores a los reportados por Cajo (2016) y Leiva et al. (2018).

Las variedades se mantienen con el mismo comportamiento siendo la V2 superior en número de hojas por planta (9.9) y en área foliar (532.2 cm²) a la variedad V1 que se obtuvieron 8.9 hojas por planta y 506.3 cm² de área foliar, resultados que son inferiores a los reportados por Alemán et al., (2018) en ambas variables.

En la interacción de los dos factores (Figura 18), aunque fue no significativa entre las variedades cultivadas en el sistema NFT y las cultivadas en el sistema convencional a campo, la variedad V2 fue superior en ambos sistemas a la V1. La variedad Starfighter (V2)

cultivada en el sistema NFT mostró los mayores resultados con una media de 10.9 hojas por planta, superior a las 9.6 hojas por planta de la variedad Cherokee (V1), valores superiores a los reportados por Cajo (2016). En el tratamiento convencional a campo tampoco se manifestaron diferencias estadísticas significativas entre las dos variedades estudiadas.

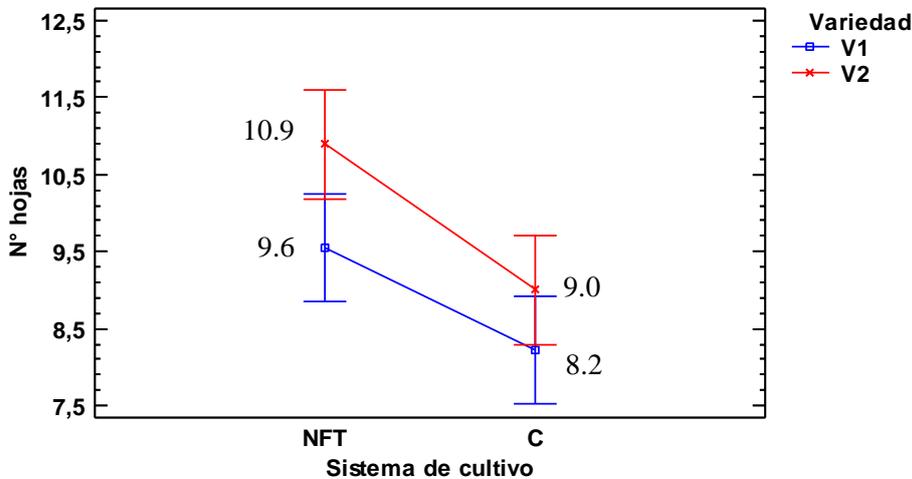


Figura 18. Interacción de sistema de cultivo y variedad para número de hojas por plantas de lechuga a 28 días del trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

La respuesta del área foliar a la interacción del sistema de cultivo y variedad tampoco registró diferencias estadísticamente significativas, como se observa en la Figura 19. No obstante la variedad V2 fue superior en promedio de área foliar en ambos sistemas de cultivo, la mayor diferencia, aunque no significativa se dio en el sistema convencional en campo.

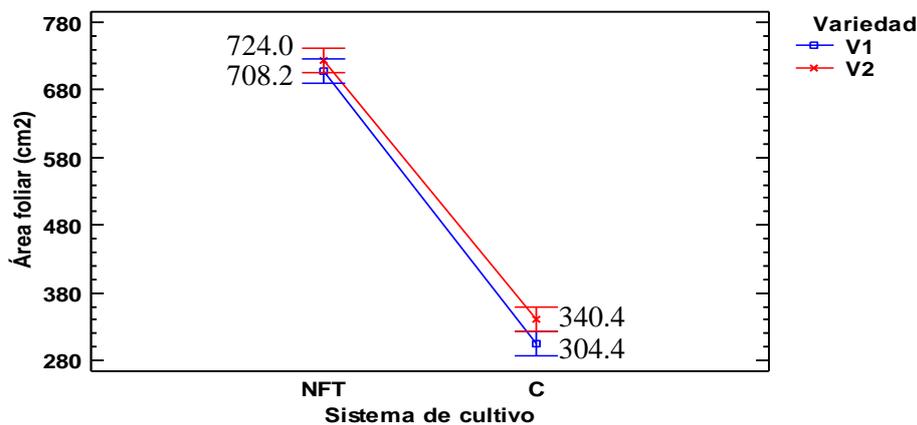


Figura 19. Interacción de sistema de cultivo y variedad para área foliar por plantas de lechuga a 28 días de trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

La variable peso fresco por planta tuvo igual comportamiento, no existiendo efecto significativo de la interacción de sistemas de cultivo con variedad, siendo la variedad V2 superior a la variedad V1 en los dos sistemas de cultivo, y la mayoría de los pesos frescos

para las plantas cultivadas en el sistema NFT y si diferenciándose estadísticamente de las cultivadas en el sistema convencional a campo (Figura 20).

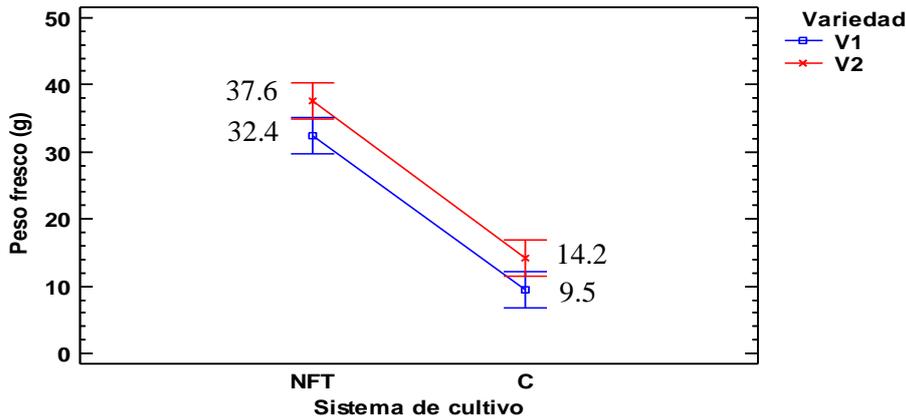


Figura 20. Interacción de sistema de cultivo y variedad para peso fresco por plantas de lechuga a 28 días de trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

El rendimiento agrícola a los 28 ddt (Figura 21), muestra para el sistema hidropónico NFT diferencia estadísticamente significativa con un rendimiento de 7702 kg/ha sobre los 2598 kg/ha del sistema convencional a campo. La variedad V2 promedió en sistema NFT 8272 kg/ha superior a los 7133 kg/ha de la V1 en el mismo sistema, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. También la variedad V2 en el sistema convencional fue superior con rendimiento de 3114 kg/ha y la variable V1 promedió 2083 kg/ha sin manifestarse diferencia estadísticamente significativa.

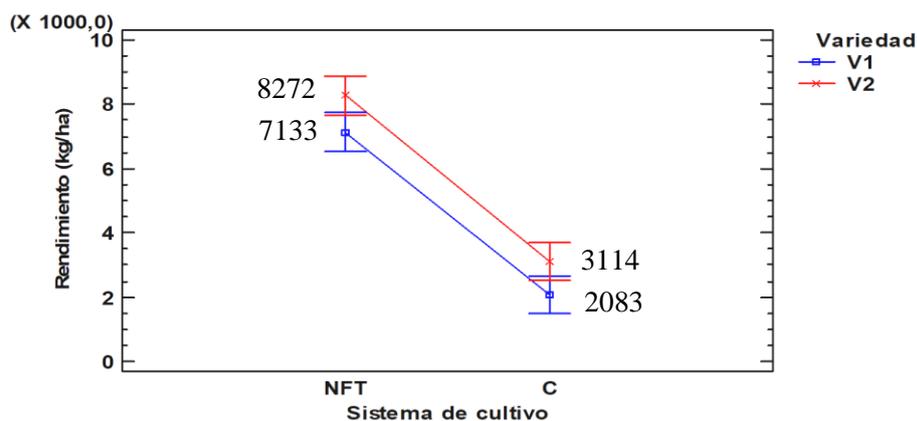


Figura 21. Interacción de sistema de cultivo y variedad para rendimiento agrícola de lechuga a 28 días de trasplante. *Interacción con Tukey a $P \leq 0.05$.*

Hasta los 28 ddt, los resultados obtenidos fueron inferiores a la mayoría de los resultados obtenidos por otros investigadores, debido fundamentalmente a que los trabajos revisados presentan fechas de muestreo en estadios más avanzados del cultivo, a los cuales el experimento actual no ha llegado.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Al comparar las variables morfofisiológicas del cultivo de lechuga en los sistemas NFT y convencional a campo, se obtuvo que en el sistema hidropónico NFT las plantas alcanzan los mejores resultados en las dos variedades estudiadas, presentando mayores valores de altura de planta la variedad Starfighter con 33.8 cm, en el diámetro de tallo la variedad Cherokee con 5.4 mm, en el largo de raíces la variedad Cherokee con 17.8 cm, la variedad Starfighter mostró los mejores valores en número de hojas con 10.9, área foliar con 724 cm² y en peso fresco con 37.6 g/planta.
2. En cuanto al rendimiento agrícola el sistema de mejor resultado fue el hidropónico NFT con 7702 kg/ha y la variedad de mayor rendimiento en ambos sistemas fue la Starfighter Rz (81 - 85) con 8272 kg/ha en el sistema NFT y 3114 kg/ha en el convencional en campo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Continuar con el estudio en las condiciones imperantes en el CIPCA, altas temperaturas dentro y fuera del invernadero y baja luminosidad.
- Utilizar variedades más resistentes a las condiciones climáticas de la región.
- Implementar estudios con luz artificial.

CAPITULO VI

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Afton, W. (2018). "Evaluation of growth characteristics, yield, marketability and nitrate levels of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars produced in South Louisiana" LSU Master's Theses. *Agriculture Commons*, 4382. Recuperado el 03 de octubre de 2019 de https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_theses/4382/

Aguirre, E., González, O., Vega, D., y Monje, C. (2019). Sistema de monitoreo y control de un modelo hidropónico del tipo Nutrient FilmTechnic NFT, para la producción de hortalizas en ambientes controlados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 6(1), 29-40. Recuperado de 10 de octubre de 2019 de https://www.researchgate.net/publication/333375812_Sistema_de_monitoreo_y_control_de_un_modelo_hidropnico_del_tipo_Nutrient_Film_Technic_NFT_para_la_produccion_de_hortalizas_en_ambientes_controlados_System_of_monitoring_and_control_of_a_hydroponic_mo

Alemán, R., Bravo, C., Freile, J., Ibarra, E., y Alba, J. (2018). Estudio de la influencia de los tipos de fertilizantes orgánicos en el desarrollo morfofisiológico y productivo de los cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.). En Alemán R., Bravo, C. y Fargas, C. (Ed.), *Fertilización orgánica en cultivos de lechuga (Lactuca sativa L.) y rábano (Raphanus sativus L.) en la Amazonía Ecuatoriana* (pp. 43-76). Puyo, Ecuador: Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres.

Beltrano, J. (2015). Introducción al cultivo hidropónico. En Beltrano, J. y Jiménez, D. (Ed.), *Cultivo en hidroponía* (pp. 10-32). Argentina: EDULP. Recuperado de 16 de septiembre de 2019 de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1

Cajo, A. (2016). Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Cevallos.

Carbone, A. (2015). Los nutrientes minerales. En Beltrano, J. y Giménez, D. (Ed.), *Cultivo en hidroponía* (pp. 62-71). Argentina: EDULP.

- Cárdenas, C. (2004). Determinación de los efectos en rendimiento de la producción de lechuga hidropónica y convencional en condiciones de Zamorano, Honduras (tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Carrasco, G. y Sandoval, C. (2016). Manual práctico del cultivo de la lechuga. Madrid, España: Mundi-Prensa. (pp. 71 – 78).
- Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D., y Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa L.*) "Batavia" cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía colombiana*, 27(1), 41-48.
- Cebada, M., Herrera, J., Meza, A., y Ovalle, L. (2016). Sistema eficiente para la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*). AGRO. Recuperado el 25 de septiembre de 2019 de <http://www.investigacion.colpospuebla.mx>.
- Cruz, A. (2016). Evaluación de tres variedades del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en dos sistemas de hidroponía bajo ambiente semi controlado en el centro experimental chocloca. *Ventana Científica*, 7(12), 19-20.
- Cruz, F. (2010). La hidroponía como proyectos emprendedores de tecnología aplicada para dar sustentabilidad a la agricultura urbana. En H. Montiel (Presidencia), XIV International Congress on Project Engineering. Madrid, España.
- Esparza, J., Navarro, A., Kendall, P., Fortis, M., Preciado, P., y Meza, J. (2013). Aceptabilidad de lechuga de hoja fresca troceada tratada con ácido ascórbico mediante hidrofriamiento. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 767-778.
- Gracia, G. (2013). (a) Química agrícola. Madrid, España: Mundi-Prensa. (pp. 384-434).
- Hernández, C., y Hernández, J. (2005). Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (NFT). *Naturaleza y Desarrollo*, 3(1), 11-16.
- Hogares juveniles campesinos (2010). Cultivo ecológico de hortalizas. Bogotá, Colombia: Hogares juveniles campesinos.
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Espitia, E., Tamayo, P., Argüello, O., y Guzmán, M. (2014). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el Oriente Antioqueño. Recuperado el 10 de diciembre del 2019 de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13758>

- Jiménez, M., y Brenes, L. (2013). Experiencia de producción de lechuga americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT. *Tecnología de marcha*, 27(2), 56-64.
- Leiva, S., Peña, A., Vilca, N., y Neri, J. (2018). Comportamiento productivo de 11 variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico NFT recirculante (Chachapoyas – Amazonas). *Revista de Investigación Agropecuaria Sustentable*, 2(1), 50-56.
- Lima, T., Gazaffi, R., Ceccherini, G., Marchi, L., Martínez, M., Ferreira, C., y Sala, F. (2018). El volumen de las células en las bandejas influye en la producción de lechuga hidropónica. *Horticultura Brasileira*, 36(3), 408-413.
- López, J. (2018). La producción hidropónica de cultivos. *IDESIA*. 36(2). 139 - 141.
- Medina, F. (2017). Granja Agrícola Experimental del Cabildo de Gran Canaria. Recuperado el 25 de septiembre de 2019 de [http://www.9945-Texto%20del%20artículo-11489-1-10-20170329%20\(1\).pdf](http://www.9945-Texto%20del%20artículo-11489-1-10-20170329%20(1).pdf).
- Muñoz, C. (2018). Identificación morfológica de los hongos causantes de la pudrición radicular en lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el valle de Tumbaco (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Paterlini, H., González, M., y Picone, L. (2019). Producción de lechuga en suelo con aplicación de compost de cama de pollo. *Ciencia del suelo*, 37(1), 38-50. Recuperado de 05 de noviembre de 2019 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6980776>
- Pire, R., y Valenzuela, I. (1995). Estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. “French Colombard” a partir de mediciones lineales en las hojas. *Agronomía Tropical*, 45(1), 143-154.
- Pompoza, P., León, O., Villacis, L., Vega, J., y Alzar, J. (2016). Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L. variedad Iceberg. *Journal Selva Andina Biosph*, 4(29), 84-92. Recuperado de 29 de noviembre de 2019 de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200005
- Ramírez, A., González, J., Andrade, V., y Torres, V. (2016). Efecto de los tiempos de conservación a temperatura ambiente, en la calidad del huevo de gallinas camperas (*Gallus domesticus*) en la Amazonía Ecuatoriana. *Electrónica de Veterinaria*, 17(12), 1-17.

Redagricola. (2018). Aspectos técnicos de manejo agronómico en lechuga para la zona central de Chile. Chile: Redagricola Films. Recuperado el 25 de septiembre de 2019 de <http://www.redagricola.com/cl/aspectos-tecnicos-de-manejo-agronomico-en-lechuga-para-la-zona-central-de-chile/#>.

Saavedra, G. (2017). Preparación de suelos y trasplante. En Saavedra, G. (Ed), *Manual de producción de lechuga* (pp. 64-78). Santiago, Chile: INIA.

Sharing a healthy future. (2007). *Starfighter RZ (81-85)*. Colombia.: Rijk zwaan. Recuperado el 27 de septiembre de 2019 de <https://www.rijkszwaan.cl/cultivo/lechuga>.

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., y Chaurasia, O. (2018). Hidroponía como una técnica avanzada para hortalizas. *Diario de suelos y aguas Conservación*, 17(4), 364-371.

Smith, R., Ernie, F., y Silva, F. (2015). El crecimiento de la lechuga y el consumo del agua en el sistema hidropónico NFT utilizando agua salobre. *Agriambi*, 16(7), 636-742.

Soares, A., Hammady, R., Santos, J., Hamilton, J., Montero, M., y Ferreira, G. (2019). El agua y las relaciones fisiológicas de la lechuga cultivada en hidroponía con agua salobres. *Agronómicas de Ciencias*, 50(2), 216-222.

Solagro. (2018). La solución para el agro. Ecuador: Copyright. Recuperado el 1 de noviembre del 2019 de <http://www.solagro.com.ec/es/cultivos-2/item/lechuga.html>

Tapia, J. (2016). Producción con tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en dos sistemas hidropónicos (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Valderrama, S. (2016). Manual del cultivo de la lechuga. Medellín, Colombia.

Velasco, J., Aguirre, G., y Ortuño, N. (2016). Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa var. Crespa*) en cultivo de hidroponía. *J. Selva Andina Biosph*, 4(2), 71-83.

Velásquez, P., Ruíz, H., Chaves, G., y Luna, C. (2014). Productividad de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en condiciones de macrotúnel en suelo Vitric haplustands. *Ciencias Agrícolas*, 31(2), 93-105. Recuperado de 18 de octubre de 2019 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v31n2/v31n2a08.pdf>

CAPITULO VII

7. ANEXOS

16 de diciembre del 2019



Preparación del material vegetativo antes del trasplante



Trasplante sistema convencional



Trasplante sistema hidropónico NFT

30 de diciembre del 2019



Sistema convencional e hidropónico NFT (14 días del trasplante)

6 de enero del 2020



Medición de variables sistema convencional e hidropónico NFT (21 días del trasplante)

13 de enero del 2020



Sistema convencional e hidropónico NFT (28 días del trasplante)