

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAÑETE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Agrónomo

**RECIRCULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU
RENDIMIENTO-CALIDAD DEL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA
LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) IMPERIAL, 2021**

Autor: Bach. Cortez Lázaro Ronald Alexis

Asesor: Dra. Leon Ttacca Betsabe

Línea de Investigación: Fisiología Vegetal

CAÑETE – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Durante mis estudios siempre tuve el apoyo de las siguientes personas a quienes dedico el presente trabajo:

A mi esposa e hijos que con su amor y cariño en todo momento inspiro mi lucha por ser mejor persona.

A mis padres que me han apoyado en los momentos más difíciles de mi vida.

A los agricultores cañetanos, por su buena voluntad y disponibilidad en compartir sus experiencias agronómicas.

Sinceramente,

Ronald Alexis Cortez Lázaro

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la oportunidad de terminar mis estudios en Ciencias Agraria.

A mi familia, por el apoyo incondicional durante mi formación y desarrollo profesional.

A la Dra. Leon Ttacca Betsabe, por el asesoramiento de la tesis y orientación científica en el desarrollo de la presente investigación.

Al Ing. Mg. Sc. Taype Cancho Mario Humberto, por su orientación en temas de investigación.

A la Universidad Nacional de Cañete por brindarme la oportunidad de obtener conocimientos muy valiosos y las facilidades del uso de sus laboratorios.

A mis compañeros y colegas, que de alguna manera contribuyeron en el desarrollo de mi tesis.

A los miembros de jurado por su colaboración y consejos, para la finalización de la investigación.

A todos los profesores, que me enseñaron y compartieron sus experiencias durante los cinco años en la Universidad.

PRESENTACIÓN

En el distrito de Imperial, la producción de lechuga se realiza en el sistema convencional con el riego por gravedad, abastecido por el canal de regadío. En este tipo de riego el agua entra en contacto con las hojas basales de la planta de lechuga, contaminándose así con agentes patógenos. Según Ramirez-Hernandez et al. (2020) afirman que el agua de riego distribuida por canales abiertos a la finca, puede contaminarse fácilmente con materia fecal por lo tanto el agua de riego puede ser una fuente de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria spp.*, *Shigella spp.*, *Cryptosporidium spp.* virus entéricos, etc. Debido a estos riesgos de contaminación surgió como alternativa de solución el uso del sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique); Sin embargo este sistema presenta el inconveniente de elevado gasto de energía por la recirculación continua de la solución, debido a esta desventaja se han realizado investigaciones comparando recirculaciones continua e intermitentes de 8 a 12 frecuencias por día, de los cuales no obtuvieron diferencia significativa con respecto a rendimiento y calidad, logrando reducir el gasto de energía que supone la recirculación de la solución (Ramírez Ibarra, 1995), (Lopes Da Luz et al., 2008).

En el presente trabajo de investigación se evaluó flujo intermitentes de recirculación de la solución, de cero a cinco frecuencias por día, con el objetivo de precisar el efecto de la recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en el rendimiento y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Tropicana en el distrito de Imperial, provincia de Cañete.

INDICE

Capítulo I: Aspectos Generales-----	1
1.1. Descripción del problema -----	1
1.2. Formulación del problema-----	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problema específico	2
1.3. Objetivos-----	2
1.3.1. General	2
1.3.2. Específicos	2
1.4. Hipótesis de la Investigación-----	3
1.4.1. Hipótesis general.....	3
1.4.2. Hipótesis específicas.....	3
1.5. Justificación -----	3
Capítulo II: Marco teórico -----	5
2.1. Antecedentes -----	5
2.1.1. Antecedentes nacionales	5
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	5
2.2. Marco Teórico-----	7
2.2.1. Clasificación taxonómica	7
2.2.2. Descripción morfológica.....	8
2.2.3. Origen y distribución geográfica de la lechuga.	8
2.2.4. Producción convencional de lechuga.	8
2.2.5. Producción hidropónica	9
2.2.6. Hidroponía	10

2.2.7. Historia de la hidroponía.....	10
2.2.8. Ventajas de la hidroponía.....	11
2.2.9. Desventajas de la hidroponía	11
2.2.10. Solución nutritiva.....	12
2.2.11. Solución nutritiva para la lechuga.....	12
2.2.12. Rol de los elementos esenciales.....	13
2.2.13. Sistema hidropónico NFT	16
2.2.14. Componentes del sistema hidropónico NFT.	17
2.2.15. Recirculación de la solución nutritiva y su efecto en la lechuga.	18
2.2.16. Frecuencias de recirculación de la solución nutritiva	18
2.2.17. Importancia de recircular la solución nutritiva	19
2.2.18. Influencia de la temperatura en la lechuga.....	20
2.3. Definición de Términos-----	20
2.3.1. Recirculación	20
2.3.2. Solución nutritiva.....	20
2.3.3. Sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).....	20
2.3.4. Rendimiento	21
2.3.5. Calidad.....	21
2.3.6. Salinidad.....	21
2.3.7. Solubilidad.....	21
Capítulo III: Marco Metodológico -----	22
3.1 Definición de variables-----	22
3.1.1. Variable independiente	22

3.1.2. Variable dependiente.....	22
3.2. Materiales utilizados en la investigación-----	23
3.2.1 Materiales.....	23
3.2.2 Equipos	23
3.2.3 Insumos	24
3.2.4. Análisis económico del sistema hidropónico NFT.	24
3.3. Metodología desarrollada en la tesis-----	25
3.3.1. Ubicación geográfica del experimento	25
3.3.2 Ubicación política del experimento	25
3.4. Tipo y Nivel de investigación-----	25
3.4.1. Tipo de investigación	25
3.4.2. Nivel de investigación.....	26
3.5. Método y diseño de la investigación-----	26
3.5.1. Método	26
3.5.2. Diseño de la investigación	36
3.5.3. Población y muestra	39
3.5.4. Registro de temperatura y humedad relativa.....	41
3.5.5. Análisis de datos.....	42
Capítulo IV: Resultados de los datos procesados discusión-----	46
4.1. Efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en el rendimiento de la lechuga var. Tropicana. -----	46
4.1.1. Peso de planta (PP)	46
4.1.2. Rendimiento total ($t \cdot ha^{-1}$)	48

4.2. Efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en la calidad de la lechuga -----	50
4.2.2. Área foliar (AF)	50
4.2.3. Masa fresca de hojas (MFH)	53
4.2.4. Masa fresca de raíz (MFR).....	55
4.2.5. Número de hojas (NDH)	57
4.2.6. Masa seca de hoja (MSH)	59
4.2.7. Masa seca de raíz (MSR)	62
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones -----	67
5.1. Conclusiones -----	67
5.2. Recomendaciones -----	67
Referencias Bibliográficas -----	68
Anexo 1. Matriz de consistencia -----	76
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables -----	77
Anexo 3. Resultados obtenidos del experimento. -----	78
Anexo 4. Registro de datos climáticos en el área experimental. -----	83
Anexo 5. Resultados de la Normalidad-----	84
Anexo 6. Mapa de ubicación del Proyecto -----	85
Anexo 7. Croquis de diseño experimental -----	86
Anexo 8. Panel fotográfico -----	87
Anexo 9. Formatos utilizados en el desarrollo del experimento. -----	90
Anexo 10. Análisis económico. -----	92
Anexo 11. Artículo científico de la investigación -----	95

INDICE DE TABLA

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	7
Tabla 2 Formulaciones de solución nutritiva para cultivo hidropónico de la lechuga	12
Tabla 3 Fertilizantes utilizados en la solución nutritiva A y B del sistema NFT para el cultivo de Lechuga var. Tropicana.....	28
Tabla 4 Concentraciones mineral (%) del fertilizante utilizados en la solución nutritiva del sistema NFT para el cultivo de Lechuga var. Tropicana	28
Tabla 5 Programación de las horas de encendido de la electrobomba del sistema NFT, según los tratamientos en el cultivo de lechuga var. Tropicana.....	31
Tabla 6 Análisis de varianza de peso de planta de lechuga var. Tropicana a los 35 ddt (5ta evaluación).....	46
Tabla 7 Comparación de medias de Duncan para peso (g/planta) de lechuga var. Tropicana, con significancia estadística.....	47
Tabla 8 Rendimiento total ($t\cdot ha^{-1}$)de la lechuga Var. Tropicana, con prueba de comparación de medias de Duncan.....	49
Tabla 9 Análisis de varianza del área foliar de la planta de lechuga, var. Tropicana en cinco evaluaciones.....	51
Tabla 10 Prueba de comparación de medias con Duncan del área foliar ($cm^2/planta$) de lechuga var. Tropicana en cinco evaluaciones, con significancia estadística	52
Tabla 11 Análisis de varianza para masa fresca de hojas en planta de lechuga, Var. Tropicana en cinco evaluaciones realizadas en el experimento	53
Tabla 12 Prueba de Comparación de medias con Duncan para masa fresca de hoja (g/planta) de lechuga var. Tropicana, con significancia estadística.....	54

Tabla 13 Análisis de varianza para masa fresca de raíz en la planta de lechuga, var. Tropicana en 5 evaluaciones	55
Tabla 14 Prueba de Comparación de medias con Duncan para masa fresca de raíz (g/planta) de lechuga var. Tropicana, en cinco evaluaciones, con significancia estadística	56
Tabla 15 Análisis de varianza para número de hojas en la planta de lechuga, var. Tropicana en cinco evaluaciones	58
Tabla 16 Prueba de Comparación de medias con Duncan para número de hojas en planta de lechuga var. Tropicana, en cinco evaluaciones, con significancia estadística	58
Tabla 17 Análisis de varianza para masa seca de hoja en la planta de lechuga, var. Tropicana en 5 evaluaciones	60
Tabla 18 Prueba de Comparación de medias con Duncan para masa seca de hoja (g/planta) de lechuga var. Tropicana, en cinco evaluaciones, con significancia estadística	61
Tabla 19 Análisis de varianza para masa seca de raíz en la planta de lechuga, var. Tropicana en cinco evaluaciones.	63
Tabla 20 Prueba de Comparación de medias con Duncan para masa seca de raíz (g/planta) de lechuga var. Tropicana, en cinco evaluaciones, con significancia estadística.....	63
Tabla 21 Matriz de consistencia del experimento.	76
Tabla 22 Matriz de Operacionalización de Variables.	77
Tabla 23 Datos obtenidos de la investigación a los siete ddt.(1era evaluación) de la planta de lechuga var. Tropicana	78
Tabla 24 Datos obtenidos de la investigación a los 14 ddt.(2da e evaluación) de la planta de lechuga var. Tropicana	79

Tabla 25 Datos obtenidos de la investigación a los 21 ddt.(3era evaluación) de la planta de lechuga var. Tropicana	80
Tabla 26 Datos obtenidos de la investigación a los 28 ddt.(4ta evaluación) de la planta de lechuga var. Tropicana	81
Tabla 27 Datos obtenidos de la investigación a los 35 ddt.(5ta evaluación) de la planta de lechuga var. Tropicana	82
Tabla 28 Registro de temperatura y humedad relativa, bajo condiciones de casa malla, donde se realizó el experimento (Vista Alegre – Imperial)	83
Tabla 29 Supuesto de Normalidad y homogeneidad de varianza, mediante la prueba de Shapiro Wilk y Bartlett respectivamente	84

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Plantines y transplante de plantines de lechuga var. Tropicana	29
Figura 2 Flujograma del procedimiento de evaluación de los parámetros de las variables rendimiento total y calidad de la lechuga var. Tropicana	34
Figura 3 Primera recolección de muestra de lechuga var. Tropicana a los 7 ddt.	35
Figura 4 Distribución de las hojas de lechuga var. Tropicana, para determinar el área foliar. ...	35
Figura 5 Muestras de lechuga var. Tropicana en la estufa del laboratorio de la Universidad Nacional de Cañete.	36
Figura 6 Registro de temperatura y Humedad relativa bajo condiciones de casa malla, en Vista Alegre, distrito de Imperial, de febrero y marzo del 2021	42
Figura 7 Diagrama de caja del peso de planta (g) de lechuga var. Tropicana a los 35 ddt.....	48
Figura 8 Evolución del crecimiento del área foliar de hoja de lechuga var. Tropicana, de los tratamientos durante las cinco evaluaciones realizados en el experimento.	52
Figura 9 Evolución del crecimiento de la masa fresca de hoja de lechuga var. Tropicana, de los tratamientos, durante las cinco evaluaciones realizadas en el experimento	54
Figura 10 Evolución del crecimiento de la masa fresca de raíz de lechuga var. Tropicana de los tratamientos durante las cinco evaluaciones realizadas en el experimento.	56
Figura 11 Evolución del número de hojas en planta de lechuga var. Tropicana durante los 35 ddt.....	59
Figura 12 Evolución de la MSH de la planta de lechuga var. Tropicana durante los 35 ddt.	61
Figura 13 Evolución de la MSR de la lechuga var. Tropicana a los 35 ddt. (5ta evaluación).....	64
Figura 14 Ubicación fotográfica de la zona y lugar de investigación.....	85
Figura 15 Croquis de distribución de los tratamientos en el área experimental.	86

Figura 16 Limpieza y acondicionamiento de los canales de cultivo del sistema hidropónico NFT, donde se realizó el experimento	87
Figura 17 Características morfológicas de las lechugas var. Tropicana a de los 35ddt. (5ta evaluación).....	87
Figura 18 Evaluación de indicadores del experimento en el Laboratorio de la Universidad Nacional de Cañete.	88
Figura 19 Plano del sistema hidropónico NFT, donde se realizó el experimento el presente experimento.....	89
Figura 20 Formato de recolección de datos de los parámetros evaluados en el experimento.	90
Figura 21 Formato para el registro de datos de temperaturas y humedad relativa tomado en el interior del módulo del sistema hidropónico.....	91
Figura 22 Costo detallado de producción de lechuga var. Tropicana en hidroponía NFT	92
Figura 23 Costo de instalación del sistema hidropónico NFT por planta.	93
Figura 24 Costo de producción de lechuga var. Tropicana en hidroponía NFT por planta	93
Figura 25 Costo de mermas a la cosecha por planta, distribuidas en el total de plantas útil.	93
Figura 26 Análisis de rentabilidad de producción de lechuga var. Tropicana en hidroponía NFT.....	94

Resumen

En el presente trabajo de investigación, se evaluó la influencia de recircular la solución nutritiva en un sistema hidropónico NFT en el rendimiento y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Tropicana.

El experimento se desarrolló bajo un diseño completo al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones en las instalaciones del centro de producción Eco-Verduras, ubicada en el Anexo Vista Alegre, distrito de Imperial, provincia de Cañete y departamento de Lima durante los meses de febrero - abril del 2021. Las recirculaciones evaluadas fueron 0, 1, 2, 3, 4 y 5 frecuencias diarias, por un tiempo de 15 minutos. El sistema de recirculación fue accionado mediante una electrobomba de encendido manual, a las 7:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 18:00 horas.

Los mejores resultados de rendimiento y calidad se constataron con cuatro (T5) y cinco (T6) recirculaciones de la solución nutritiva, con un rendimiento total de $72.10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $73.84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente, a comparación del testigo absoluto $16.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (T1); similar efecto se constató con el peso de planta, 434.29 g/planta (T5) y 444.89 g/planta (T6). Respecto a la calidad se observó efecto significativo, constatando mejores resultados con cuatro y cinco recirculaciones de la solución, lo cual logró mayor área foliar $7575.83 \text{ cm}^2/\text{planta}$ (T6) y $7346.71 \text{ cm}^2/\text{planta}$ (T5) a comparación del testigo absoluto $2365.32 \text{ cm}^2/\text{planta}$ (T1); para masa fresca de hoja se obtuvo 433.30 g/planta (T6) y 422.82 g/planta (T5) a comparación del testigo absoluto 92.32 g/planta (T1) y en número de hojas con 40 und/planta (T6) y 38 und/planta (T5) a comparación del testigo absoluto 22.4 und/planta (T1). En la presente investigación es conveniente optar por frecuencias de cuatro (T5) recirculaciones de la solución nutritiva.

Palabras claves: hidroponía, recirculación, solución nutritiva, lechuga, rendimiento

Abstract

In the present research work, it was evaluated the influence of recirculating the nutrient solution in an NFT hydroponic system on the yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) variety Tropicana.

The experiment was developed under a complete randomized design with six treatments and five repetitions in the facilities of the Eco-Verduras production center, located in the Vista Alegre Annex, Imperial district, Cañete province and the department of Lima during the months of February - April 2021. The recirculation evaluated were 0, 1, 2, 3, 4 and 5 daily frequencies, for a time of 15 minutes. The recirculation system was activated by a manual ignition electric pump at 7:00 a.m., 11:00 a.m., 1:00 p.m., 3:00 p.m. and 6:00 p.m.

The best performance and quality results were found with four (T5) and five (T6) recirculation of the nutrient solution, with a total yield of 72.10 t.ha⁻¹ and 73.84 t.ha⁻¹ respectively, compared to the absolute control 16.9 t ha⁻¹ (T1); A similar effect was found with the plant weight, 434.29 g/plant (T5) and 444.89 g/plant (T6). Regarding quality, a significant effect was observed, verifying better results with four and five recirculation of the solution, which achieved greater foliar area 7575.83 cm²/plant (T6) and 7346.71 cm²/plant (T5) compared to the absolute control 2365.32 cm²/plant (T1); For fresh leaf mass, 433.30 g/plant (T6) and 422.82 g/plant (T5) were obtained compared to the absolute control 92.32 g/plant (T1) and the number of leaves with 40 units/plant (T6) and 38 units/plant (T5) compared to the absolute control 22.4 und / plant (T1). In the present investigation, it is convenient to opt for frequencies of four (T5) recirculation of the nutrient solution.

Keywords: hydroponics, recirculation, nutrient solution, lettuce, yield.

Capítulo I: Aspectos Generales

1.1. Descripción del problema

El sistema convencional de producción de lechuga en el distrito de Imperial, está expuesto a la contaminación del producto final, con agentes patógenos como *E. coli*, *Salmonella spp.* y otros, a través del riego por gravedad el cual ha sido contaminada por las aguas servidas vertidas en los canales de regadío. Como alternativa de solución, surge el sistema de producción hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

Las óptimas condiciones del sistema NFT, permite un normal crecimiento de la lechuga, de tal manera que, podría expresar su potencial productivo. Las raíces se mantienen sumergidas en una solución nutritiva compuesta de agua potable y fertilizante soluble; por lo tanto, el crecimiento del cultivo de la lechuga puede ser sometido a condiciones de inocuidad, salubridad, disponibilidad de agua y nutrientes; sin embargo, la principal desventaja del sistema NFT, es la alta frecuencia o continua recirculación de la solución nutritiva, como consecuencia se incrementa el costo de producción. Cabe mencionar que los niveles de oxígeno disuelto en la solución nutritiva es renovada cuando se realiza la recirculación de la solución; Así mismo, la deficiencia de oxígeno reduce la absorción de agua y sales minerales, afectando de manera negativa al crecimiento y desarrollo aéreo y radicular, si la deficiencia persiste los tejidos radiculares se necrosan e ingresan patógenos como el *Phytium* (Fernández Navarro, 2013). Debido a la importancia de la recirculación, es necesario, determinar la frecuencia diaria que asegure mantener los niveles óptimos de oxígeno y nutrientes minerales en la solución nutritiva.

Para determinar la frecuencia de recirculación eficiente, se estableció en cada canal de cultivo, frecuencias de cero a cinco recirculaciones diarias de la solución nutritiva durante todo el ciclo de producción, donde se evaluaron indicadores de rendimiento y calidad de la lechuga.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye la recirculación de la solución nutritiva en un sistema hidropónico NFT en el rendimiento y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Tropicana en el distrito de Imperial, provincia de Cañete, 2021?

1.2.2. Problema específico

PE₁ ¿Cuál es el efecto de las frecuencias de recirculación de la solución nutritiva en un sistema hidropónico NFT en el rendimiento de la lechuga?

PE₂ ¿Cuál es el efecto de las frecuencias de recirculación de la solución nutritiva en un sistema hidropónico NFT en la calidad de la lechuga?

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Determinar la influencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en el rendimiento y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Tropicana en el distrito de Imperial, provincia de Cañete.

1.3.2. Específicos

OE₁ Evaluar el efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en el rendimiento de la lechuga.

OE₂ Evaluar el efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema

hidropónico NFT en la calidad de la lechuga.

1.4. Hipótesis de la Investigación

1.4.1. Hipótesis general

La Frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT mejora el rendimiento y calidad de la lechuga.

1.4.2. Hipótesis específicas

HE₁ La Frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT tiene efectos en el rendimiento de la lechuga.

HE₂ La Frecuencias de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT tiene efectos en la calidad de la lechuga.

1.5. Justificación

Uno de los cultivos de hortalizas verdes más comunes en el mundo actual es la lechuga. En el Perú, el consumo per cápita anual es de 1.8 kg, cifras cercanas a México, 2.5 Kg. La lechuga es un alimento dietético, contienen una gran cantidad de sustancias biológicamente activas necesarias para la vida humana, como vitaminas, sales minerales, ácidos orgánicos y muchas otras sustancias (Holmamatovich et al., 2020; Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2012; Soto et al., 2010).

En el distrito de Imperial, la producción de lechuga se realiza en el sistema convencional con el riego por gravedad, abastecido por el canal de regadío. En este tipo de riego el agua entra

en contacto con las hojas basales de la planta de lechuga, contaminándose así con agentes patógenos.

El agua de riego distribuida por canales abiertos a la finca, puede contaminarse con materia fecal; por lo tanto, el agua de riego puede ser una fuente de microorganismos patógenos como *E. coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria spp.*, *Shigella spp.*, *Cryptosporidium spp.* y virus entéricos; Cabe mencionar que se han encontrado 250 agentes causales de enfermedades transmitidas por alimento (ETA), de los cuales en su mayoría son agentes de origen biológico (Cortés-Sánchez et al., 2018; Ramirez-Hernandez et al., 2020).

Como alternativa al sistema convencional, surge el sistema de producción hidropónica NFT (Nutrient Film Technique), donde la solución nutritiva contenida en los canales de cultivo, están compuestas por agua potable y nutrientes minerales, mediante la adecuada recirculación renueva la concentración de nutriente y oxígeno en la solución, estas condiciones permiten expresar el potencial productivo y asegurar la inocuidad de la lechuga durante su crecimiento, ya que no está expuesta a fuentes de ETA. Otras ventajas que presenta el sistema es la precocidad a la cosecha, uniformidad de tamaño de planta, mayor número de cosechas en el tiempo.

Sin embargo, la principal desventaja del sistema NFT, es la alta frecuencia de recirculación de la solución nutritiva, lo cual es importante porque permite renovar los niveles de oxígeno disuelto y nutrientes minerales en la solución nutritiva, de lo contrario podría causar anoxia radicular, por consecuente la muerte de la planta. De acuerdo a lo mencionado es importante determinar la frecuencia de recirculación óptima de la solución nutritiva en el cual se desarrolla el cultivo de la lechuga sin mermar su calidad y rendimiento.

Capítulo II: Marco teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes nacionales

Fuentes y Fuentes (2019) evaluaron las frecuencias de recirculación de la solución, a los 30, 60, 90, 120 y 180 minutos, realizados por bombeo periférico en el cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). Las frecuencias de 90 y 120 minutos presentaron los más altos rendimientos, lechugas con mayor tamaño y peso; mientras que las frecuencias de riego de menor tiempo presentaron menor tamaño y peso.

Según Mendoza (2017) evaluó diferentes dosis de aireación en el cultivo de lechuga en hidroponía, utilizando un diseño en parcela dividida en bloques al azar y tres repeticiones, donde la parcela fue conformada por TA₀-aireación pasiva, TA₁-1000 cm³/minuto de aire y TA₂-2000 cm³/minuto de aire. El experimento se desarrolló utilizando el sistema hidropónico NFT. Según sus resultados, no encuentra diferencia significativa para altura de planta, número de hojas. Sin embargo, recomienda el nivel TA₀-aireación pasiva, por presentar una mayor rentabilidad neta.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Lopes da Luz et al. (2008) evaluaron las frecuencias de recirculación en el cultivo de lechuga cv. "Regina" bajo el sistema hidropónico NFT. El diseño experimental escogido fue un DBCA con tres repeticiones, se realizó la investigación en el departamento de Fitotecnia de la Universidad Federal de Santa María - Brasil, los tratamientos consistieron en tres frecuencias de recirculación; 15, 30 y 45 minutos, el tiempo de cada frecuencia fue de 15 minutos. La temperatura mínima promedio fue de 19 °C, la máxima promedio fue de 29 °C. Referente a las evaluaciones,

el área foliar, la materia seca de las hojas y la materia seca total se realizaron al momento del trasplante y a los seis, nueve, 16, 20 y 23 días después del trasplante. No hubo diferencia significativa entre las variables fotométricas. La frecuencia de 45 minutos, destacó por haber proporcionado una disminución del 42,1 % en el costo de la electricidad, sin mermar la productividad.

Djidonou & Leskovar (2019) evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de nitrógeno en los cultivares de lechuga, Buttercrunch, Dragoon y Spark bajo condiciones de hidroponía NFT, en épocas de otoño, primavera y verano, con recirculación continua de la solución. El experimento se desarrolló en el centro de investigación y extensión de Texas. En cuanto a sus resultados, el mejor rendimiento fue el cultivar Spark en primavera, con 126 t.ha⁻¹ a los 35 ddt. Referente al área foliar logro obtener 7354.28 cm² por planta.

Cevallos (2020) evaluó dos tipos de soluciones nutritivas en las variedades de lechuga Starfighter, Patagonia y Marron bajo el sistema hidropónico NFT, el régimen de recirculación de la solución nutritiva lo realizó de forma automatizada con ocho frecuencias de riego diario, con intervalos de una hora, es decir por cada hora de riego tuvo una hora de receso. Obtuvo mejores resultados con la variedad Starfighter, a los 60 ddt. obtuvo un rendimiento de 22.33 t.ha⁻¹, 12.45 hojas por planta y 204.17 g por planta de masa fresca de hoja.

Lages et al. (2015) realizaron un comparativo entre la producción convencional de lechuga y la producción hidropónica en el sistema NFT. Los resultados obtenidos mostraron que la hidroponía alcanzó un rendimiento de 6.1 kg/m²/año, frente a 0.21 kg/m²/año del convencional, pero requirió 11 veces más energía en comparación con la lechuga producida convencionalmente.

Martínez-Gutiérrez et al. (2012) evaluaron la oxigenación pasiva en la solución nutritiva, a través de cambios bruscos del flujo en los canales de cultivo de la lechuga. Se realizó con

pendientes de 2 % y 4 % de los canales de cultivo y cuatro saltos hidráulicos constituidos por 0, 1, 2 y 3, cada uno con cinco centímetros de altura de solución nutritiva, con frecuencias de riego intermitente, es decir 10 minutos de riego y 10 minutos sin riego. El tratamiento con 4 % de pendientes y tres saltos hidráulicos fue el que alcanzo mayor peso fresco de planta.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Clasificación taxonómica

La lechuga pertenece a la familia Asteraceae, conocida anteriormente como Compositeae, presenta una elevada variabilidad, en cuanto a tipos de hojas y hábitos de crecimiento de la lechuga (Saavedra et al., 2017). En la Tabla 1, se presenta la clasificación taxonómica actual de la lechuga

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la lechuga (Lactuca sativa L.)

Organización	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta.
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Sub familia	Cichorioideae
Tribu:	Lactuceae.
Género:	<i>Lactuca.</i>
Especie:	<i>sativa.</i>
Nombre científico:	<i>Lactuca sativa</i> L.
Nombre común:	Lechuga.

Fuente: (ITIS [Information Integrated Taxonomic System], 2022)

2.2.2. Descripción morfológica

De acuerdo a Thompson et al. (1998) describe la morfología de la lechuga de la siguiente manera:

Hoja: presenta numerosas hojas basales y de gran tamaño, desarrolladas en forma de rosetas, pueden ser oblongas, ovales, ramificadas, lisas o crespas; asimismo opacas y brillantes de acuerdo con las variedades.

Tallo: su tallo es corto, en el cual están insertadas las hojas.

Raíz: es de tipo pivotante y denso; mide aproximadamente 30 cm de longitud.

Flores: son de color amarillo y tamaño pequeño, el cual están agrupadas en un mismo nivel apical, teniendo origen sus pedúnculos a diferentes alturas del núcleo principal.

2.2.3. Origen y distribución geográfica de la lechuga.

En la actualidad los investigadores aún no definen las especies ancestrales que participaron en la evolución a la lechuga que actualmente se consume, pero se cree que descende de *Lactuca serriola* debido a que los cromosomas entre *L. sativa* y *L. serriola* son muy similares morfológicamente y no tienen problemas en cruzarse libremente. Además, menciona que el centro de origen de la lechuga probablemente sea entre Asia Menor y la cuenca del Mediterráneo, pero la evolución a su forma comestible probablemente se dio en la zona del Mediterráneo oriental (Saavedra et al., 2017).

2.2.4. Producción convencional de lechuga.

De acuerdo a Saavedra et al. (2017) refieren las siguientes condiciones edafoclimáticas y actividades en la producción convencional de lechuga.

- El cultivo presenta un óptimo desarrollo a temperaturas entre 18 y 25 °C en el día y 10 a 15 °C por la noche.
- La preparación de terreno, debe de alcanzar niveles óptimos de aireación para el buen desarrollo radicular, movimiento del agua en el suelo (infiltración, percolación y drenaje) y mejorar la retención de humedad.
- La siembra, se realiza en almacigueras de arena o en bandejas germinadoras, posteriormente se realiza el trasplante a campo definitivo, cuando tenga de 3 a 4 hojas verdaderas.
- Los riegos, se debe de suministrar el volumen de agua óptimo, ya que de ello dependerá la rentabilidad del cultivo de la lechuga. Esta hortaliza es extremadamente sensible al estrés hídrico, siendo afectada la calidad y el rendimiento si el riego se retrasa o si la humedad alcanza con cierta frecuencia niveles de punto de marchitamiento.

2.2.5. Producción hidropónica

Beltrano & Gimenez (2015) clasifican la hidroponía en tres modelos:

Sistema de solución estática: este modelo incluye los contenedores profundos de solución nutritiva, en la cual el sistema radicular está sumergido. Este sistema presenta una deficiente oxigenación, siendo no recomendable para condiciones de elevadas temperaturas, pero podría solucionarse con la incorporación de oxígeno a la raíz mediante burbujeo de la solución por medio de una bomba de aire o equipo compresor.

Sistema con solución recirculante: En este modelo la solución nutritiva puede recircular de manera continua o intermitente. El modelo más conocido es el Nutrient Film Technique (NFT); El oxígeno es incorporado en la solución a través de la recirculación y además por el espacio entre la

solución y el canal de cultivo. El nivel de oxígeno se ve reducido con el incremento de las temperaturas, debido a que el consumo de oxígeno por la planta se duplica con el aumento de 10 °C, mientras que la disolución del oxígeno de la solución en los canales de cultivo se reduce de 9,6 a 7,8 mg/l para 20 y 30 °C respectivamente.

Cultivos aeropónicos: la recirculación de la solución nutritiva a diferencia del NFT, el sistema radicular se encuentra suspendido en el aire, el principal problema de este sistema es la dificultad que la raíz tiene para lograr entrar en contacto directo con la solución, pero en la mayoría de los sistemas aeropónicos usan un espacio aislado donde el sistema radicular y los microaspersores se encuentran bien alineados de tal modo que el entorno del sistema radicular tenga alta y continua humedad a través de inyecciones asperjadas de solución nutritiva por los microaspersores y de manera frecuentes.

2.2.6. Hidroponía

La hidroponía, es un conjunto de técnicas que brindan condiciones idóneas para el desarrollo y crecimiento del cultivo de plantas, sin la necesidad del uso del suelo. La palabra hidroponía tiene su origen en el término griego hidro = agua y ponos = labor o trabajo, que significa trabajo en agua. Sin embargo, en la actualidad es muy común su uso para referirse a toda producción que se cultiva sin suelo (Beltrano & Gimenez, 2015; Brenes-Peralta & Jiménez-Morales, 2013).

2.2.7. Historia de la hidroponía

La hidropónico se inició mucho antes al cultivo en tierra, el origen fue en la antigua Babilonia, en los famosos jardines colgantes que se conocen como una de las siete maravillas del

mundo antiguo, el cual es posible que fuera uno de los primeros intentos exitosos de cultivar plantas sin suelo (Beltrano & Gimenez, 2015).

2.2.8. Ventajas de la hidroponía

El sistema hidropónico requiere de pocas horas de trabajos, menor esfuerzo físico, no es necesario aplicar un plan de rotación de cultivos, no existe la competencia por nutrientes ya sea por plantas voluntarias o microorganismo de suelo, las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento, existe mínima pérdida de agua, las malezas no son un problema, reducido uso de agroquímicos y además el sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales (Gilsanz, 2007).

La ventaja que ofrece el sistema "NFT" es la alta eficiencia respecto a la absorción de los elementos minerales, agua y oxígeno, esenciales para el crecimiento de las plantas, además maximiza el contacto directo de las raíces con la solución nutritiva que es constantemente renovada y por ende se logra un crecimiento acelerado, alcanzando de esa manera 11 cosechas al año (Carrasco & Izquierdo, 1996).

2.2.9. Desventajas de la hidroponía

El sistema hidropónico requiere un costo inicial alto, además el productor debe de tener conocimientos básicos de fisiología y nutrición, ya que el desbalance nutricional podría causar de inmediato efectos negativos en el cultivo (Gilsanz, 2007).

2.2.10. Solución nutritiva

Es una fuente eficiente de agua y nutrientes necesarios para un óptimo crecimiento y desarrollo de la planta. En ese sentido, la formulación completa de una solución nutritiva está compuesta por macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (hierro, molibdeno, boro, zinc, manganeso y cobre), tanto los macronutrientes como micronutrientes la planta no puede absorberlos en su forma simple, por lo que se provee en compuestos iónicos (Beltrano & Gimenez, 2015).

2.2.11. Solución nutritiva para la lechuga

Existen diversas formulaciones para preparar la solución nutritivas del cultivo de la lechuga. En la Tabla 2, se presenta algunas propuestas de formulaciones empleadas en el cultivo de lechuga bajo condiciones de hidroponía.

Tabla 2

Formulaciones de solución nutritiva para cultivo hidropónico de la lechuga

Referencia	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
Furlari, 1998	198	39	183	142	38	52	2	0.4	0.3	0.06	0.02	0.06
La Molina, 2001	154	36	260	150	45	70	1	0.5	0.5	0.15	0.1	0.05
Morgan, 1999	141	25	96	152	25	33	2.5	1	0.45	0.06	0.05	0.05
Resh, 2001	190	50	210	200	40	113	5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.05

Fuente: (Rodriguez & Chang, 2012).

2.2.12. Rol de los elementos esenciales

Cada elemento cumple un rol específico en la planta, estas funciones son las siguiente:

Nitrógeno (N): constituye parte de un gran número de compuestos orgánicos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas; compuestos como aminoácidos, proteínas coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila y fitocromos. Es el elemento más importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, necesario para la síntesis de clorofila e involucrada en el proceso de la fotosíntesis. La deficiencia de N disminuye la producción de fibra, existe severos enanismos de las plantas, crecimiento lento y clorosis; la clorosis avanza hacia las hojas jóvenes que permanecen verde más tiempo porque el N se moviliza desde las hojas viejas, hacia las partes jóvenes en crecimiento. (Rodriguez & Chang, 2012).

Fósforo (P): Forma parte de numerosos compuestos como los ácidos nucleicos, fosfolípidos, azúcares-fosfatos, coenzimas, en la hidrólisis y formación de pirofosfato, ATP, mismo que actúan como trasportadores de energía e integridad estructural. El contenido de fosfato de las células de la raíz y la savia alcanza niveles de 100 a 1000 veces más altas que la solución del suelo. Las raíces de las plantas son capaces de absorber fosfato de la solución suelo a concentraciones muy bajas de fosfatos. La falta de P se manifiesta en una planta pequeña, la forma de las hojas se distorsiona y cuando la deficiencia es severa se desarrollan áreas muertas en las hojas, el fruto y el tallo, está deficiencia empieza desde las hojas viejas, hacia las hojas jóvenes (Mengel & Kirkby, 2000).

Potasio (K): Las funciones generales del K son la regulación osmótica en general, síntesis de azúcares, almidones y proteínas; transporte de azúcares; apertura de los estomas; colabora en síntesis enzimáticas; mantiene el hierro (Fe) más móvil en la planta y aumenta la resistencia de las plantas a ciertas enfermedades ya que este elemento refuerza la epidermis de la célula permitiendo de esta manera tallos fuertes que resisten el ataque de patógenos; actúa en los procesos de

fotosíntesis, respiración, síntesis de clorofila y regula la cantidad de agua en las hojas una de las características principales del potasio es la alta velocidad con la que es absorbido por los tejidos. Así mismo la retención del potasio en la célula depende principalmente del potencial negativo de la célula. No forman parte estable de ninguna molécula estructural en las células de las plantas (Mengel & Kirkby, 2000).

Calcio (Ca): Es importante la concentración de calcio en zonas meristemáticas donde ocurre la división celular, es común encontrar calcio en las vacuolas como precipitado en forma de cristales de oxalato de calcio, también se encuentra como pectado de calcio en las paredes celulares, dándole rigidez a la pared celular. El calcio también es activador de enzimas, entre ellas la alfa-amilasa, que degrada el almidón, controla la velocidad de la respiración y reduce la producción de gas etileno, responsable de la maduración de los frutos. El Ca está asociado con la síntesis de la pared celular, especialmente en la lámina media, donde forma sales insolubles con los ácidos pépticos de la laminilla medial (Rodríguez & Chang, 2012).

Magnesio (Mg): Se encuentra en la planta en forma iónica, forma parte de la molécula de clorofila, su deficiencia inhibe la producción del pigmento. Además, estabiliza las partículas de ribosomas. Intervienen en muchas reacciones enzimáticas implicadas en la respiración, fotosíntesis, síntesis de ARN y ADN; en la síntesis de nucleótidos purínicos. El Mg es absorbido por las plantas como un catión divalente (Mg^{2+}), su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las plantas absorben menos magnesio. La deficiencia de magnesio puede acentuarse con dosis altas de potasio. En la planta es el átomo central de la molécula de la clorofila, interviene en la síntesis de proteínas, en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de varios sistemas enzimáticos (Rodríguez & Chang, 2012).

Azufre (S): Forma parte de los aminoácidos cistina, cisteína, metionina y de las proteínas que lo contienen. Se encuentra en la coenzima A, compuesto esencial para la respiración, síntesis y degradación de los ácidos grasos. La planta con deficiencia de S, presentan un color verde pálido en las hojas más jóvenes, además las hojas se arrugan a medida que la deficiencia progresa, pero cuando es severa toda la planta puede presentar color verde pálido y crecimiento lento (Rodríguez & Chang, 2012).

Hierro (Fe): Cataliza la formación de clorofila, y actúa como transportador del oxígeno, es absorbido preferentemente por las raíces como ion ferroso (Fe) forma en la cual ingresa con facilidad a la estructura de las biomoléculas y sobre todo más soluble en la solución del suelo. Es absorbido también por la epidermis foliar y por la superficie de las ramas, en la planta es transformada en ion férrico y transferida en forma quelatada con ácido cítrico a las hojas donde es almacenada como ferritina (Sequi, 2004).

Manganeso (Mn): Participa directamente en la producción de oxígeno durante la ruptura de la molécula del agua en la fotosíntesis. Es activador de varias enzimas entre ellas, las que intervienen en la síntesis de ácido graso y en la formación del ADN y ARN. El Mn funciona principalmente como parte de los sistemas enzimáticos de las plantas, influye directamente en la fotosíntesis al ayudar a la planta a sintetizar clorofila (Rodríguez & Flórez, 2004).

Boro (B): Participa en el transporte de azúcares en el floema, es importante en los procesos de división, diferenciación, respiración y desarrollo celular. El B es esencial para la germinación de los granos de polen, el crecimiento del tubo polínico y para la formación de semillas y paredes celulares. La deficiencia de B generalmente detiene el crecimiento de la planta, primero dejan de crecer los tejidos apicales y las hojas más jóvenes (Rodríguez & Chang, 2012).

Zinc (Zn): Es absorbido por las raíces de las plantas como ión bivalente (Zn^{2+}), también es muy fácil absorbido por la epidermis foliar y ramas. Se requiere para la síntesis del aminoácido triptófano, el cual es precursor de la auxina ácido indolacético (IAA), estimula diversas actividades enzimáticas en los vegetales (fosfatasa, decarboxilasas). Es un antagonista del hierro; El cobre y magnesio a menudo hacen sinergias con el zinc. (Sequi, 2004).

Cobre (Cu): Intervienen en el proceso de la fotosíntesis y en la respiración al actuar como transportador de electrones y formar parte de algunas coenzimas. El Cu tiene un papel importante en el metabolismo de N, proteínas y hormonas; fotosíntesis, respiración y en la viabilidad del polen (Rodríguez & Chang, 2012).

Molibdeno (Mo): Interviene en la reducción del nitrato a nitrito a través de la enzima nitrato reductasa, y también es esencial en bacterias fijadoras de nitrógeno. El Mo es un componente estructural del nitrato reductasa, interviene en el transporte y absorción del Fe; además, activa enzima en el metabolismo del ácido láctico, ácido glutámico, etanol, piridin nucleótido deshidrogenasa, síntesis de proteínas, en la nitrogenasa para la conversión de N_2 en NH_3 . También es necesario para convertir el P inorgánico a su forma orgánica en la planta (Sequi, 2004).

2.2.13. Sistema hidropónico NFT

La técnica hidropónica de cultivo con flujo laminar de nutrientes, NFT (Nutrient Film Technique) fue desarrollado para aumentar la productividad en la producción hidropónica y mejorar la eficiencia en el uso de recursos utilizados (energía, agua, nutrientes) (Beltrano & Gimenez, 2015; Brenes Peralta & Jiménez Morales, 2014).

Al sistema NFT se le ha incorporado originalmente un complejo sistema de circuitos de canales de concreto donde el flujo de la solución nutritiva se mantenía gracias al funcionamiento

de dos bombas, luego este sistema fue simplificado al diseñarse con una sola bomba impulsora; Así mismo refieren que el sistema NFT fue modificado en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Una de las modificaciones relevantes en el sistema fue la recirculación intermitente de la solución nutritiva, para lo cual elevaron el punto de salida de la solución en el canal de cultivo a dos centímetros, manteniendo el nivel de la solución a ese punto durante el tiempo de no recirculación (Carrasco & Izquierdo, 1996).

2.2.14. Componentes del sistema hidropónico NFT.

Según Carrasco y Izquierdo (1996) mencionan los siguientes componentes del sistema hidropónico NFT:

Tanque colector: Tiene por función almacenar la solución nutritiva a través del periodo de cultivo. Existe una gran gama de tipo de contenedores que puede utilizarse, pero su elección debería estar basada en el tipo de material, tamaño y aislamiento.

Canales de cultivo: El sistema "NFT" se caracteriza por prescindir de sustratos como turba, arena, entre otros, sino por el contrario, es un sistema estrictamente hidropónico, es decir, se cultiva en una solución de agua y sales minerales. El diseño del contenedor, facilita el sostén de la planta, ya que el sistema no contiene medios sólidos. Por lo tanto, el contenedor y el canal de cultivo permite la sujeción de las plantas.

Bomba: Corresponde a uno de los componentes claves del sistema, el cual requiere previamente realizar los cálculos necesarios para determinar su dimensión de la electrobomba. Su función es impulsar la solución nutritiva del tanque colector hasta la parte alta de los canales de cultivo.

Red de distribución: La solución nutritiva es distribuida a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC o goma desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo.

Tubería colectora: La tubería colectora recoge la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el tanque colector.

En el Anexo 8, Figura 19, se observa la estructura de un sistema hidropónico NFT, con todos sus componentes básicos.

2.2.15. Recirculación de la solución nutritiva y su efecto en la lechuga.

La diferencia en el contenido de oxígeno disuelto en la solución nutritiva a la entrada y salida de canales de cultivos de 24 m no fueron significativas. Al modificar la pendiente de los canales de cultivo; Tiene efecto significativo en el rendimiento de lechuga, respecto a los canales de cultivo no modificados, alcanzando mayor peso fresco (Martínez-Gutiérrez et al., 2012).

2.2.16. Frecuencias de recirculación de la solución nutritiva

De acuerdo al Instituto de Nutrientes de Centro América y Panamá [INCAP] (2006) define que el sistema NFT es una de las técnicas más utilizadas en la hidroponía y que consiste en recircular continua o intermitente una fina lámina de la solución nutritiva a través de las raíces del cultivo.

Diversos autores han realizado investigaciones sobre diferentes tiempos y frecuencias de recirculaciones intermitente frente a la continua, en general sus experimentos fueron con intermitencias mayores a seis recirculaciones por día de la solución nutritiva, lo cual concluyeron que no hubo diferencia significativa con la recirculación continua (Djidonou & Leskovar, 2019; Lopes Da Luz et al., 2008; Ramírez Ibarra, 1995).

2.2.17. Importancia de recircular la solución nutritiva

El sistema NFT es una técnica de cultivo en agua, donde la recirculación continua o intermitente de la solución nutritiva se encuentra muy fácilmente disponible para el cultivo, siendo una de las mayores ventajas del sistema, al ser mínimo el gasto de energía que debe realizar la planta en la absorción, pudiendo aprovecharlo en otros procesos metabólicos (Tyson et al., 2010). Así mismo, la renovación de la solución nutritiva entorno a la raíz permite un suministro adecuado de nutrientes minerales y oxígeno. Por lo tanto, la recirculación de la solución nutritiva mejora la calidad y el rendimiento de la lechuga, debido a que genera niveles óptimos de nutrientes minerales y oxígeno a nivel radicular (Cevallos, 2020; Djidonou & Leskovar, 2019; Lopes Da Luz et al., 2008; Mendoza Rodríguez, 2017).

El oxígeno disuelto en la solución nutritiva es renovada cada vez que se realiza la recirculación del mismo. El sistema radicular requiere oxígeno para la respiración aeróbica, un proceso esencial que libera la energía requerida para el crecimiento radicular. La deficiencia de oxígeno también llamado “anoxia” en la solución nutritiva reduce la absorción de agua y sales minerales, afectando de manera negativa en el crecimiento y desarrollo aéreo y radicular. Cuando ocurre la deficiencia de oxígeno en la zona radicular, las raíces se tornan de color pardo, en el área foliar se observa marchitamiento cuando los niveles de temperatura y luminosidad son altas. Si la falta de oxígeno continua, podría causar la muerte del tejido radicular, una vez que empieza el deterioro de la raíz provocado por la anaerobiosis, los patógenos oportunistas como el *Phytium* pueden ingresar a la planta, produciendo la descomposición de sus tejidos (Beltrano & Gimenez, 2015; Fernández Navarro, 2013).

2.2.18. Influencia de la temperatura en la lechuga

El cultivo de la lechuga requiere temperaturas óptimas de crecimiento de 23 °C durante el día y 7 °C durante la noche. Asimismo, las altas temperaturas pueden causar emisión prematura del tallo floral, amargor, mala formación de la cabeza y necrosis en las hojas. A temperaturas mínimas, las plantas jóvenes no se dañan, pero el crecimiento es lento. La congelación puede dañar las hojas externas de la lechuga madura, lo que puede provocar descomposición durante la manipulación y el almacenamiento (Smith et al., 2011).

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Recirculación

Consiste en mantener parte del sistema radicular del cultivo inmersas en una corriente de solución nutritiva, continua o intermitente de alta frecuencia, sin que exista ningún sustrato de sostén (Tyson et al., 2010).

2.3.2. Solución nutritiva

Se define como un medio líquido, compuesto por agua y sales minerales, el cual es fuente disponible para la planta de nutrientes, necesarios para su óptimo crecimiento y desarrollo (Beltrano & Gimenez, 2015).

2.3.3. Sistema hidropónico NFT (*Nutrient Film Technique*)

Consiste en la recirculación continua o intermitente de una fina lámina de solución nutritiva a través de las raíces del cultivo, sin que éstas se encuentren inmersas en sustrato alguno, sino que

simplemente quedan sostenidas por un canal de cultivo, en cuyo interior fluye la solución hacia cotas más bajas por gravedad (Tyson et al., 2010).

2.3.4. Rendimiento

Se define, como la proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados; o la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado en una hectárea de terreno utilizado. Usualmente, se mide en tonelada métrica por hectárea ($t\cdot ha^{-1}$) (RAE, 2021).

2.3.5. Calidad

Significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es «grado de excelencia o superioridad» (Fraile-Robayo et al., 2017).

2.3.6. Salinidad

Es el contenido de sales minerales disueltas en el agua, el cual al disolver un fertilizante en agua de riego aumenta su contenido salino, consecuentemente aumenta la conductividad eléctrica, empeorando la calidad desde el punto de vista de efecto osmótico (Fuentes, 2003).

2.3.7. Solubilidad

Es la capacidad de una sustancia de disolverse en otra llamada disolvente. Por lo tanto, todo fertilizante utilizados en fertirrigación debe de tener un grado de solubilidad que impida las obturaciones con partículas sólidas sin disolver. Asimismo, es importante conocer el grado de solubilidad del fertilizante, con la finalidad de establecer la cantidad máxima del mismo para añadir a una cantidad determinada de agua (Fuentes, 2003).

Capítulo III: Marco Metodológico

3.1 Definición de variables

3.1.1. Variable independiente

Frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT.

3.1.2. Variable dependiente

De acuerdo a los antecedentes, se considera evaluar las siguientes variables dependientes:

- Rendimiento total
- Calidad

Indicadores de Rendimiento total y sus unidades de medidas

- Peso de planta (PP) – Gramos (g)

Indicadores de Calidad

- Área Foliar (AF) – Centímetro cuadrado (cm²/planta)
- Masa Fresca de hojas (MFH) – Gramos (g/planta)
- Masa Fresca de Raíces (MFR) - Gramos (g/planta)
- Número de hojas (NDH) – Unidad (und/planta)
- Masa Seca de hojas (MSH) – Gramos (g/planta)
- Masa Seca de Raíces (MSR) – Gramos (g/planta)

El área foliar juega un papel importante en el análisis del crecimiento de las plantas y la fotosíntesis, así mismo para predecir el rendimiento, en ese sentido el aumento de biomasa de un vegetal se realiza a partir del área foliar expandida como fuente de producción de fotoasimilados (Chaudhary et al., 2012; Cookson et al., 2005).

El crecimiento es definido generalmente como un incremento irreversible en las dimensiones de la planta, para determinarlo pueden medirse los cambios en volumen, pero debido a las dificultades prácticas que genera este tipo de mediciones, suelen determinarse variables relacionadas, tales como la masa fresca de hoja acumulación de peso, las variaciones en altura o diámetro, o los cambios en el área foliar (Di Benedetto & Tognetti, 2016).

3.2. Materiales utilizados en la investigación

3.2.1 Materiales

- Regla milimetrada
- Útiles de escritorio (Lápiz, Lapicero, borrador, cartulina blanca, perforador)
- Jaba de cosecha
- Baldes x 20 l.
- Carteles de identificación
- Formato de evaluación de rendimiento y calidad (Anexo 9, Figura 20)
- Formatos de registro de temperatura, (Anexo 9, Figura 21)

3.2.2 Equipos

- Sistema hidropónico NFT (Anexo 8, Figura 19).
- Balanza analítica

- Estufa
- Cámara fotográfica
- Cronometro
- Termo higrómetro
- conductivimetro

3.2.3 Insumos

- Lejía
- Solución A y B (Tabla 3).
- Agua
- Agroquímicos (En vivo, Imidacloprid)

3.2.4. Análisis económico del sistema hidropónico NFT.

La instalación del sistema hidropónico NFT, del centro de producción Eco-Verduras, se realizó mediante los servicios de especialistas; en el Anexo 10 Figura 22 ,23, 24, 25 y 26 se puede observar el detalle de los costos de instalación del sistema hidropónico NFT, el costo de producción del cultivo y las mermas de plantas a la cosecha ya se por razones sanitarias o fisiopatias, para lo cual se consideró el 5 % en una población de 600 plantas. Cabe mencionar que se consideró 5 años de vida útil de la instalación del sistema hidropónico, lo cual se distribuyó el costo total entre el tiempo de vida útil; Así mismo el costo se dividió en 11 cosechas al año. Finalmente, todos los costos fueron distribuidos por cada planta útil producida. El análisis económico muestra un margen de utilidad de S/ 0.57 por planta, lo cual representa un índice de rentabilidad de 62%.

3.3. Metodología desarrollada en la tesis

3.3.1. Ubicación geográfica del experimento

Coordenadas UTM

UTM X: 445999.51344

UTM Y: 8436099.9627

ALTITUD: 85 m.s.n.m

3.3.2 Ubicación política del experimento

Departamento: Lima

Provincia: Cañete

Distrito: Imperial

Anexo: Vista Alegre

En el Anexo 6 y 7, se presenta la ubicación mediante imagen satelital el lugar del experimento.

3.4. Tipo y Nivel de investigación

3.4.1. Tipo de investigación

De acuerdo con la naturaleza de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de investigación aplicada porque esta está orientada a solucionar problemas prácticos, como precisar la frecuencia óptima y viable económica de recircular la solución nutritiva del sistema hidropónico en el cultivo de la lechuga var. Tropicana. Así mismo es experimental puro porque hay una manipulación intencional de la frecuencia de recirculación de la solución

(variable independiente) y se realiza la medición de indicadores del rendimiento y calidad (variables dependientes) del cultivo de la lechuga (Hernández et al., 2014; Tresierra, 2013).

3.4.2. Nivel de investigación

Fue descriptivo, ya que explicó el comportamiento de las variables en estudio, describe fenómenos, situaciones, contextos y sucesos, tal y como se observó en la realidad dando a conocer dichas características en el capítulo de resultados mediante la utilización de las tablas y gráficos de la estadística descriptiva. También fue explicativa porque pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian, es decir se dio a conocer el comportamiento de las variables rendimiento y calidad de la lechuga como efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT, estableciendo la relación causa-efecto, mediante la utilización del análisis de varianza en un diseño completamente al azar. En cuanto a su temporalidad fue transversal, ya que las observaciones de las variables en estudio se realizaron en un solo momento del tiempo, campaña agrícola 2021 (Hernández et al., 2014).

3.5. Método y diseño de la investigación

3.5.1. Método

El desarrollo del experimento se realizó en cinco etapas :

a. Etapa I: Actividades y protocolos previos a la instalación de los tratamientos

Las actividades y el cumplimiento de protocolos previos al trasplante se realizaron siguiendo los siguientes procedimientos:

- Medición y señalización del área experimental.

El experimento se realizó en una mesa de cultivo el cual se observa en el Anexo 8, Figura 19. Cuenta con ocho canales de cultivo, cuyas medidas fueron de 2m de ancho, 15 m de longitud y una separación de 0.30 m y entre plantas 0.20 m. Sobre dicha área asignada se distribuyó las 30 unidades experimentales, identificado con un cartel de 0.4 m de altura rotulado con el número de tratamiento y número de repetición correspondiente.

- Material Genético

Para el experimento se compró plantines de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Tropicana del vivero Eco-Verduras.

- Limpieza y desinfección de los canales de cultivos

Los canales de cultivo fueron lavados y desinfectados antes de realizar el trasplante. El lavado consistió en retirar los tapones de ambos extremos de los canales de cultivo, luego con un alambre galvanizado se introdujo una escobilla, retirando de esta manera restos vegetales que se encuentre en su interior, el proceso se repitió por tres veces, dos con agua sola y una con agua e hipoclorito de sodio al 4%. Finalmente, se colocaron los tapones y se llenaron con solución nutritiva. En el Anexo 8, Figura 16, se observa la limpieza de los canales de cultivo en el cual se instaló el experimento.

- Preparación de solución nutritiva

La preparación de la solución nutritiva se realizó según la fórmula propuesta por (Rodríguez & Chang, 2012) . En la tabla 3, se observa los fertilizantes que se utilizaron para la preparación de la solución A y B, con sus respectivas cantidades para 1000 l de solución nutritiva final; y en la Tabla 4, se puede ver las concentraciones del mineral que contiene cada fertilizante utilizado para la elaboración de la solución nutritiva.

Tabla 3

Fertilizantes utilizados en la solución nutritiva A y B del sistema NFT para el cultivo de Lechuga var. Tropicana

SN	Fertilizante	GF	SC	DSN
A	Superfosfato triple	550		
	Nitrato de Potasio	350	5 l	5 ml
	Nitrato de Amonio	180		
	Sulfato de Magnesio	220		
B	Fertilom Combi	12		
	Quelato de Hierro 6% Fe	8.5	2 l	2 ml
	Ácido Bórico Inkabor	1.2		

Fuente: (Rodriguez & Chang, 2012) Nota: SN= Solución nutritiva. G.1000L= Gramos de fertilizantes. SC= Solución concentrada para 1000 L de solución diluida. DSN= Dosis de SC por litro de solución diluida.

Tabla 4

Concentraciones mineral (%) del fertilizante utilizados en la solución nutritiva del sistema NFT para el cultivo de Lechuga var. Tropicana

S	Fertilizantes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
A	SFT		46		20							
	Nitrato Potasio	13.3		45								
	Nitrato Amonio	33										
B	SMH.					16	13					
	Fertilom combi							4	4	1.5	1.5	0.5
	Quelto Hierro 6%							6				
	Ácido Bórico											99

Nota: S=Solución nutritiva. SFT= Superfosfato triple. SMH= Sulfato magnesio heptahidratado.

b. Etapa II: Instalación de las unidades experimentales:

Se aplicó el diseño completamente al azar (DCA) con cinco repeticiones y seis tratamientos, distribuidas en seis canales de cultivo y dos adicionales cuyo objetivo fue mitigar el efecto borde, la unidad experimental estuvo constituida por 12 plantas de lechuga var. Tropicana. Los tratamientos estuvieron conformados por diferentes frecuencias de recirculación y el testigo absoluto fue distribuido en forma aleatoria.

c. Etapa III, Adquisición de plantines y trasplante:

En la figura 1A, se observa los plantines de lechuga var. Tropicana, adquiridos del vivero Eco-verduras, cuyas características fueron: 32 días de edad con tres a cuatro hojas verdaderas, 15 cm de altura, raíces blancas sin presencia de daños por patógeno, las raíces atravesaron el fondo del vaso hidropónico aproximadamente 10 cm; Así mismo, en la figura 1B se observa el trasplante de los plantines de lechuga var. Tropicana, distribuidos de forma aleatoria.

Figura 1

Plantines y trasplante de plantines de lechuga var. Tropicana.



A: Vivero Eco-verduras, proveedor de plantines de lechuga var. Tropicana. **B:** Trasplante de plantines de lechuga var. Tropicana en el área experimental.

d. Etapa IV: Recirculación de la solución nutritiva y aplicación del tratamiento

La recirculación se realizó mediante una electrobomba centrífuga de 1 Hp, marca Humboldt, que permite iniciar el proceso succionando la solución del tanque colector, que pasa a los canales de cultivo mediante una tubería de distribución y retorna al tanque colector por las tuberías de drenaje.

Se realizó el encendido manual de la electrobomba, en el horario establecido en la Tabla 5. Para establecer la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva fue de acuerdo a investigaciones anteriores, quienes realizaron comparativos de frecuencias mayores a ocho recirculaciones por día frente a la recirculación continua (Cevallos, 2020; Djidonou & Leskovar, 2019; Lopes Da Luz et al., 2008). Respecto al horario de recirculación, el centro de producción Eco-Verduras tiene establecido ocho frecuencias de recirculación en los horarios de 7:00, 9:00, 11:00, 12:00, 13:00, 15:00, 17:00 y 18:00 horas, de los cuales para todos los tratamientos se eligió a las 7:00 la primera recirculación del día; a los siguientes tratamiento también se eligió la última recirculación del día a las 18:00 con la finalidad de dejar renovado las concentraciones de nutrientes y oxígenos de la solución nutritiva durante toda la noche; En los horarios de 11:00, 13:00 y 15:00 horas la temperatura se incrementan durante el día, lo cual afecta la temperatura de la solución. El tiempo de riego por frecuencia fue de 15 minutos, cabe mencionar que el tiempo de riego está establecido por el centro de producción ya que desde el ingreso de la solución nutritiva al canal de cultivo hasta la salida demora 15 minutos aproximadamente. Para controlar la recirculación de cada tratamiento se instaló una llave de paso, el cual permitió abrir o cerrar el fluido de la solución.

Tabla 5

Programación de las horas de encendido de la electrobomba del sistema NFT, según los tratamientos en el cultivo de lechuga var. Tropicana

T	Parámetros de recirculación			Horario de recirculación de la solución nutritiva				
	NRD	MRD	MARD					
T1	0	0	0	-	-	-	-	-
T2	1	15	15	7:00	-	-	-	-
T3	2	15	30	7:00	-	-	-	18:00
T4	3	15	45	7:00	-	-	15:00	18:00
T5	4	15	60	7:00	-	13:00	15:00	18:00
T6	5	15	75	7:00	11:00	13:00	15:00	18:00

Nota: T=Tratamiento. NRD= Número de recirculación por día. MRD=Minutos de recirculación por día. MAD= Minutos acumulados de recirculación por día.

e. Etapa V: Procedimiento de la evaluación de las variables en estudio.

En cuanto al tiempo de evaluación establecido en el experimento según información obtenida de empresas comercializadoras de semillas de lechuga la variedad Tropicana alcanza la madurez de cosecha a partir de los 50 – 65 días, luego se puede cosechar como máximo durante 10 días (Lu et al., 2015). Teniendo esas consideraciones, las plantas utilizadas en el experimento estuvieron 32 días en almácigo y 35 días en canales de cultivo sometidos a la evaluación de indicadores de rendimiento y calidad, considerados en el experimento.

En cuanto al procedimiento de la evaluación se realizó siguiendo el flujograma de la Figura 2, recolectándose cinco muestreos en todo el ciclo del cultivo, el primero fue a los siete días del trasplante, luego a los 14, 21, 28 y 35 ddt. (días después del trasplante), en cada muestreo se tomó una planta por unidad experimental. En la figura 3, se puede ver el primer muestreo de planta, que

fue trasladado al laboratorio de la Universidad Nacional de Cañete en una bolsa de polipropileno, rotulada con el número del tratamiento y el número de repetición al que corresponde. En la figura 18, se observa los trabajos realizados en el laboratorio, se empezó realizando un corte en la parte basal de las hojas para separar de las raíces y se obtuvo el peso fresco de ambos. Las hojas se distribuyeron por separados en un fondo blanco para determinar el área foliar tal cual se observa en la Figura 4. Tanto las hojas y raíces después de obtener el peso fresco y el área foliar se sometieron a la estufa ordenadas como se observa en la figura 5, y así determinar el peso seco después que la muestra alcance el peso constante a 75 °C.

La metodología de evaluación de los parámetros en estudios se realizó de la siguiente forma:

Rendimiento total

- **Peso de planta (PP):** La medición fue directa utilizando una balanza analítica marca Sartorius QUINTIX 224-1S. de 0.01 g de precisión, para ello se extrajo una planta de cada unidad experimental y se hizo un corte transversal por debajo de la inserción de la hoja basal. Para este indicador solo se registró información en la 5ta evaluación y los resultados se expresó en gramos por planta.
- **Rendimiento total:** Obtenido mediante cálculo matemático, con el promedio del peso de planta de lechugas cosechadas de cada tratamiento en la 5ta evaluación, a los 35 ddt. Los valores obtenidos se expresó en toneladas por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$)

Calidad

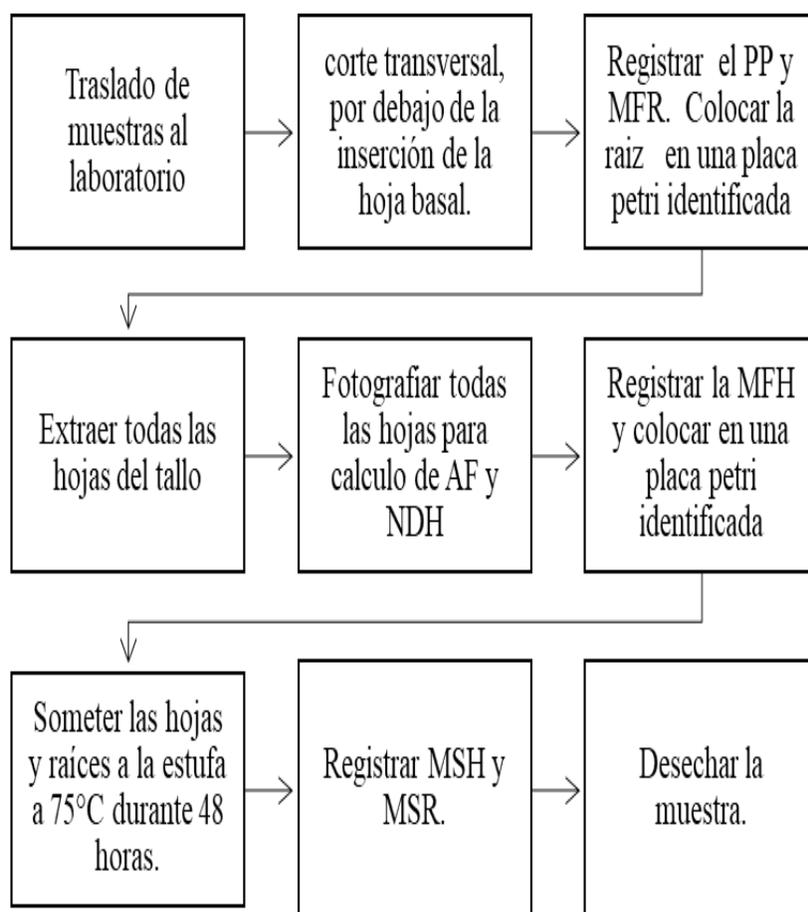
- **Área foliar (AF)** Después de determinar la MFH de la lechuga, y haber deshojado toda la planta, se extendió cada hoja sobre un fondo blanco y se fotografió desde una vista superior

perpendicular a las muestras a una altura aproximada de 0.7 m. Las imágenes obtenidas se procesaron con el software Imagen J., obteniendo el AF expresado en $\text{cm}^2/\text{planta}$.

- Masa Fresca de hojas (MFH): Se extrajo una planta por unidad experimental, luego se hizo el corte transversal por debajo de la inserción de la hoja basal. La medición fue directa utilizando una balanza analítica marca Sartorius QUINTIX 224-1S. de 0.01 g de precisión.
- Masa fresca de raíces (MFR): Una vez separado la parte foliar del sistema radicular, se procedió a pesar toda la raíz. La medición fue directa utilizando una balanza analítica marca Sartorius QUINTIX 224-1S. de precisión 0,01 g.
- Número de hojas (NDH): Después de obtener la imagen para el AF, se recolecto las hojas contabilizando para determinar la cantidad de hojas por planta.
- Masa seca de hojas (MSH): Las hojas frescas de cada planta se colocó sobre una placa petri identificada con el tratamiento y repetición que corresponde, luego se dejó en una estufa sometidas a 75 °C hasta alcanzar el peso constante, posteriormente, se determino el peso en una balanza analítica marca Sartorius QUINTIX 224-1S. de precisión 0,01 g.
- Masa seca de raíces (MSR): Para determinar MSR, también se dejó en una estufa sometida a 75 °C hasta alcanzar el peso constante, luego se pesó con una balanza analítica marca Sartorius QUINTIX 224-1S. de precisión 0,01 g.

Figura 2

Flujograma del procedimiento de evaluación de los parámetros de las variables rendimiento total y calidad de la lechuga var. Tropicana



Nota: PP= peso de planta. MFR= masa fresca de raíz. MFH=masa fresca de hoja. AF= área foliar. NDH= Número de hojas. MSH= masa seca de hoja. MSR= masa seca de raíz.

Figura 3

Primera recolección de muestra de lechuga var. Tropicana a los 7 ddt.



Nota: **A:** Muestras recolectada para su evaluación. **B:** Rotulado de muestra y características de una planta de lechuga var. Tropicana a los 7 ddt.

Figura 4

Distribución de las hojas de lechuga var. Tropicana, para determinar el área foliar.



Nota: **A:** Corresponde a la 1era evaluación del T4R1. **B:** Corresponde a la 5ta evaluación de T4R1.

Figura 5

Muestras de lechuga var. Tropicana en la estufa del laboratorio de la Universidad Nacional de Cañete.



Nota: **A**= Detalle de la distribución de las placas petri con muestras de hojas y raíces de lechuga var. Tropicana sobre la rejilla de la estufa. **B**= Posición de la rejilla con las muestras de hojas y raíces de lechuga en el interior de la estufa.

3.5.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue post test y grupo control en un diseño completamente al azar (DCA) con seis tratamientos y cinco repeticiones, siendo el diseño de investigación el siguiente:

RUE O1	-	O1
RUE O2	X	O2
RUE O3	X	O3
RUE O4	X	O4
RUE O5	X	O5
RUE O6	X	O6

- R : Asignación aleatoria de las unidades experimentales (Canales de cultivo)
- UEi : Unidad experimental i (canales de cultivo de 3 m); donde $i = 1, 2, 3, 4, \dots, 30$
- X : Tratamiento (Número de recirculaciones de la solución nutritiva)
- : Ausencia de tratamientos testigo. (No aplica la recirculación).
- Oi : Una medición de las variables de las unidades elementales.

a. Diseño experimental

El experimento se realizó en un diseño completamente al azar (DCA) conformado por seis tratamientos y cinco repeticiones dispuestos de manera aleatoria, los tratamientos en estudio fueron:

T1: Testigo absoluto. No se aplicó ninguna recirculación.

T2: Una recirculación por día. A las 7:00 horas

T3: Dos recirculaciones por día. A las 7:00 y 18:00 horas

T4: Tres recirculaciones por día. A las 7:00, 15:00 y 18:00 horas

T5: Cuatro recirculaciones por día. A las 7:00, 13:00, 15:00 y 18:00 horas

T6: Cinco recirculaciones por día. A las 7:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 18:00 horas

Las variables, con sus respectivos parámetros de medición fueron

- Rendimiento total
 - Peso de planta
- Calidad
 - Área foliar
 - Masa Fresca de hoja
 - Masa fresca de raíz
 - Número de hojas
 - Masa seca de hoja
 - Masa seca de raíz

Los resultados tienen un arreglo en el modelo lineal como sigue:

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

$i = 1, 2, 3$ (Recirculación de la solución nutritiva)

$j = 1, \dots, n$ (Rendimiento y Calidad)

Y_{ij} : Componentes del rendimiento del j -ésimo Rendimiento y Calidad de la i -ésima

Recirculación de la solución nutritiva.

μ : Componentes del rendimiento y calidad de la lechuga (media general)

τ_i : Efecto de la i -ésima recirculación de la solución nutritiva en los componentes del Rendimiento.

ε_{ij} : Efecto del error experimental en el i -ésima recirculación de la solución nutritiva en

los componentes del rendimiento.

Las características de las unidades experimentales establecidas son:

Área de unidad experimental (UE)	: 0.84 m ²
Área total de UE	: 25.2 m ²
Longitud de la unidad experimental	:3 m
Ancho de la unidad experimental	: 0.28 m
Nº de tratamiento	:6
Número de repeticiones	:5
Distancia entre plantas	:0.2 m
Unidades elementales x Und. Experimental	:12
Población	:600
Muestra	:360

3.5.3. Población y muestra

a. Población.

El experimento estuvo constituido por 600 plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Tropicana, las cuales se distribuyó en 30 unidades experimentales, constituidas por 12 plantas.

b. Tamaño y cálculo de la muestra.

Para determinar el tamaño de la muestra se determinó por el método probabilístico, para lo cual se consideró la ecuación de Castillo et al. (2008) quien considera el 95 % de probabilidades

y un error del 5 %. Las probabilidades del éxito o fracaso (p-q) se consideró el 50 %, quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{(N-1) * e^2 * Z^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra = x

N = Tamaño de la población en estudio

Z = Para un nivel de confianza del 95 % es 1.96

p = Para la probabilidad del éxito al 50 % es 0.5

q = Para la probabilidad del fracaso al 50 % es 0.5

e = El error máximo permitido al 5 % es 0.05

Reemplazando los valores, considerando una población de 600 plantas, el tamaño de muestra determinado fue de 234 plantas de lechuga var. Tropicana.

De acuerdo al tamaño de muestra obtenido de la ecuación, se decidió incrementar la muestra, con el objetivo de tener mayor representatividad. De 600 plantas, 240 se utilizaron como efecto borde, quedando 360 plantas netas para la investigación, distribuidas en 12 plantas por unidad experimental; En ese sentido Lopes Da Luz et al. (2008) para evaluar frecuencias de recirculación de la solución nutritiva consideró 368 plantas, distribuidas en tres tratamientos (frecuencias de cada 15, 30 y 45 minutos), con tres repeticiones.

c. Muestreo

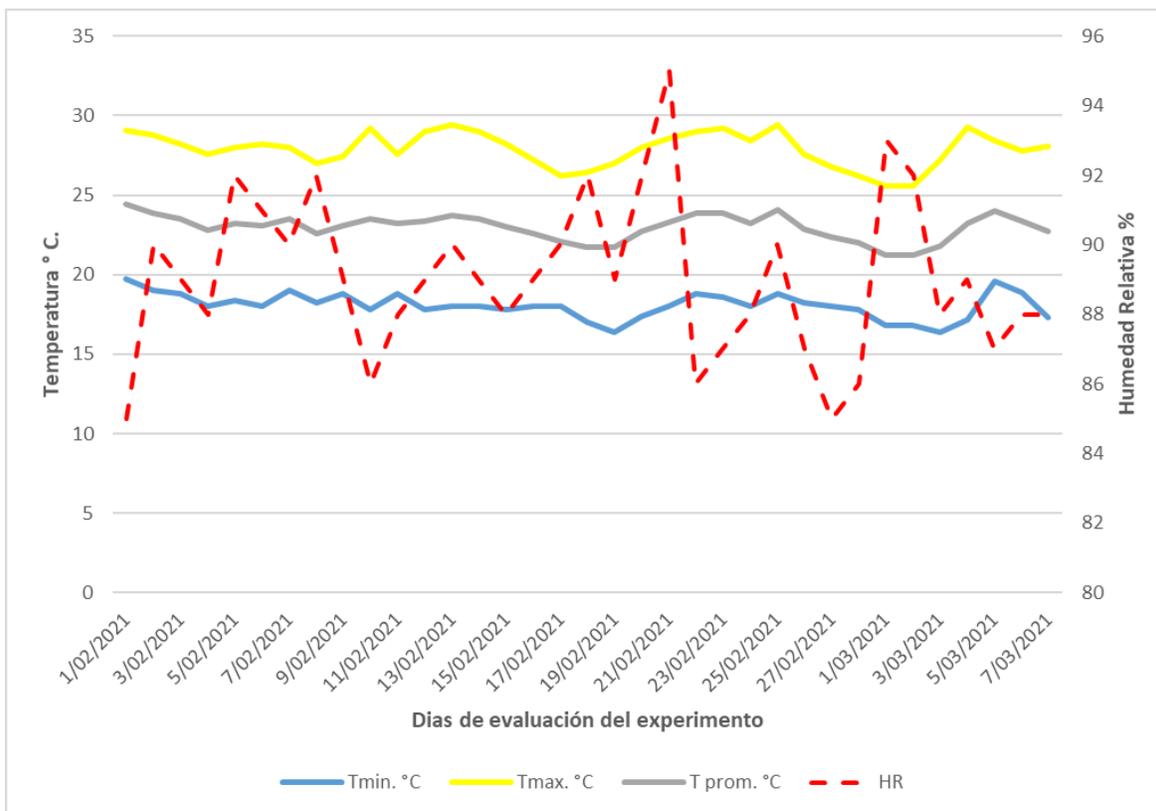
Para la evaluación del rendimiento y calidad de la lechuga, el muestreo fue probabilístico mediante el método de muestreo al azar simple (MAS), sin reposición.

3.5.4. Registro de temperatura y humedad relativa

En la figura 6, se observa la variación de temperatura y humedad relativa durante los 35 días que comprendió la evaluación de las variables; así mismo, la información registrada se puede observar en el Anexo 4. Se utilizó un termómetro digital, la temperatura mínima registrada durante los 35 días fue de 16.4 °C y la máxima de 29.4 °C, haciendo un promedio de 18.06 °C y 27.9 °C de mínima y máxima respectivamente; En cuanto a la humedad relativa el promedio fue 89%.

Figura 6

Registro de temperatura y humedad relativa bajo condiciones de casa malla, en Vista Alegre, distrito de Imperial, de febrero y marzo del 2021



3.5.5. Análisis de datos

Después de haber concluido el trabajo experimental de campo, se procedió a ordenar toda la información, posteriormente se procedió al análisis necesario que todo diseño experimental debe cumplir y los resultados se muestran a continuación:

d. Normalidad de datos

Se verifico mediante la utilización del estadístico Shapiro Wilk, cuyos resultados se observan en el Anexo 5, Tabla 29. Esta prueba permite contrastar la hipótesis de que las muestras obtenidas proceden de poblaciones normales.

Para lo cual se plantea la hipótesis de normalidad para las variables siguientes:

- Peso de planta

H_0 : La distribución de datos del peso de planta vienen de una distribución normal.

H_a : La distribución de datos del peso de planta no vienen de una distribución normal.

- Área foliar

H_0 : La distribución de datos del área foliar vienen de una distribución normal.

H_a : La distribución de datos del área foliar no vienen de una distribución normal.

- Masa fresca de hojas

H_0 : La distribución de datos de la masa fresca de hojas vienen de una distribución normal.

H_a : La distribución de datos de la masa fresca de hojas no vienen de una distribución normal.

- Masa fresca de raíz

H_0 : La distribución de datos de la masa fresca de raíz vienen de una distribución normal.

H_a : La distribución de datos de la masa fresca de raíz no vienen de una distribución normal.

- Masa seca de hojas

H_0 : La distribución de datos de la masa seca de hojas vienen de una distribución normal.

H_a : La distribución de datos de la masa seca de hojas no vienen de una distribución normal.

- Masa seca de raíz

H_0 : La distribución de datos de la masa seca de raíz vienen de una distribución normal.

H_a : La distribución de datos de la masa seca de raíz no vienen de una distribución normal.

- Número de hojas

H_0 : La distribución de datos del número d hojas vienen de una distribución normal.

H_a : La distribución de datos del número de hojas no vienen de una distribución normal.

e. Homogeneidad de varianza

Se realizó con la prueba de Bartlett, que contrasta la hipótesis de que los grupos definidos por la variable factor proceden de poblaciones con la misma varianza. Los resultados se observan en el Anexo 5.

$H_0: \delta^2_1 = \delta^2_2 = \delta^2_3 = \delta^2_4 = \delta^2_5 = \delta^2_6$ (Las varianzas poblacionales de las variables en estudio son homogéneas).

$H_a: \delta^2_1 \neq \delta^2_2 \neq \delta^2_3 \neq \delta^2_4 \neq \delta^2_5 \neq \delta^2_6$ (Las varianzas poblacionales de las variables en estudio son heterogéneas)

f. Análisis de Varianza (ANVA)

Para el análisis estadístico de la variable de rendimiento total, se realizo el ANVA con los valores obtenidos del peso de planta a los 35 ddt, que corresponde a la última evaluación del experimento, a traves de ello se obtuvo el promedio y se expreso en t.ha⁻¹. Respecto al análisis estadístico de la variable calidad, se realizo el ANVA para área foliar, masa fresca de hoja y raíz, masa seca de hoja y raíz, número de hojas, a los 7, 14, 21, 28 y 35 ddt. Posteriormente se realizó la prueba de comparación de medias con Duncan a un nivel de probabilidades de 95%. El método de Duncan separa conjuntos de menos tratamientos al seleccionar los tratamientos con igual media que el mayor, mientras que el método de Tukey separa conjuntos con mayor número de

tratamientos y además el método de Tukey es demasiado conservador (García-Villalpando et al., 2001).

Los datos recolectado del experimento se encuentran en el Anexo 3, Tabla 23, 24, 25, 26 y 27. Así mismo en el Anexo 5, Tabla 28 se presenta un resumen de los resultados del prueba de normalidad y homogeneidad de varianza.

Capítulo IV: Resultados de los datos procesados discusión

4.1. Efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en el rendimiento de la lechuga var. Tropicana.

4.1.1. Peso de planta (PP)

En la Tabla 6, los resultados del ANVA a los 35 ddt. para el peso de planta indican que, si hay diferencia significativa, con un pValor de 2.58E-11 y un coeficiente de variabilidad del 14.64 %. Así mismo en la Tabla 7, se resumen los resultados de comparación de medias según Duncan, el cual determina como mejores tratamientos a T6 (444.89 g/planta) y T5 (434.29 g/planta) a comparación del testigo T1 (101.79 g/planta). Así mismo mediante el diagrama de caja se puede observar que la dispersión de datos en T6 y T5 es menor respecto a T4, además en T3 y T2 hay valores extremos fuera del promedio (Figura 7). Cabe mencionar que el promedio de peso de planta a los 35 ddt (última evaluación) fue de 273 g/planta.

Tabla 6 Análisis de varianza de peso de planta de lechuga var. Tropicana a los 35 ddt (5ta evaluación)

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Tratamiento	5	423062	84612	43.99	2.58E-11**
Residual	24	46161	1923		
Total	29				
CV.					14.64 %

Nota: GL = Grado de libertad. SC = Suma de cuadrados. MC = Media cuadrática
N.S. = No Significativo. ** Significativo. CV = Coeficiente de variabilidad.

Tabla 7

Comparación de medias de Duncan para peso (g/planta) de lechuga var. Tropicana, con significancia estadística.

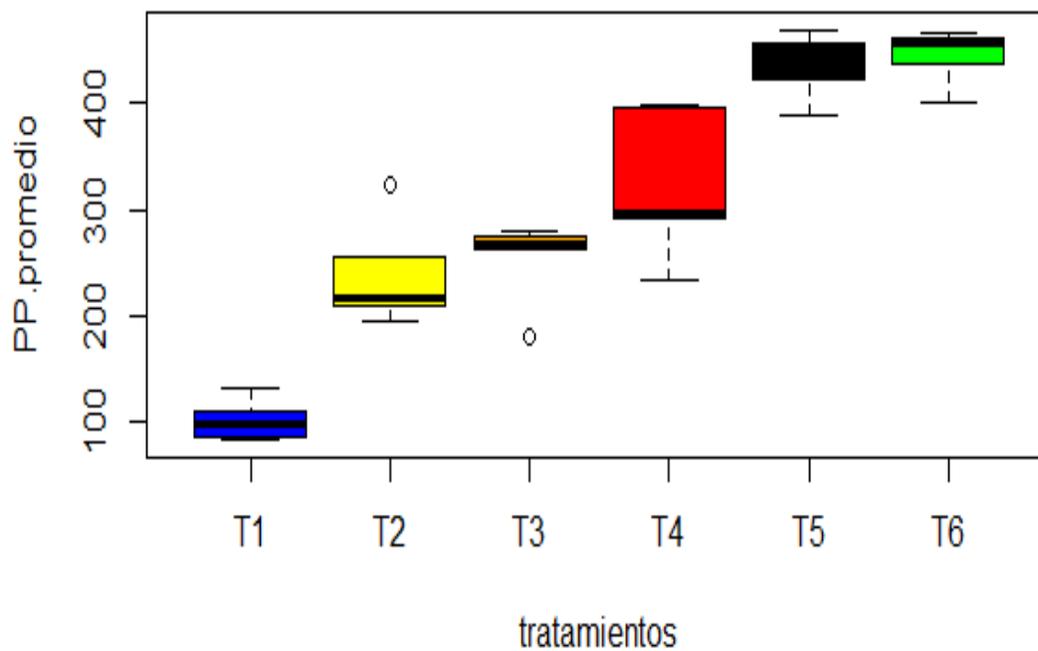
T	RSN. (Num.día⁻¹)	Peso Planta (g)	Prueba de Duncan (*)
T₆	5	444.89	T6 444.890 a
T₅	4	434.29	T5 434.288 a
T₄	3	323.22	T4 323.222 b
T₃	2	253.14	T3 253.144 c
T₂	1	240.29	T2 240.286 c
T₁	0	101.79	T1 101.792 d
ANVA			**
C.V.			14.65%

Nota: T= Tratamiento. RSN = Número de recirculación de la solución nutritiva por día. *

Las medias no seguidas por la misma letra difieren significativamente entre sí. Prueba DUNCAN al 5%. ** Significativo. C.V. Coeficiente de variabilidad.

Figura 7

Diagrama de caja del peso de planta (g) de lechuga var. Tropicana a los 35 ddt.



4.1.2. Rendimiento total ($t \cdot ha^{-1}$)

Se determinó a través del promedio obtenido de la suma del peso de planta de cada tratamiento, los datos correspondieron a la última evaluación, con plantas de 35 ddt. En la tabla 8, se observa el resumen del rendimiento total obtenido en cada uno de los tratamientos. Los mejores resultados alcanzaron rendimientos de $73.84 t \cdot ha^{-1}$ (T6) y $72.10 t \cdot ha^{-1}$ (T5), respecto al testigo $16.90 t \cdot ha^{-1}$ (T1). Tal como se indicó en el peso de planta, si existen diferencia significativa entre los tratamientos evaluados. Así mismo, frecuencias mayores a cinco recirculaciones por día no tendría influencia en el rendimiento total.

Tabla 8

Rendimiento total (t.ha⁻¹) de la lechuga Var. Tropicana, con prueba de comparación de medias de Duncan

T	RSN. (Num.día⁻¹)	Rendimiento (t ha⁻¹)	Prueba de Duncan. (*)	
T₆	5	73.84	T6 73.84	a
T₅	4	72.10	T5 72.10	a
T₄	3	53.66	T4 53.66	b
T₃	2	42.02	T3 42.02	c
T₂	1	39.90	T2 39.90	c
T₁	0	16.90	T1 16.90	d

Nota: T= Tratamiento. RSN.(Num.día-1) = Recirculación de la solución nutritiva por día.

En esta investigación, los tratamientos T₆ (444.89 g) y T₅ (434.29 g), tuvieron mejores pesos de planta, los cuales concuerdan con los resultados de Djidonou & Leskovar (2019) donde señalan que con recirculación continua de día y noche obtuvieron un peso de planta promedio de 365 g, de igual manera Jackes y Hernández (2005) en su sistema de recirculación continua de la solución, alcanzo 400 g de peso de planta. Por otro lado, Cevallos (2020) con ocho recirculaciones por día logro el peso máximo promedio de 204.17 g por planta, en la variedad Starfighter, el bajo peso obtenido posiblemente este asociado a las temperatura, ya que se observa en su investigación plantas etioladas a los 60 días de la siembra, cabe resaltar que dicha variedad es recomendada para siembras en invierno.

Referente a resultados de peso de planta, las recirculaciones de alta frecuencia o continuas no muestra un efecto significativo con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Con respecto al rendimiento total los mejores resultados se obtuvo con T6 (73.84 t.ha⁻¹) y T5 (72.10 t.ha⁻¹), resultados similares obtuvo Cevallos (2020) quien evaluó ocho recirculaciones de la solución nutritiva diarias alcanzando rendimientos de 24.09 t.ha⁻¹. Así mismo, Djidonou & Leskovar (2019) obtuvieron rendimientos de 126 t.ha⁻¹, con el cultivar Sparx en época de primavera, la diferencia de rendimiento con respecto al presente experimento, está asociada a la densidad de plantas por hectárea y no al efecto de la alta frecuencia de las recirculaciones de la solución nutritiva.

Por lo tanto, en el presente experimento, es favorable optar por cuatro recirculaciones diaria de la solución (T4), ya que fue uno de los mejores tratamientos, pero con menores gastos, lo cual concuerda con Lopes da Luz et al. (2008) quien, afirma que no hay diferencia significativa entre recirculaciones de alta frecuencia y continuas entre los tratamientos, siendo las frecuencias intermitentes la más favorable debido a que hay un ahorro significativo en costo de energía.

4.2. Efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en la calidad de la lechuga

4.2.2. Área foliar (AF)

En la Tabla 9, los resultados del ANVA para el área foliar indican que hasta los 14 días del trasplante no hay diferencia significativa, a los 21, 28 y 35 ddt., muestra diferencia significativa, con un coeficiente de variabilidad del 12.51%. Así mismo en la Tabla 10, se resumen los resultados de comparación de medias según Duncan, el cual determina a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (7575.83 cm² /planta) y T5 (7346.71 cm²/planta) a comparación del testigo T1

(2365.32 cm²/planta). Cabe mencionar que el promedio del área foliar de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 5103.48 cm²/planta).

En la figura 8, se observa los valores del área foliar a los 7, 14, 21, 28 y 35 ddt. A partir de los 21 ddt. se incrementa debido a que el contenido de nutrientes minerales y oxígeno en la solución no son los suficiente, para las plantas que se desarrolla en condiciones de cero recirculaciones, estas condiciones han generado una reducción del ritmo del crecimiento radicular, lo cual se manifiesta en un bajo crecimiento de las hojas, por lo tanto, menor área foliar.

Tabla 9

Análisis de varianza del área foliar de la planta de lechuga, var. Tropicana en cinco evaluaciones

T	GL	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
Tratamiento	5	N.S.	N.S.	**	**	**
Residual	24					
CV		15.95 %	17.56 %	15.82%	16.37%	12.51%

Nota: T= Tratamiento. GL= Grado de libertad. N.S. = No Significativo; ** Significativo. CV = Coeficiente de variabilidad.

Tabla 10

Prueba de comparación de medias con Duncan del área foliar (cm²/planta) de lechuga var.

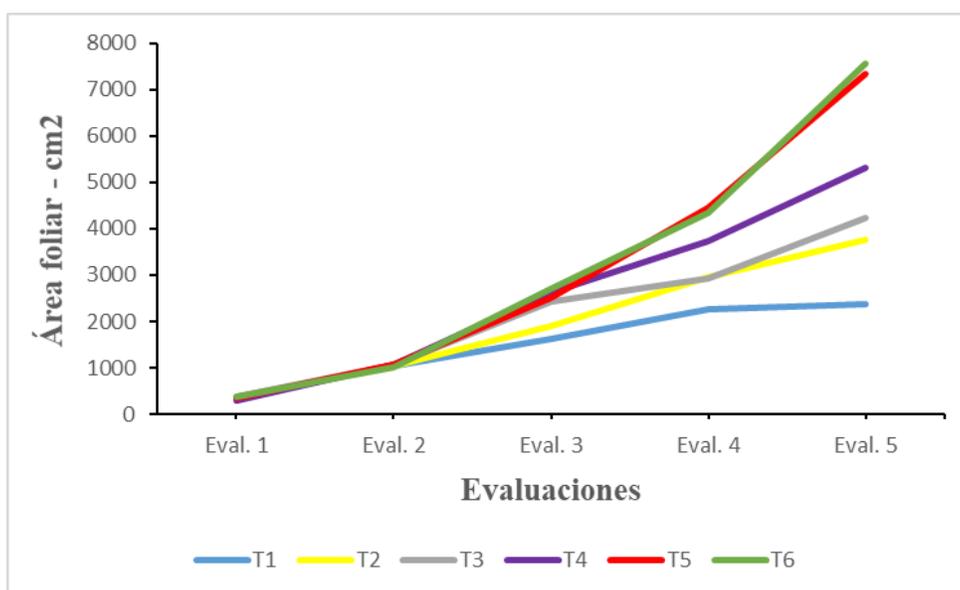
Tropicana en cinco evaluaciones, con significancia estadística

Orden de merito	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
1	T1 387.286 a	T4 1059.232 a	T6 2692.996 a	T6 4456.384 a	T6 7575.829 a
2	T3 380.902 ab	T5 1059.002 a	T4 2619.572 a	T5 4331.476 a	T5 7346.711 a
3	T6 376.582 ab	T3 1055.110 a	T5 2506.666 a	T4 3724.720 a	T4 5325.875 b
4	T2 367.546 ab	T2 1049.146 a	T3 2425.170 a	T2 2956.538 b	T3 4242.926 c
5	T5 352.838 ab	T1 1043.888 a	T2 1890.640 b	T3 2918.522 b	T2 3764.216 c
6	T4 299.250 b	T6 1010.520 a	T1 1621.860 b	T1 2262.942 b	T1 2365.325 d

Nota: Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 8

Evolución del crecimiento del área foliar de hoja de lechuga var. Tropicana, de los tratamientos durante las cinco evaluaciones realizados en el experimento.



4.2.3. Masa fresca de hojas (MFH)

En la Tabla 11, los resultados del ANVA para masa fresca de hojas indican que, a los 7 y 14 ddt. no hay diferencia significativa, a los 21, 28 y 35 ddt. Si hay diferencia significativa, con un coeficiente de variabilidad del 15.18 %; Así mismo, en la Tabla 12, se resumen los resultados de comparación de medias según Duncan, el cual determina que a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (433.302 g/planta) y T5 (422.83 g/planta) a comparación del testigo T1 (92.32 g/planta). Cabe mencionar que el promedio de la MFH de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 288.85 g/planta.

En la figura 9, se observa los valores de MFH a los 7, 14, 21, 28 y 35 ddt. El crecimiento es ascendente hasta la tercera evaluación, a partir de la cuarta, T1, no muestra incremento de MFH, por el contrario, se observó síntomas de estrés hídrico, lo cual se manifiesta en pérdida de MFH, debido a la necrosis radicular generado por la deficiencia de oxígeno en la solución nutritivas.

Tabla 11

Análisis de varianza para masa fresca de hojas en planta de lechuga, Var. Tropicana en cinco evaluaciones realizadas en el experimento

T	GL	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
Tratamiento	5	N.S.	N.S.	**	**	**
Residual	24					
CV		20.56 %	26.64 %	21.3%	15.39 %	15.18 %

Nota: T=Tratamiento. GL= Grado de libertad. N.S. = No Significativo; ** Significativo. CV =

Coficiente de variabilidad.

Tabla 12

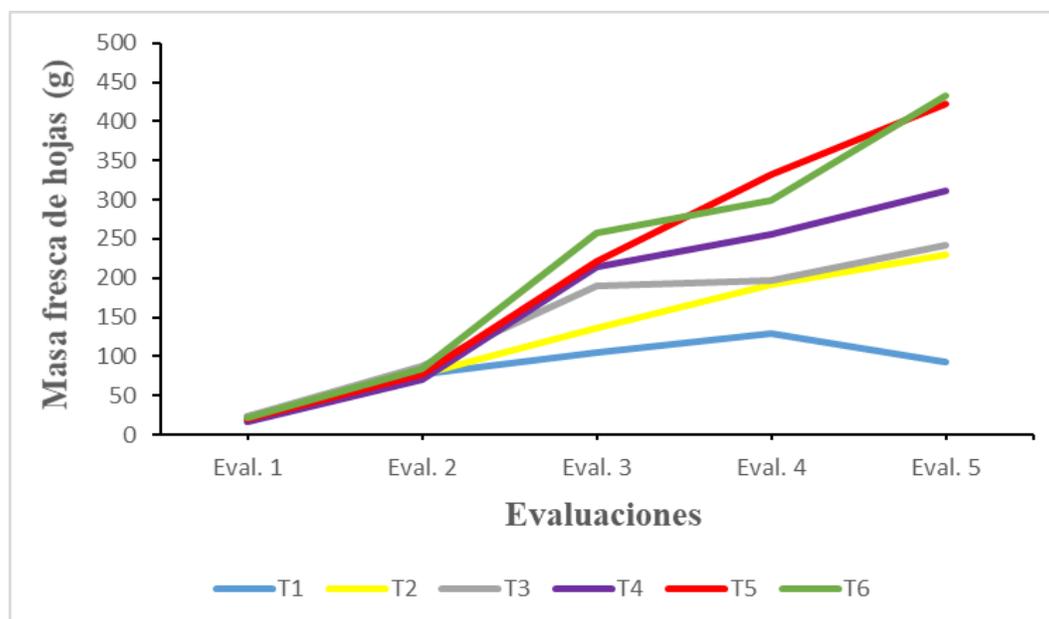
Prueba de Comparación de medias con Duncan para masa fresca de hoja (g/planta) de lechuga var. Tropicana, con significancia estadística

Orden de merito	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
1	T1 22.674 a	T3 88.020 a	T6 257.488 a	T6 331.588 a	T6 433.302 a
2	T3 22.642 a	T6 83.914 a	T5 221.044 ab	T5 299.920 ab	T5 422.828 a
3	T6 21.372 ab	T2 77.636 a	T4 214.520 ab	T4 255.672 b	T4 312.230 b
4	T5 19.326 ab	T5 76.956 a	T3 189.966 b	T3 196.178 c	T3 242.408 c
5	T2 19.216 ab	T1 76.408 a	T2 135.734 c	T2 192.378 c	T2 230.028 c
6	T4 16.132 b	T4 69.580 a	T1 104.418 c	T1 130.064 d	T1 92.322 d

Nota: Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 9

Evolución del crecimiento de la masa fresca de hoja de lechuga var. Tropicana, de los tratamientos, durante las cinco evaluaciones realizadas en el experimento



4.2.4. Masa fresca de raíz (MFR)

En la Tabla 13, los resultados del ANVA para masa fresca de raíz, a los 7, 14 y 28 ddt. no hay diferencia significativa, a los 21 y 35 ddt hay diferencia significativa, con un coeficiente de variabilidad de 18.48 %; Así mismo, en la Tabla 14, se resumen los resultados de comparación de medias según Duncan, el cual determina a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (62.44 g/planta) y T5 (56.29 g/planta) a comparación del testigo T1 (17.45 g/planta). Cabe mencionar que el promedio de la MFR de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 41.89 g/planta.

En la figura 10, se observa los valores de MFR a los 7, 14, 21, 28 y 35 ddt. El crecimiento es ascendente hasta la tercera evaluación, a partir de la cuarta, T1 reduce de manera considerable su MFR, debido a la pérdida de tejido radicular necrosados como consecuencia de una deficiencia severa de oxígeno en la solución nutritivas, similar comportamiento sucedió con T2, T3 y T4. Sin embargo, T5 y T6, siguieron la curva ascendente en MFR por lo que el oxígeno y nutrientes minerales de la solución estuvieron en niveles óptimos para un desarrollo normal de las raíces.

Tabla 13

Análisis de varianza para masa fresca de raíz en la planta de lechuga, var. Tropicana en 5 evaluaciones

T	GL	1era eval. 7ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
Tratamiento	5	N.S.	N.S.	**	N.S.	**
Residual	24					
CV		23.8 %	18.02 %	15.78 %	20.54 %	18.48%

Nota: T= Tratamiento. GL= Grado de libertad. N.S.= No Significativo. ** Significativo. CV =

Coficiente de variabilidad.

Tabla 14

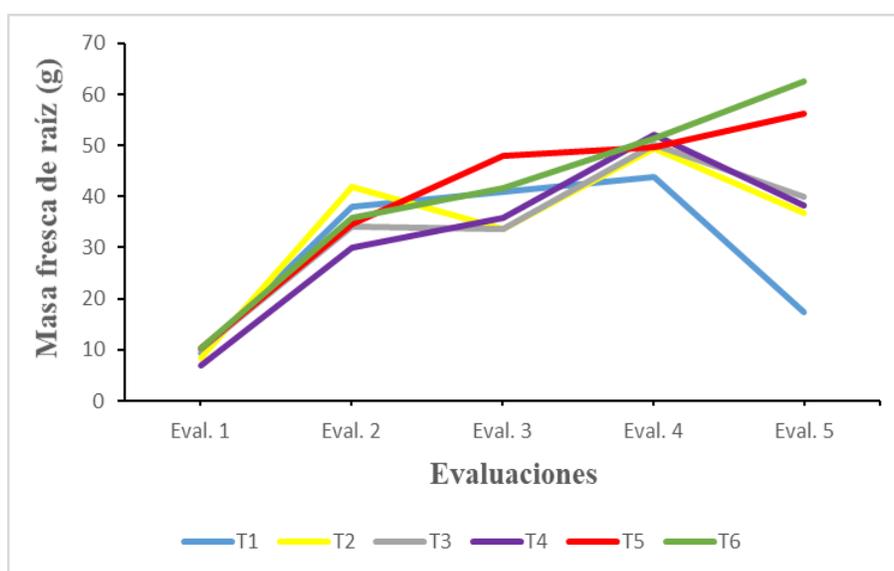
Prueba de Comparación de medias con Duncan para masa fresca de raíz (g/planta) de lechuga var. Tropicana, en cinco evaluaciones, con significancia estadística

Orden de merito	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
1	T6 10.328 a	T2 41.852 a	T5 47.976 a	T4 51.998 a	T6 62.444 a
2	T5 10.252 a	T1 37.962 ab	T6 41.644 ab	T5 51.484 a	T5 56.294 a
3	T3 10.138 a	T6 35.776 ab	T1 40.950 ab	T3 50.094 a	T3 39.998 b
4	T1 9.436 ab	T5 34.514 ab	T4 35.934 b	T6 49.578 a	T4 38.250 b
5	T2 8.354 ab	T3 34.110 ab	T3 33.572 b	T2 49.406 a	T2 36.918 b
6	T4 6.978 b	T4 29.968 b	T2 33.552 b	T1 43.914 a	T1 17.454 c

Nota: Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 10

Evolución del crecimiento de la masa fresca de raíz de lechuga var. Tropicana de los tratamientos durante las cinco evaluaciones realizadas en el experimento.



4.2.5. Número de hojas (NDH)

En la Tabla 15, los resultados del ANVA para número de hojas se observa a los 7 ddt. hay diferencia significativa, el cual está asociado a las diferencias procedentes del vivero. A los 14 días no hay diferencia significativa y a partir de los 21 hasta los 35 ddt hay diferencia significativa, con un coeficiente de variabilidad de 9.74 %. Así mismo en la Tabla 16, se resumen los resultados de comparación de medias según Duncan, el cual determina que a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (40 hojas/planta) y T5 (38 hojas/planta) a comparación del testigo T1 (22.4 hojas/planta). Cabe mencionar que el promedio del NDH de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 31.56 hojas/planta.

En la figura 11, se observa los valores de NDH a los 7, 14, 21, 28 y 35 ddt. El crecimiento es ascendente para todos los tratamientos. Sin embargo, a partir de los 28 días el incremento de número de hojas es mayor en T6 y T5 respecto a T1, lo cual se atribuyen a la deficiencia de nutrientes y oxígeno en la solución, en condiciones de cero recirculaciones (T1), consecuencia de ello ha provocado la inhibición de formación de nuevas hojas. Sin embargo, en las condiciones de los tratamientos de cuatro y cinco recirculaciones, fueron óptimos, por tal razón el suministro de nutrientes y oxígeno permitió la formación de tejidos vegetativos.

Tabla 15

Análisis de varianza para número de hojas en la planta de lechuga, var. Tropicana en cinco evaluaciones

T	GL	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
Tratamiento	5	**	N.S.	**	**	**
Residual	24					
CV		7.30 %	6.33 %	12.10 %	9.23 %	9.74 %

Nota: T= Tratamiento. GL= Grado de libertad. N.S. = No Significativo; ** Significativo. CV = Coeficiente de variabilidad.

Tabla 16

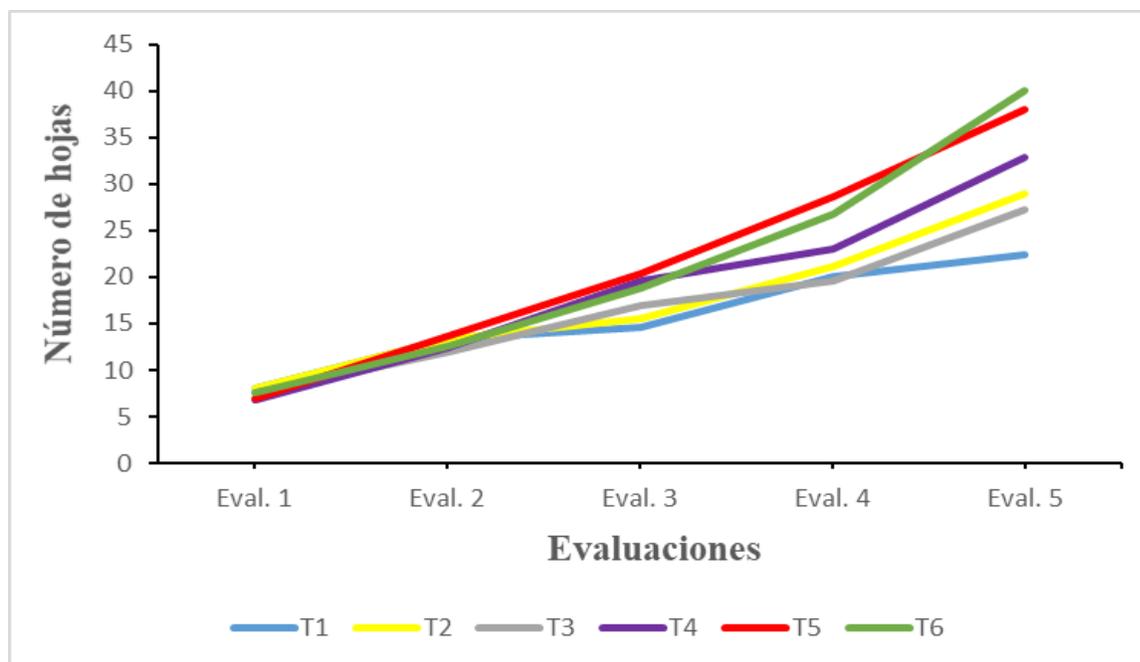
Prueba de Comparación de medias con Duncan para número de hojas en planta de lechuga var. Tropicana, en cinco evaluaciones, con significancia estadística

Orden de merito	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
1	T1 8.0 a	T5 13.6 a	T5 20.4 a	T6 28.6 a	T6 40.0 a
2	T2 8.0 a	T1 13.4 ab	T4 19.6 ab	T5 26.8 a	T5 38.0 a
3	T3 7.6 ab	T2 13.4 ab	T6 18.8 ab	T4 23.0 b	T4 32.8 b
4	T6 7.6 ab	T6 12.6 abc	T3 17.0 bc	T2 21.2 bc	T2 29.0 bc
5	T5 7.0 bc	T4 12.4 bc	T2 15.6 c	T1 20.0 c	T3 27.2 c
6	T4 6.8 c	T3 12.0 c	T1 14.6 c	T3 19.6 c	T1 22.4 d

Nota: Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 11

Evolución del número de hojas en planta de lechuga var. Tropicana durante los 35 ddt.



4.2.6. Masa seca de hoja (MSH)

En la Tabla 17, los resultados del ANVA para la masa seca de hoja, se observa que no hay diferencia significativa a los 7 y 14 ddt a partir de los 21 ddt. si hay diferencia, siendo significativo a los 28 y 35 ddt. con un coeficiente de variabilidad de 13.40 %. Así mismo en la Tabla 18, se resumen los resultados de comparación de medias según Duncan, el cual determina que a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (33.88 g/planta) y T5 (31.08 g/planta) a comparación del testigo T1 (6.89 g/planta). Cabe mencionar que el promedio de la MSH de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 20.89 g/planta.

En la figura 12, se observa los valores evaluados de MSH a los 7, 14, 21, 28 y 35 ddt. El crecimiento es ascendente para todos los tratamientos. Sin embargo, a partir de los 28 días el efecto de los niveles de oxígeno y nutriente minerales, empiezan a ser notorio en los tratamientos

mediante la diferencia de MSH, siendo aún más evidente a los 35 ddt. resultando condiciones óptimas para T6 y T5, y deficientes en T1.

De acuerdo a los resultados se observa que la formación de biomasa de la planta de lechuga, depende directamente de los niveles óptimos de nutrientes minerales y oxígeno en la solución, es por ello que, en condición de cero recirculaciones (T1), afecta al cultivo en la respiración aeróbica de las raíces. Este efecto negativo también llamado anoxia reduce la absorción de agua y sales minerales, por ello la planta no tiene los recursos nutricionales suficientes para alcanzar valores altos de masa seca de hojas.

Tabla 17

Análisis de varianza para masa seca de hoja en la planta de lechuga, var. Tropicana en 5 evaluaciones

T	GL	1era eval. 7ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
Tratamiento	5	N.S.	N.S.	**	**	**
Residual	24					
CV		19.17 %	30.59 %	20.63 %	18.84 %	13.4 %

Nota: T= Tratamiento. GL= Grado de libertad. N.S.= No Significativo; ** Significativo. CV = Coeficiente de variabilidad.

Tabla 18

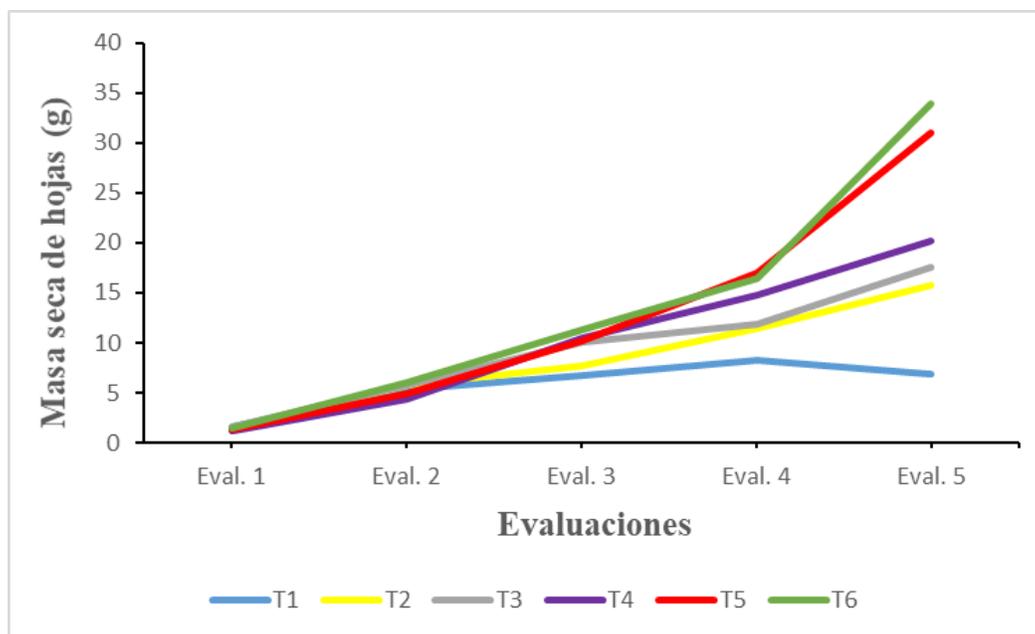
Prueba de Comparación de medias con Duncan para masa seca de hoja (g/planta) de lechuga var. Tropicana, en cinco evaluaciones, con significancia estadística

Orden de merito	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
1	T1 1.616 a	T6 5.984 a	T6 11.342 a	T6 16.972 a	T6 33.876 a
2	T3 1.576 a	T2 5.780 a	T4 10.512 a	T5 16.460 a	T5 31.088 a
3	T6 1.486 ab	T3 5.758 a	T5 10.208 ab	T4 14.808 ab	T4 20.238 b
4	T2 1.474 ab	T1 5.312 a	T3 10.002 ab	T3 11.804 b	T3 17.518 bc
5	T5 1.354 ab	T5 4.992 a	T2 7.712 bc	T2 11.398 bc	T2 15.776 c
6	T4 1.140 b	T4 4.434 a	T1 6.694 c	T1 8.302 c	T1 6.888 d

Nota: Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 12

Evolución de la MSH de la planta de lechuga var. Tropicana durante los 35 ddt.



4.2.7. Masa seca de raíz (MSR)

En la Tabla 19, los resultados del ANVA para la masa seca de raíz, se observa que no hay diferencia significativa a los 7, 14 y 21 ddt. a los 28 ddt. si hay diferencia, significativa a los 35 ddt. con un coeficiente de variabilidad de 13.63 %. Así mismo en la Tabla 20, se resumen los resultados de comparación de medias según Duncan, el cual determina que a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (3.15 g/planta) y T5 (2.90 g/planta) a comparación del testigo T1 (1.14 g/planta). El promedio de la MSR de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 2.07 g/planta.

En la figura 13, se observa los valores evaluados de MSR a los 7, 14, 21, 28 y 35 ddt. El crecimiento es ascendente para todos los tratamientos, a partir de los 28 días el crecimiento es menor en T1, T2, T3 y T4, a comparación de T5 y T6. Estas diferencias están asociadas directamente a los niveles óptimos de nutrientes minerales y oxígeno en la solución, es por ello que, en condiciones de cero recirculaciones (T1), el cultivo se ve afectado en la respiración aeróbica de las raíces. Este efecto negativo también llamado anoxia inhibe la formación de nuevos pelos absorbentes. En el caso de T1, a los 35 ddt., se reduce la MSR, debido a la necrosis de pelos absorbentes, consecuencia de ello el desprendimiento de tejido muerto del sistema radicular, por lo tanto, una reducción significativa de la MSR.

Tabla 19

Análisis de varianza para masa seca de raíz en la planta de lechuga, var. Tropicana en cinco evaluaciones.

T	GL	1era eval. 7ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
Tratamiento	5	N.S.	N.S.	N.S.	**	**
Residual	24					
CV		20.51 %	22.35 %	20.2 %	30.3 %	13.63 %

Nota: T=Tratamiento. GL= Grado de libertad. N.S. = No Significativo. ** Significativo. CV = Coeficiente de variabilidad.

Tabla 20

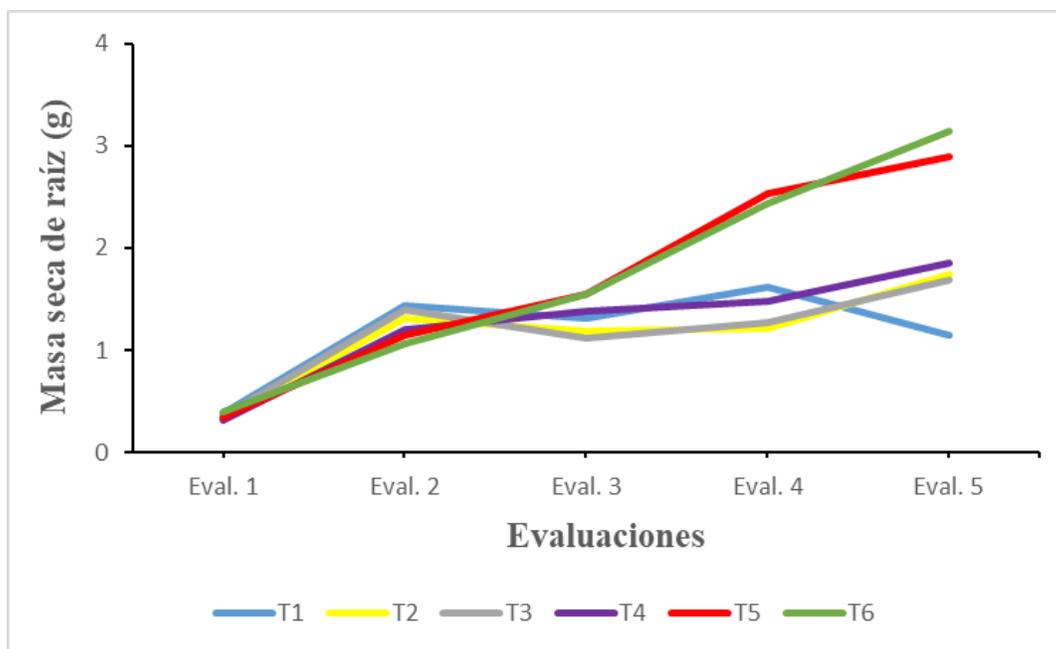
Prueba de Comparación de medias con Duncan para masa seca de raíz (g/planta) de lechuga var. Tropicana, en cinco evaluaciones, con significancia estadística

Orden de merito	1era eval. 7 ddt.	2da eval. 14 ddt.	3ra eval. 21 ddt.	4ta eval. 28 ddt.	5ta eval. 35 ddt.
1	T6 0.392 a	T1 1.432 a	T5 1.546 a	T6 2.532 a	T6 3.150 a
2	T1 0.380 a	T3 1.394 a	T6 1.542 a	T5 2.436 a	T5 2.900 a
3	T3 0.356 a	T2 1.318 a	T4 1.380 ab	T1 1.614 b	T4 1.856 b
4	T5 0.338 a	T4 1.194 a	T1 1.308 ab	T4 1.482 b	T2 1.738 b
5	T2 0.328 a	T5 1.152 a	T2 1.182 ab	T3 1.272 b	T3 1.684 b
6	T4 0.318 a	T6 1.064 a	T3 1.124 b	T2 1.218 b	T1 1.144 c

Nota: Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Figura 13

Evolución de la MSR de la lechuga var. Tropicana a los 35 ddt. (5ta evaluación)



En el presente experimento se obtuvo los mejores resultados en área foliar con T6 (7575.83 cm²/planta) y T5 (7346.71 cm²/planta), lo cual concuerda con Djidonou & Leskovar (2019) quienes consiguieron un área foliar de 7354.28 cm²/planta, pero con recirculación continua de día y noche. Así mismo, Lopes da Luz et al. (2008) con 16 recirculaciones de la solución alcanzaron 3229.6 cm² de área foliar por planta. Por consiguiente, para mantener la concentración óptima de oxígeno y nutrientes minerales en la solución nutritiva, requeridos para el desarrollo normal del área foliar solo es necesario de cuatro hasta cinco recirculaciones diarias.

Con respecto a la MFH, los mejores resultados se obtuvieron con T6 (433.30 g/planta) y T5 (422.83 g/planta), difieren de los resultados de Rivera (2015) quien, realizó un comparativo en rendimiento y peso fresco de planta, en las variedades Waldmann's Green, White Boston y Grands Rapids TBR, bajo condiciones de recirculación continua diurnas, lo cual alcanzo a los 35 ddt

154.54 g/planta de masa fresca de hoja promedio con la variedad Waldmann's Green. El bajo valor obtenido, posiblemente está asociado a la temperatura máxima alcanzada durante su investigación (31.3 °C). En ese sentido Smith et al. (2011) manifiestan que la lechuga es de estación fría, la temperatura óptima de crecimiento es de 23 °C en el día y 7 °C por la noche, cuando la temperatura supera el máximo óptimo podría causar un alargamiento de entrenudo debido a la emisión prematura del tallo floral, por consecuente menor incremento de masa fresca de hoja. De acuerdo a Razzaq et al. (2018) concluyeron que, en condiciones de recirculación continua de día, el valor máximo promedio de masa fresca de hoja es de 236.67 g/planta. Por lo tanto, las altas frecuencias de recirculación aplicados por los autores citados no han generado diferencias significativas, con respecto a los resultados del experimento.

En cuanto a la MFR, los mejores resultados se obtuvieron con T6 (62.44 g/planta) y T5 (56.29 g/planta) resultados similares obtuvo Genuncio et al (2012) quienes evaluaron diferentes concentraciones iónicas en las variedades Lucy Brown, Izabela y Veneza, con 48 ciclos de recirculación en el día y cuatro en la noche, cada ciclo de 15 minutos de recirculación. La evaluación fue hasta los 45 ddt, siendo la variedad Lucy Brown como el mejor tratamiento con un valor máximo de 38.8 g/planta de MFR. Cabe mencionar que, en el presente experimento, a los 35 ddt. en la raíz del T1, se observó necrosis en los pelos absorbentes los cuales fueron desprendiéndose como tejido muerto del sistema radicular, por tal motivo los valores de la MFR, se redujo significativamente en la 5ta evaluación respecto a la 4ta evaluación.

Referente a los NDH, se obtuvo los mejores resultados con T6 (40 hojas/planta) y T5 (38 hojas/planta), los cuales concuerdan con los resultados de Razzaq et al. (2018) quienes obtuvieron 40 hojas/planta, pero con recirculación continua de la solución. Por otro lado, Cevallos (2020) con ocho frecuencias de recirculación durante el día alcanzo un valor de 28.58 hojas/planta en la

variedad Starfighter a los 60 ddt. Así mismo, Ramírez (1995) afirma que el número de hojas no se ve favorecido en recirculaciones continuas respecto al tratamiento intermitente.

En cuanto a la MSH, se logró los mejores resultados con T6 (33.88 g/planta) y T5 (31.08 g/planta) resultados similares obtuvieron Razzaq et al. (2018) en condiciones de recirculación continua durante el día, lograron obtener 15.3 g/planta de MSH.

Respecto a la MSR, los mejores resultados se obtuvieron con T6 (3.15 g/planta) y T5 (2.9 g/planta) los cuales concuerdan con los resultados de Ramírez (1995) que, en condiciones de flujo continuo de día y detención en la noche, obtuvo 1.1g de masa seca de raíz, resultados similares lograron Lopes da Luz et al (2008) 0.91 g/planta. Así mismo, Thakulla et al. (2021) en un sistema de recirculación continua obtuvieron 1.1 g/planta de MSR y afirma que en condiciones de altas temperatura prolongada podría ser deficiente el oxígeno en la raíz, provocando un deficiente crecimiento radicular y hojas, a su vez los hace vulnerable a la infección de enfermedades.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Bajo las condiciones en las que fue realizado el presente experimento, se puede concluir:

- La recirculación de la solución nutritiva tiene un efecto positivo sobre el rendimiento de la lechuga var. Tropicana, siendo los mejores resultados de 73.84 t.ha⁻¹ (T6) y 72.10 t.ha⁻¹ (T5), respecto al testigo 16.90 t.ha⁻¹ (T1), para lo cual hubo una influencia directa en el peso de planta y número de hojas.
- La recirculación de la solución nutritiva tiene un efecto positivo sobre la calidad de la lechuga var. Tropicana, logrando mejores resultados en el Área foliar de 7575.83 cm²/planta (T6) y 7346.71 cm²/planta (T5). Así mismo en masa fresca de hoja 433.30 g/planta (T6) y 422.83 g/planta (T5), cabe resaltar que también hubo una marcada diferencia respecto al testigo en la masa seca de hojas y raíces.

5.2. Recomendaciones

Bajo las condiciones en las que fue desarrollado el presente experimento, se recomienda:

- Ajustar la programación de recirculación de la solución nutritiva a cuatro frecuencias por día con un tiempo de riego de 15 minutos, ya que la reducción no causará efectos negativos en el rendimiento y calidad.
- Validar el uso de esta tecnología con cuatro recirculaciones de la solución nutritiva, si el uso de corriente eléctrica continua para la automatización del encendido de la electrobomba.
- Para futuras investigaciones evaluar diferentes frecuencias de recirculaciones diarias de la solución nutritiva en época de invierno. Así como también cuatro y cinco frecuencias de recirculaciones diarias, en diferentes variedades de lechuga.

Referencias Bibliográficas

- Al-Tawaha, A. R., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A. R., Sirajuddin, S. N., Makhadmeh, I., Wahab, P. E. M., Youssef, R. A., Al Sultan, W., & Massadeh, A. (2018). Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient film technique (NFT) under hydroponics conditions [Efecto del caudal de agua sobre la cantidad y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la técnica de película. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24(5), 793–800. <https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/328532184>
- America, P. I. de N. de centro, & .(INCAP). (2006). *Hidroponia: Sistema de cultivo NFT*.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía* (Universidad de la Plata (ed.); Primera).
- https://doi.org/http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2013). Experiencia de producción de lechuga americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT. *Tecnología En Marcha*.
- Brenes Peralta, L., & Jiménez Morales, M. F. (2014). *Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT (Nutrient Film Technique)* (1a edición).
- <https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/291072384>
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante (“NFT”)* ((Universidad de Talca) (ed.); 1a ed.).
- <https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/268630893>
- Castillo, J., Guillen, A., & Badii, M. H. (2008). Tamano optimo de la muestra (Optimum sample

size). *Innovaciones de Negocios*, 5(1), 53–65.

http://www.web.facpya.uanl.mx/rev_in/Revistas/5.1/A5.pdf

Cevallos, M. M. R. (2020). *Aplicación de soluciones nutritivas en variedades de lechuga en cultivo hidropónico bajo el sistema NFT*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://doi.org/http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4846>

Chaudhary, P., Godara, S., N. Cheeran, A., & K. Chaudhari, A. (2012). Fast and Accurate Method for Leaf Area Measurement [Método rápido y preciso para medir el área foliar]. *International Journal of Computer Applications*, 49(9), 22–25.

<https://doi.org/10.5120/7655-0757>

Cookson, S. J., Van Lijsebettens, M., & Granier, C. (2005). Correlation between leaf growth variables suggest intrinsic and early controls of leaf size in *Arabidopsis thaliana* [La correlación entre las variables de crecimiento de las hojas sugiere controles intrínsecos y tempranos del tamaño de las hojas d. *Plant, Cell and Environment*, 28(11), 1355–1366.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01368.x>

Cortés-Sánchez, A. D. J., Díaz-Ramírez, M., & Guzmán-Medina, C. A. (2018). Sobre *Bacillus cereus* y la inocuidad de los alimentos (una revisión). *Revista de Ciencias*, 22(1), 93–108.

<https://doi.org/10.25100/rc.v22i1.7101>

Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas : su aplicación a cultivos intensivos. *Ria*, 42(3), 258–282.

<https://www.redalyc.org/pdf/864/86449712008.pdf>

Djidonou, D., & Leskovar, D. I. (2019). Seasonal changes in growth, nitrogen nutrition, and yield of hydroponic lettuce [Cambios estacionales en el crecimiento, la nutrición de

nitrógeno y el rendimiento de la lechuga hidropónica]. *HortScience*, 54(1), 76–85.

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI13567-18>

Fernández Navarro, M. A. (2013). *Efecto de diferentes niveles de aireación de la solución nutritiva sobre el crecimiento y la calidad de canonigos y berros cultivados en bandejas flotante*. [Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Cartagena].

<https://doi.org/https://core.ac.uk/download/pdf/60425674.pdf>

Fraile-Robayo, R. D., Álvarez-Herrera, J. G., Reyes M., A. J., Álvarez-Herrera, O. F., & Fraile-Robayo, A. L. (2017). Evaluación del crecimiento y calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en hidroponía con sistema cerrado de recirculación. *Agronomía Colombiana*, 35(2), 216–222. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.63439>

Fuentes Landeo, C. A., & Fuentes Landeo, L. R. (2019). *Efecto de frecuencias de riego por bombeo periférico en la producción hidropónica de lechuga (Lactuca sativa L.) en condiciones de invernadero en la provincia de Acobamba*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://doi.org/http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3057>

Fuentes, Y. J. L. (2003). *Técnicas de riego* (Mundi-Prensa (ed.); 4a ed.).

García-Villalpando, J. A., Castillo-Morales, A., Ramírez-Guzmán, M. E., Rendón-Sánchez, G., & Larqué-Saavedra, M. U. (2001). Comparación de los procedimientos de tukey, duncan, dunnett, Hsu y bechhofer para selección de medias. *Agrocencia*, 35(1), 79–86.

Genuncio, G. da C., Gomes, M., Claiton ferrari, A., Majerowicz, N., & Zonta, E. (2012).

Hydroponic lettuce production in different concentrations and flow rates of nutrient solution [Producción de lechuga hidropónica en diferentes concentraciones y caudales de solución nutritiva]. *Horticultura Brasileira*, 30, 526–530.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000300028>

Gilsanz, J. C. (2007). *Hidroponia* (I. (Unidad de C. y T. de Tecnología) (ed.); 1a ed.).

<https://doi.org/http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>

Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (S. A. McGraw-Hill/Interamericana Editores (ed.); Sexta Edic).

Holmamatovich, K. U., Ismatovich, A. S., Khurramovna, K. K., & Pardayevich, K. A. (2020).

The importance of lettuce (*Lactuca sativa* var *Capitata*) and growing suggestions [La importancia de la lechuga (*Lactuca sativa* var. *Capitata*) y sugerencias de cultivo].

International Engineering Journal For Research & Development, 5(9), 5. <https://doi.org/http://www.iejrd.com/index.php/%20/article/view/1427/1278>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2012). *Peru: Consumo percapita de los principales alimentos (2008-2009) Encuesta Nacional de Presupuesto Familiares (ENAPREF)*.

https://doi.org/https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib1028/

ITIS [Information Integrated Taxonomic System], - Report. (2022). *Taxonomic Hierarchy*.

https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=36607#null

Jaques Hernández, C., & Hernández M., J. L. (2005). Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (NFT). *ResearchGate*, 3, 8.

<https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/264495875>

- Lages Barbosa, G., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., & Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. Conventional agricultural methods [Comparación de los requisitos de tierra, agua y energía de la lechuga cultivada con métodos agrícolas hidropónicos versus métodos a. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>
- Lopes Da Luz, G., Petter Medeiros, S. L., Manfron, P. A., Borcioni, E., Muller, L., Do Amaral, A. D., & Morais Pereira, K. (2008). Consumo de energia elétrica e produção de alface hidropônica com três intervalos entre irrigações Consumption of electric energy and production of hydroponic lettuce under three irrigation intervals [Consumo de energía eléctrica y producción de lechuga hi. *Ciencia Rural*, 38–3, 815–818. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000300036>
- Lu, L., Ku, K. M., Palma-Salgado, S. P., Storm, A. P., Feng, H., Juvik, J. A., & Nguyen, T. H. (2015). Influence of epicuticular physicochemical properties on porcine rotavirus adsorption to 24 leafy green vegetables and tomatoes [Influencia de las propiedades fisicoquímicas epicuticulares sobre la adsorción de rotavirus porcino en 24 hortalizas de hoja ve. *PLoS ONE*, 10(7), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132841>
- Martínez-Gutiérrez, G. A., Ortiz-Hernández, Y. D., & López-Pozos, R. (2012). Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *Nota Científica Rev. Fitotec. Mex*, 35, 49–52. https://doi.org/http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018773802012000500010&script=sci_abstract

- Mendoza Rodríguez, M. A. (2017). *Cultivo de Lechuga (Lactuca sativa L.) Hidroponía en sistema recirculante "NFT" Tipo Piramidal con tres niveles de aireación* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
<https://doi.org/http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6359>
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal* (4ta ed.). Instituto Internacional del Potasio.
https://doi.org/https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf
- RAE. (2021). *Real Academia Española*. Asociación de Academias de La Lengua Española.
- Ramirez-Hernandez, A., Galagarza, O. A., Álvarez Rodríguez, M. V., Pachari Vera, E., Valdez Ortiz, M. del C., Deering, A. J., & Oliver, H. F. (2020). Food safety in Peru: A review of fresh produce production and challenges in the public health system. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3323–3342. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12647>
- Ramírez Ibarra, J. E. (1995). *Evaluación de la productividad y calidad de lechuga (Lactuca sativa L. var. capitata) cultivada en sistema NFT continuo e intermitente*. [Tesis de Grado, Universidad de Talca]. <https://doi.org/https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/28647>
- Rivera Arreondo, N. M. (2015). *Evaluación de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) cultivadas con la técnica hidrónica de flujo laminar de nutrientes (NFT) en el centro experimental de cota cota-la paz* [Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés].
<https://doi.org/https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5992/T-2118.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Rodríguez, D. A., & Chang, M. (2012). *Soluciones nutritivas en hidroponia* (2da.). Centro de Investigación de hidroponia y nutrición mineral.
- Rodríguez, M., & Flórez, V. J. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. *Cyted*, 4(3), 1–15.
<https://doi.org/http://hdl.handle.net/10835/3133>
- Saavedra, D. R. G., Corradini S., F., Antúnez B., A., Felmer E., S., Esta P., P., & Sepulveda R., P. (2017). *Manual de producción de Lechuga* (1ra.).
- Sequi, P. (2004). Los microelementos en la nutrición vegetal. *Meta*, 72.
<https://doi.org/https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Losmicroelementosenlanutricionvegetal.pdf>
- Smith, R., Cahn, M., Daugovish, O., Koike, S., Natwick, E., Smith, H., Subbarao, K., Takele, E., & Turini, T. (2011). Leaf Lettuce Production in California [Producción de lechuga de hoja en California]. *Leaf Lettuce Production in California, 2010*, 6.
<https://doi.org/10.3733/ucanr.7216>
- Soto, B., Encarnación, E., Herrejón, R., Barrera, D. M., Elena, L., Reyes Ponce, Y., Valverde, J. P., Zamora, P. E., & Valverde, J. P. (2010). Factores de competitividad del cultivo de lechuga en Santa María Jajalpa, Estado de México. *Análisis Económico*, XXV(59), 143–154.
[http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2504/1/36370.pdf%0Ahttp://www.jstor.org/stable/2807995?origin=crossref%0Ahttp://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/public/Research/Energy, Environment and Development/bp0312_pres](http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2504/1/36370.pdf%0Ahttp://www.jstor.org/stable/2807995?origin=crossref%0Ahttp://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/bp0312_pres)
- Thakulla, D., Dunn, B., Hu, B., Goad, C., & Maness, N. (2021). Nutrient solution temperature affects growth and° brix parameters of seventeen lettuce cultivars grown in an NFT hydroponic system [La temperatura de la solución nutritiva afecta el crecimiento y los

parámetros ° brix de diecisiete cultivares de lechuga c. *Horticulturae*, 7(9).

<https://doi.org/10.3390/horticulturae7090321>

Thompson, H. C., Langhans, R. W., Arend -Jan, B., & Albright, L. D. (1998). Shoot and root temperature effects on lettuce growth in a floating hydroponic system [Efectos de la temperatura de los brotes y las raíces en el crecimiento de la lechuga en un sistema hidropónico flotante]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(3), 361–364. <https://doi.org/10.21273/jashs.123.3.361>

Tresierra, A. Á. E. (2013). *Proyecto e informe de tesis y redacción científica* (Primera Ed).

Tyson, R., Hochmuth, R., & Cantliffe, D. J. (2010). Hydroponic Vegetable Production in Florida [Producción de hortalizas hidropónicas en Florida]. *University of Florida IFAS Extension*, HS405, 1–8. <http://edis.ifas.ufl.edu>

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

OBJETIVO GENERAL: Evaluar la influencia de la recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT, en el rendimiento y calidad de la lechuga.

Tabla 22

Matriz de Operacionalización de Variables.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO ESPECIFICO	VARIABLES	DEFINICIÓN	INDICADORES	INDICE
¿De qué manera influye la recirculación de la solución nutritiva en un sistema hidropónico NFT en el rendimiento y calidad de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) variedad Tropicana Imperial, 2021?		V. Independiente			
		Frecuencias de recirculación	INFOAGRO (2020) Consiste en mantener las raíces del cultivo inmersas en una corriente de solución nutritiva, continua o intermitente de muy alta frecuencia	T1 Recirculación: ninguna T2 Recirculación: 1 vez T3 Recirculación: 2 veces T4 Recirculación: 3 veces T5 Recirculación: 4 veces T6 Recirculación: 5 veces	Frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT.
		V. Dependiente			
	OE₁ Medir el efecto de la recirculación de la solución nutritiva en un sistema hidropónico NFT en el rendimiento de la lechuga.	Rendimiento total	Según la Real Academia Española (RAE) Es la proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados	• Toneladas por hectárea	• Gramos – Gr.
	OE₂ Medir el efecto de la recirculación de la solución nutritiva en un sistema hidropónico NFT en la calidad de la lechuga.	Calidad	Según López (2003) la calidad significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un producto.	<ul style="list-style-type: none"> • Peso de Planta (PP) • Área Foliar (AF) • Masa Fresca de hojas (MFH) • Masa Fresa de Raíces (MFR) • Número de hojas (NDH) • Masa Seca de hojas (MSH) • Masa Seca de Raíces (MSR) 	<ul style="list-style-type: none"> • Centímetros cuad. –cm² • Gramos – Gr. • Gramos – Gr. • Unidades – Und. • Gramos – Gr. • Gramos – Gr.

Anexo 3. Resultados obtenidos del experimento.

Tabla 23 Datos obtenidos de la investigación a los siete ddt.(1era evaluación) de la planta de lechuga var. *Tropicana*

Trat.	Repet.	AF	MFH	MFR	MSH	MSR	NDH
T1	1	420.50	26.01	8.45	1.91	0.4	8
T1	2	264.87	15.56	6.72	1.12	0.28	7
T1	3	490.66	28.3	13.06	1.99	0.46	8
T1	4	382.14	19.19	7.77	1.38	0.34	8
T1	5	378.26	24.31	11.18	1.68	0.42	9
T2	1	379.55	19.06	7.97	1.37	0.31	8
T2	2	406.75	22.01	6.47	1.53	0.31	9
T2	3	328.00	14.4	8.39	1.42	0.32	7
T2	4	371.97	19.47	7.88	1.59	0.32	8
T2	5	351.46	21.14	11.06	1.46	0.38	8
T3	1	339.43	18.02	6.49	1.33	0.3	7
T3	2	433.59	23.31	12.32	1.77	0.4	8
T3	3	391.54	26.44	11.73	1.64	0.44	8
T3	4	433.33	27.36	11.38	1.89	0.34	8
T3	5	306.62	18.08	8.77	1.25	0.3	7
T4	1	313.93	15.12	6.26	1.07	0.31	7
T4	2	246.65	15.38	7.92	1.04	0.28	7
T4	3	295.86	13.05	4.99	1.01	0.27	6
T4	4	293.82	15.59	6.63	1.05	0.27	7
T4	5	345.99	21.52	9.09	1.53	0.46	7
T5	1	377.84	24.06	12.65	1.7	0.37	7
T5	2	312.43	13.9	6.64	0.98	0.21	7
T5	3	320.35	16.74	9.6	1.16	0.33	7
T5	4	351.86	19.15	11.09	1.35	0.38	7
T5	5	401.71	22.78	11.28	1.58	0.4	7
T6	1	339.61	20.26	10.08	1.43	0.45	8
T6	2	459.21	24.92	12.74	1.77	0.43	8
T6	3	362.14	19.73	9.45	1.43	0.36	7
T6	4	451.55	26.67	12.45	1.8	0.48	7
T6	5	270.40	15.28	6.92	1	0.24	8

Tabla 24

Datos obtenidos de la investigación a los 14 ddt.(2da e evaluación) de la planta de lechuga var.

Tropicana

Trat.	Repet.	AF	MFH	MFR	MSH	MSR	NDH
T1	1	1327.62	88.07	38.59	6.19	1.34	14
T1	2	597.29	46.09	22.93	3.45	0.84	12
T1	3	953.22	90.42	40.73	6.03	1.55	14
T1	4	1338.73	70.55	40.46	4.93	1.43	13
T1	5	1002.58	86.91	47.1	5.96	2	14
T2	1	1017.91	30.04	38.33	5.44	1.23	14
T2	2	1156.19	106.64	45.94	7.21	1.74	14
T2	3	878.94	64.97	38.67	4.32	1.2	12
T2	4	1176.32	109.35	52.82	6.91	1.48	14
T2	5	1016.37	77.18	33.5	5.02	0.94	13
T3	1	955.09	71.45	36.82	4.88	1.09	11
T3	2	945.20	78.66	36.44	5.07	1.13	12
T3	3	1331.48	134.03	40.86	8.94	1.73	13
T3	4	1129.33	91.33	26.99	5.7	1.14	12
T3	5	914.45	64.63	29.44	4.2	1.88	12
T4	1	1010.08	78.95	40.45	4.86	1.46	13
T4	2	978.66	59.31	25.32	3.84	1.35	12
T4	3	1002.46	72.44	32.18	4.93	1.12	13
T4	4	1320.09	69.93	26.71	4.25	0.91	12
T4	5	984.87	67.27	25.18	4.29	1.13	12
T5	1	1100.18	81.46	36.78	5.1	1.14	13
T5	2	1090.91	70.72	33.72	4.44	1.03	13
T5	3	1167.34	66.62	32.04	4.42	1.1	13
T5	4	898.98	84.21	31.27	5.32	1.19	15
T5	5	1037.60	81.77	38.76	5.68	1.3	14
T6	1	902.69	63.28	31.28	4.05	1.03	12
T6	2	1026.93	76.26	33.68	4.18	0.99	12
T6	3	1126.23	108.98	36.98	10.79	1.19	13
T6	4	1220.61	97.64	33.08	7.31	1.13	14
T6	5	776.14	73.41	43.86	3.59	0.98	12

Tabla 25

Datos obtenidos de la investigación a los 21 ddt.(3era evaluación) de la planta de lechuga var.

Tropicana

Trat.	Repet.	AF	MFH	MFR	MSH	MSR	NDH
T1	1	1985.50	124.51	42.74	7.8	1.64	17
T1	2	1636.04	100.07	43.79	6.11	1.41	16
T1	3	1828.08	128	45.07	7.24	1.12	14
T1	4	1238.16	75.4	30.57	5.47	1.14	13
T1	5	1421.52	94.11	42.58	6.85	1.23	13
T2	1	1428.68	111.55	38.94	8.03	1.69	14
T2	2	1577.62	98.55	21.82	5.53	0.81	15
T2	3	2272.51	166.63	28.33	9.03	0.8	15
T2	4	1999.69	136.5	39.78	7.25	1.26	17
T2	5	2174.70	165.44	38.89	8.72	1.35	17
T3	1	2064.55	160.58	38.73	8.42	1.37	15
T3	2	2039.89	214.03	32.52	10.02	1.15	15
T3	3	2756.23	237.53	35.14	14.33	1.07	19
T3	4	2757.41	209.28	38.12	11.03	1.31	19
T3	5	2507.77	128.41	23.35	6.21	0.72	17
T4	1	2793.02	219.24	39.86	11.28	1.6	20
T4	2	2161.94	169.41	28.49	7.18	0.97	17
T4	3	2765.97	247.72	39.2	12.38	1.34	22
T4	4	2446.14	198.05	34.57	9.81	1.51	18
T4	5	2930.79	238.18	37.55	11.91	1.48	21
T5	1	2663.91	233.59	39.79	10.03	1.59	23
T5	2	1866.41	159.63	42.45	7.29	1.47	17
T5	3	3012.14	257.46	55.4	12.1	1.68	21
T5	4	2071.22	174.66	50.23	8.54	1.55	17
T5	5	2919.65	279.88	52.01	13.08	1.44	24
T6	1	2580.84	338.2	45.59	11.63	1.47	20
T6	2	3165.39	270.03	40.79	11.93	1.33	19
T6	3	2607.90	231.07	44.36	11.91	2.06	17
T6	4	2656.79	217.53	33.73	10.66	1.18	21
T6	5	2454.06	230.61	43.75	10.58	1.67	17

Tabla 26

Datos obtenidos de la investigación a los 28 ddt.(4ta evaluación) de la planta de lechuga var.

Tropicana

Trat.	Repet.	AF	MFH	MFR	MSH	MSR	NDH
T1	1	2669.42	154.85	43.35	9.08	1.78	20
T1	2	2255.56	135.43	36.93	7.78	1.26	21
T1	3	2204.82	140.47	60.41	7.34	1.71	19
T1	4	1583.30	82.12	40.21	6.56	1.81	18
T1	5	2601.61	137.45	38.67	10.75	1.51	22
T2	1	3706.05	249.12	51.93	16.25	1.17	24
T2	2	2284.58	147.82	25.54	9.05	0.91	18
T2	3	2206.23	147.98	66.56	7.93	1.48	19
T2	4	3415.02	230.84	45.28	12.69	1.09	23
T2	5	3170.81	186.13	57.72	11.07	1.44	22
T3	1	3221.20	224.65	45.68	13.93	1.01	23
T3	2	3070.41	204.29	39.02	12.56	1.11	20
T3	3	2974.69	215.67	62.15	12.00	1.77	18
T3	4	3643.34	232.69	60.57	14.01	1.49	22
T3	5	1682.97	103.59	43.05	6.52	0.98	15
T4	1	3379.43	262.61	57.93	14.90	1.52	21
T4	2	3410.35	231.58	37.44	12.78	0.45	26
T4	3	3976.41	236.63	58.91	14.77	1.82	22
T4	4	3377.29	273.01	48.05	14.60	1.64	21
T4	5	4480.12	274.53	57.66	16.99	1.98	25
T5	1	4776.82	350.8	47.63	18.73	2.88	30
T5	2	4879.58	341.29	39.76	18.13	1.18	28
T5	3	4352.86	326.89	55.13	15.69	2.09	29
T5	4	3928.66	333.95	53.27	17.15	2.64	28
T5	5	4344.00	305.01	52.1	15.16	3.87	28
T6	1	3916.77	277.91	51.67	13.50	2.47	26
T6	2	4123.97	279.5	39.95	14.68	2.94	26
T6	3	5342.01	363.42	58.4	21.40	2.18	29
T6	4	4189.01	277.96	50.41	14.92	2.56	26
T6	5	4085.62	300.81	56.99	17.80	2.03	27
T6	4	7518.98	425.50	69.46	36.61	3.53	39
T6	5	7939.724	450.21	63.81	40.43	3.23	41

Tabla 27

Datos obtenidos de la investigación a los 35 ddt.(5ta evaluación) de la planta de lechuga var.

Tropicana.

Trat.	Repet.	AF	MFH	MFR	MSH	MSR	NDH
T1	1	1842.636	76.22	15.37	6.19	1.11	18
T1	2	2180.489	74.51	14.23	6.16	0.81	21
T1	3	3183.133	123.17	21.70	7.77	1.45	25
T1	4	2210.856	88.12	19.52	6.78	1.19	23
T1	5	2409.509	99.59	16.45	7.54	1.16	25
T2	1	3479.113	200.08	29.55	16.08	1.65	26
T2	2	3475.662	245.08	33.39	13.44	1.51	27
T2	3	3443.649	205.85	35.16	13.17	1.5	29
T2	4	3427.95	185.88	32.14	14.91	1.64	27
T2	5	4994.706	313.25	54.35	21.28	2.39	36
T3	1	2829.345	170.35	38.32	16.24	1.42	24
T3	2	4519.699	255.47	29.79	15.07	1.65	33
T3	3	3665.183	264.91	41.13	21.92	1.92	25
T3	4	5237.669	252.21	54.00	15.61	1.6	26
T3	5	4962.732	269.10	36.75	18.75	1.83	28
T4	1	5007.336	285.81	21.48	18.93	1.83	36
T4	2	4339.058	222.75	36.68	18.14	1.42	30
T4	3	6202.219	384.27	46.90	23.17	2.08	32
T4	4	5739.661	387.01	47.68	22.47	2.33	35
T4	5	5341.103	281.31	38.51	18.48	1.62	31
T5	1	7714.359	378.26	49.28	32.28	2.59	34
T5	2	7159.784	420.08	56.33	30.94	2.95	42
T5	3	7023.744	446.05	60.50	29.03	2.97	37
T5	4	7306.025	411.20	52.78	31.28	2.75	40
T5	5	7529.641	458.55	62.58	31.91	3.24	37
T6	1	6939.334	456.18	59.61	29.75	3.12	38
T6	2	7574.346	444.78	64.60	31.73	2.99	42
T6	3	7906.759	389.84	54.74	30.86	2.88	40
T6	4	7518.98	425.50	69.46	36.61	3.53	39
T6	5	7939.724	450.21	63.81	40.43	3.23	41

Anexo 4. Registro de datos climáticos en el área experimental.

Tabla 28

Registro de temperatura y humedad relativa, bajo condiciones de casa malla, donde se realizó el experimento (Vista Alegre – Imperial)

Fecha	Tmin. °C	Tmax. °C	T prom. °C	HR %
1/02/2021	19.7	29.1	24.4	85
2/02/2021	19	28.8	23.9	90
3/02/2021	18.8	28.2	23.5	89
4/02/2021	18	27.6	22.8	88
5/02/2021	18.4	28	23.2	92
6/02/2021	18	28.2	23.1	91
7/02/2021	19	28	23.5	90
8/02/2021	18.2	27	22.6	92
9/02/2021	18.8	27.4	23.1	89
10/02/2021	17.8	29.2	23.5	86
11/02/2021	18.8	27.6	23.2	88
12/02/2021	17.8	29	23.4	89
13/02/2021	18	29.4	23.7	90
14/02/2021	18	29	23.5	89
15/02/2021	17.8	28.2	23	88
16/02/2021	18	27.2	22.6	89
17/02/2021	18	26.2	22.1	90
18/02/2021	17	26.4	21.7	92
19/02/2021	16.4	27	21.7	89
20/02/2021	17.4	28	22.7	92
21/02/2021	18	28.6	23.3	95
22/02/2021	18.8	29	23.9	86
23/02/2021	18.6	29.2	23.9	87
24/02/2021	18	28.4	23.2	88
25/02/2021	18.8	29.4	24.1	90
26/02/2021	18.2	27.6	22.9	87
27/02/2021	18	26.8	22.4	85
28/02/2021	17.8	26.2	22	86
1/03/2021	16.8	25.6	21.2	93
2/03/2021	16.8	25.6	21.2	92
3/03/2021	16.4	27.2	21.8	88
4/03/2021	17.2	29.3	23.25	89
5/03/2021	19.6	28.4	24	87
6/03/2021	18.9	27.8	23.35	88
7/03/2021	17.3	28.1	22.7	88

Anexo 5. Resultados de la Normalidad

Tabla 29

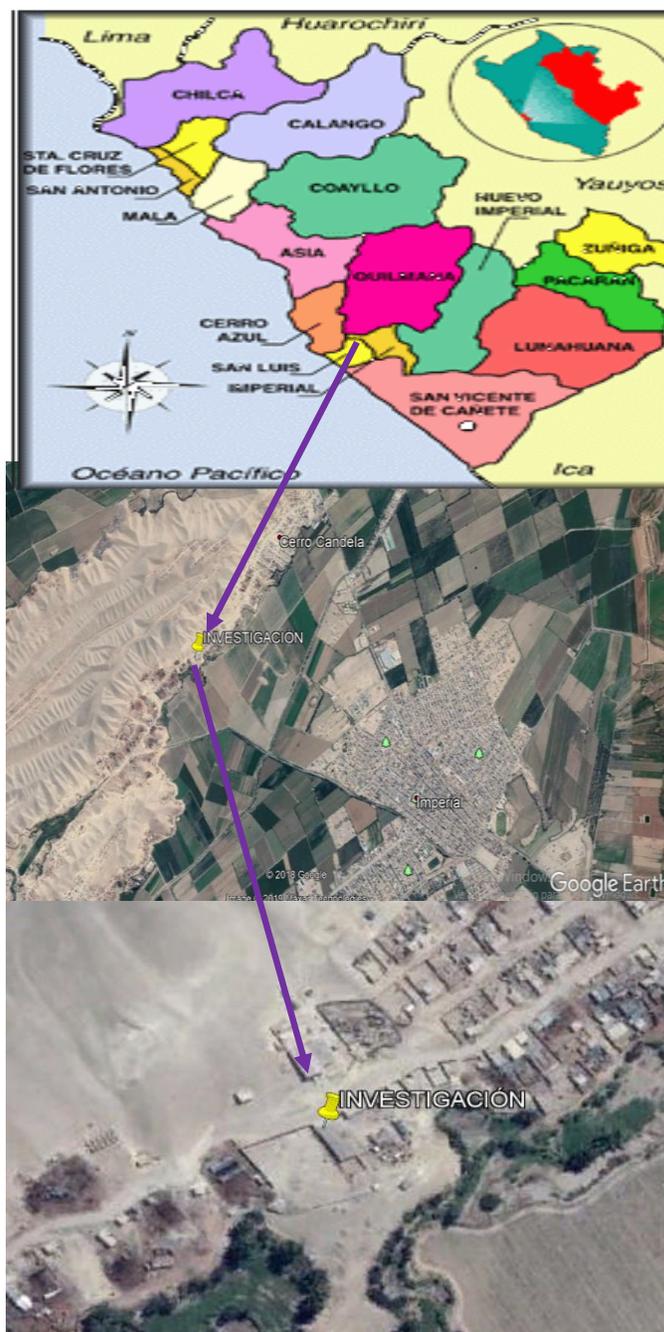
Supuesto de Normalidad y homogeneidad de varianza, mediante la prueba de Shapiro Wilk y Bartlett respectivamente

Parámetro	P Valor de Normalidad	Resultado	PValor de Homogeneidad de varianza	Resultado
Peso de planta	0.7015	Acepta H _o	0.1825	Acepta H _o
Área foliar	0.7407	Acepta H _o	0.2455	Acepta H _o
Masa fresca de hojas	0.7313	Acepta H _o	0.1853	Acepta H _o
Masa fresca de raíz	0.633	Acepta H _o	0.2518	Acepta H _o
Masa seca de hoja	0.0776	Acepta H _o	0.369	Acepta H _o
Masa seca de raíz	0.4141	Acepta H _o	0.7837	Acepta H _o
Número de hojas	0.2266	Acepta H _o	0.6642	Acepta H _o

Anexo 6. Mapa de ubicación del Proyecto

Figura 14

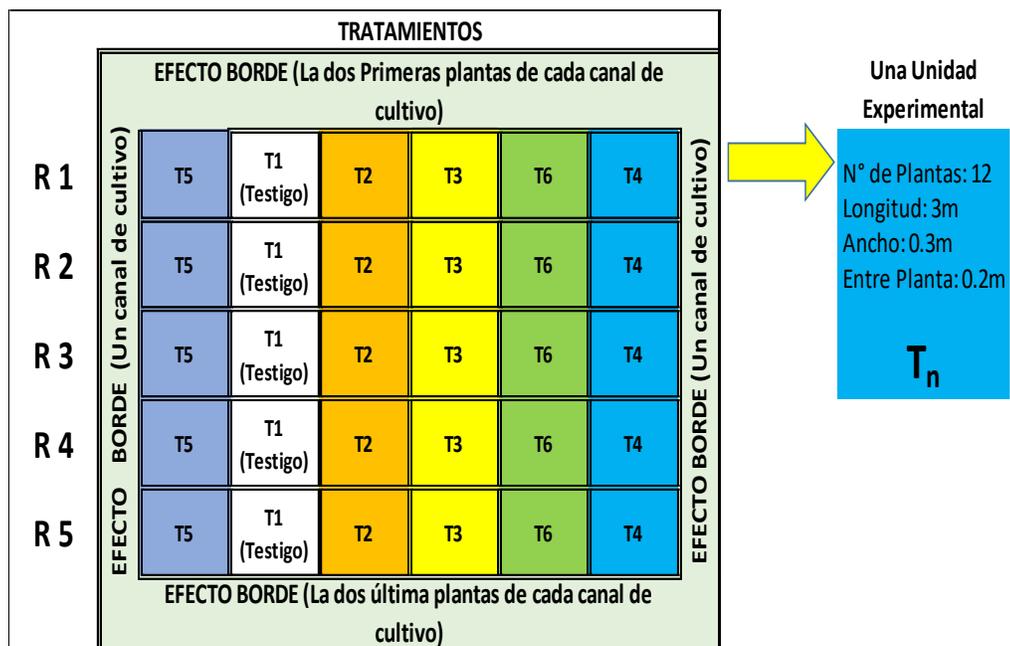
Ubicación fotográfica de la zona y lugar de investigación.



Anexo 7. Croquis de diseño experimental

Figura 15

Croquis de distribución de los tratamientos en el área experimental.



Anexo 8. Panel fotográfico

Figura 16

Limpieza y acondicionamiento de los canales de cultivo del sistema hidropónico NFT, donde se realizó el experimento



Figura 17

Características morfológicas de las lechugas var. Tropicana a de los 35ddt. (5ta evaluación).

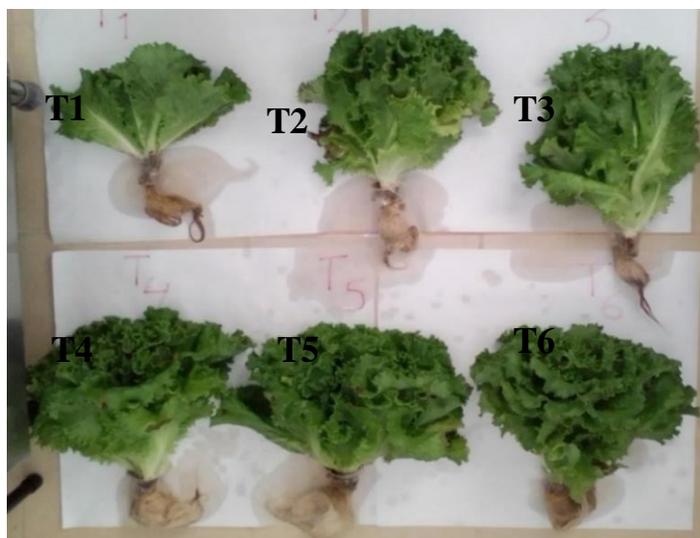


Figura 18

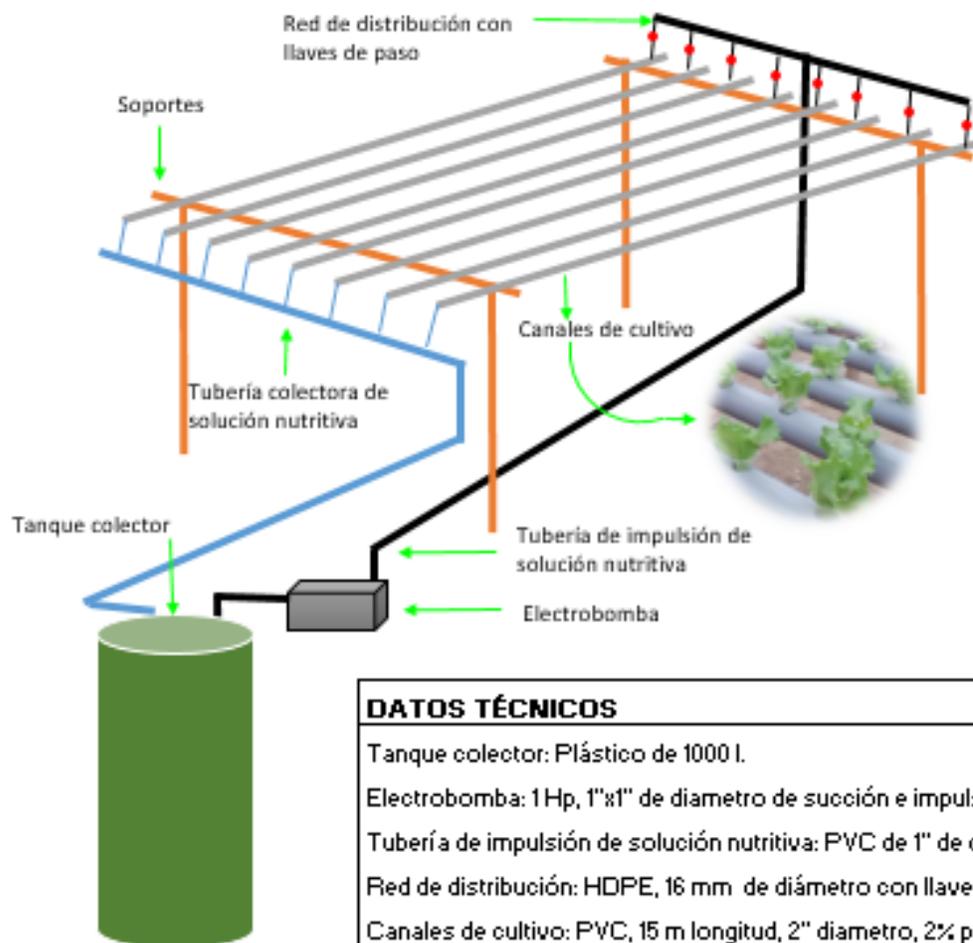
Evaluación de indicadores del experimento en el Laboratorio de la Universidad Nacional de Cañete.



Nota: **A:** Determinación de MFH y MFR de lechuga var. Tropicana en el laboratorio de la UNDC. **B:** Determinación de MSH y MS de la lechuga var. Tropicana, después de haber alcanzado peso constante en la estufa del laboratorio de la UNDC. MFH= masa fresca de hojas. MFR= masa fresca de raíz. MSH=masa seca de hoja. MSR= masa seca de raíz.

Figura 19

Plano del sistema hidropónico NFT, donde se realizó el experimento el presente experimento.



DATOS TÉCNICOS

Tanque colector: Plástico de 1000 l.

Electrobomba: 1 Hp, 1"x1" de diámetro de succión e impulsión.

Tubería de impulsión de solución nutritiva: PVC de 1" de diámetro.

Red de distribución: HDPE, 16 mm de diámetro con llave paso.

Canales de cultivo: PVC, 15 m longitud, 2" diámetro, 2% pendiente.

Tubería colectora de solución nutritiva: PVC, 2" de diámetro.

Soportes: Palos de eucalipto 0.7 m de altura.

Figura 21

Formato para el registro de datos de temperaturas y humedad relativa tomado en el interior del módulo del sistema hidropónico

FORMATO DE REGISTRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

N°	FECHA	HORA	T° MAX - °C	T° MIN - °C	T° PROM - °C	HR %	OBSERVACIONES
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							

Anexo 10. Análisis económico.

Figura 22

Costo detallado de producción de lechuga var. Tropicana en hidroponía NFT

Nº	ACTIVIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL SOLES
A	SERVICIO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA HIDROPÓNICO NFT				15,350.00
1	Instalación de la casa malla de 3 m de altura Soportes de palos de eucalipto de 3" de diametro por 4m de altura Estructura de alambre acerado 2.5 mm Anclaje de la estructura de fierros de construccion de 12 mm Cubierta de Malla raschel color verde de 85% de sombra Perimetro de Malla arpillera negra de 3 m por 100 m.	m ²	600		4,500.00
2	Instalación de sistema de bombeo y recirculación Tanque colector: Plástico de 1000 l. Electrobomba: 1 Hp, 1" por 1" de diametro de succión e impulsión. Tubería de impulsión de solución nutritiva: PVC de 1" de diámetro. Red de distribución: HDPE, 16 mm de diámetro con llave paso.	Plantas	3,600		3,800.00
3	Instalación de la mesa de cultivo y soportes Tubo de PVC 3" de desagüe Tapones de 3" de desagüe Liston de Madera (Travesaños 2" por 1.5" por 2 m) Liston de Madera (Parantes 2" por 1.5" por 0.7m) Clavo de 3" Pegamento Pintura Esmalte blanco	Plantas	3,600		6,400.00
4	Instalación del sistema eléctrico	m ²	600		650.00
B	COSTO DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LA LECHUGA PARA 600 PLANTAS				484.35
1	Mano de obra Lavado y desinfección de la mesa de cultivo Trasplante de 600 plantas de lechuga Recirculación de la solución nutritiva durante 35 días Tratamientos fitosanitarios durante 35 días Preparación de la solución nutritiva y monitoreo de C.E y PH. Cosecha	Jornal Jornal Jornal Jornal Jornal Jornal	0.50 1.00 2.00 0.50 1.50 1.00	45.00 45.00 45.00 45.00 45.00 45.00	22.50 45.00 90.00 22.50 67.50 45.00
2	Almacigo Servicio de plantines Semillas	Unidad Unidad	0.20 0.10	600.00 600.00	120.00 60.00
3	Fertilizantes Superfosfato triple Nitrato de Potasio Nitrato de Amonio Sulfato de Magnesio Fertilom Combi Quelato de Hierro 6% Fe Ácido Bórico Inkabor	kg. kg. kg. kg. kg. kg. kg.	4.40 2.80 1.44 1.76 0.10 0.07 0.01	3 5.16 4.10 3.81 125.00 80 3	13.20 14.45 5.90 6.71 12.00 5.44 0.03
4	Agroquímicos Virus de la poliedrosis nuclear Imidacloprid Azoxystrobin + Tebunconazole	L L kg.	0.010 0.010 0.010	280.00 128.00 377.00	2.80 1.28 3.77
5	Desinfectantes Hipoclorito de sodio Trapo industrial	L kg.	2.000 1.000	4.50 2.00	9.00 2.00
6	Agua Servicio de agua	Mes	1	4	4.00

Figura 23

Costo de instalación del sistema hidropónico NFT por planta.

CT	VU	NCA	NP	CSHP
15,350.00	5	11	3,600.00	0.08

Nota: CT= Costo total en soles para 3600 plantas. VU= Vida útil estimado de la instalación hidropónica NFT. NCA= Número de cosechas obtenidas por año. NP=Número de plantas en toda la instalación. CSHP= Costo del sistema hidropónico por planta en Soles.

Figura 24

Costo de producción de lechuga var. Tropicana en hidroponía NFT por planta

CP	NP	CPP
484.35	600	0.81

Nota: CP= Costo total en soles para 600 plantas. NP= Número de planta considerado en el CP. CPP= Costo de producción por planta en soles.

Figura 25

Costo de mermas a la cosecha por planta, distribuidas en el total de plantas útil.

NP	CPP	MC 5%	CM	CMP
600.00	0.81	30.00	24.22	0.042

Nota: NP=Número de planta. CP= Costo por planta en soles. MC 5%= Plantas consideradas como mermas en 600 plantas. CM= Costo de mermas en 5%. CMP= Costo de mermas por planta en soles, por cada 600 plantas.

Figura 26

Análisis de rentabilidad de producción de lechuga var. Tropicana en el sistema hidropónico

NFT.

DETALLE DE COSTO POR PLANTA	CT
CSHP	S/0.08
CPP	S/0.81
CMP	S/0.04
Costo total de producción	S/0.93
Precio en el centro de producción	S/1.50
Valor bruto de la producción	S/1.50
Margen de utilidad	S/0.57
Indice de rentabilidad	62%

Nota: CT= Costo total en soles. CSHP= Costo del sistema hidropónico por planta. CPP= Costo de producción por planta. CMP= Costo de mermas de la producción distribuidas por cada planta útil producida.

Anexo 11. Artículo científico de la investigación

RECIRCULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RENDIMIENTO- CALIDAD DEL CULTIVO HIDROPONICO DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) IMPERIAL, 2021

Ronald Alexis Cortez Lázaro

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se evaluó la influencia de recircular la solución nutritiva en un sistema hidropónico NFT en el rendimiento y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Tropicana.

El experimento se desarrolló bajo un diseño completo al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones en las instalaciones del centro de producción Eco-Verduras, ubicada en el Anexo Vista Alegre, distrito de Imperial, provincia de Cañete y departamento de Lima durante los meses de febrero - abril del 2021. Las recirculaciones evaluadas fueron 0, 1, 2, 3, 4 y 5 frecuencias diarias, por un tiempo de 15 minutos. El sistema de recirculación fue accionado mediante una electrobomba de encendido manual, a las 7:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 18:00 horas.

Los mejores resultados de rendimiento y calidad se constataron con cuatro (T5) y cinco (T6) recirculaciones de la solución nutritiva, con un rendimiento total de 72.10 t.ha⁻¹ y 73.84 t.ha⁻¹ respectivamente, a comparación del testigo absoluto 16.9 t ha⁻¹(T1); similar efecto se constató con el peso de planta, 434.29 g/planta (T5) y 444.89 g/planta (T6). Respecto a la calidad se observó efecto significativo, constatando mejores resultados con cuatro y cinco recirculaciones de la solución, lo cual logró mayor área foliar 7575.83 cm²/planta (T6) y 7346.71 cm²/planta (T5) a comparación del testigo absoluto 2365.32 cm²/planta (T1); para masa fresca de hoja se obtuvo 433.30 g/planta (T6) y 422.82 g/planta (T5) a comparación del testigo absoluto 92.32 g/planta (T1) y en número de hojas con 40 und/planta (T6) y 38 und/planta (T5) a comparación del testigo absoluto 22.4 und/planta (T1). En la presente investigación es conveniente optar por frecuencias de cuatro (T5) recirculaciones de la solución nutritiva.

INTRODUCCIÓN

En el distrito de Imperial, la producción de lechuga se realiza en el sistema convencional con el riego por gravedad, abastecido por el canal de regadío. En este tipo de riego el agua entra en contacto con las hojas basales de la planta de lechuga, contaminándose así con agentes patógenos. Según Ramírez-Hernandez et al. (2020) afirman que el agua de riego distribuida por canales abiertos a la finca, puede contaminarse fácilmente con materia fecal por lo tanto el agua de riego puede ser una fuente de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria spp.*, *Shigella spp.*, *Cryptosporidium spp.* virus entéricos, etc. Debido a estos riesgos de contaminación surgió como alternativa de solución el uso del sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique); Sin embargo este sistema presentó el inconveniente de elevado gasto de energía por la recirculación continua de la solución, debido a esta desventaja se han realizado investigaciones comparando recirculaciones continua e intermitentes de 8 a 12 frecuencias por día, de los cuales no obtuvieron diferencia significativa con respecto a rendimiento y calidad, logrando reducir el gasto de energía que supone la recirculación de la solución (Ramírez Ibarra, 1995), (Lopes Da Luz et al., 2008).

En el presente trabajo de investigación se evaluó flujo intermitente de recirculación de la solución, de cero a cinco frecuencias por día, con el objetivo de precisar el efecto de la recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en el rendimiento y calidad

de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Tropicana en el distrito de Imperial, provincia de Cañete.

MATERIALES Y METODOS

El desarrollo del experimento se realizó en cinco etapas :

Etapas: 1: Actividades y protocolos previos a la instalación de los tratamientos

Medición y señalización del área experimental.

El experimento se realizó en una mesa de cultivo. Cuenta con ocho canales de cultivo, cuyas medidas fueron de 2m de ancho, 15 m de longitud y una separación de 0.30 m y entre plantas 0.20 m. Sobre dicha área asignada se distribuyó las 30 unidades experimentales, identificado con un cartel de 0.4 m de altura rotulado con el número de tratamiento y número de repetición correspondiente.

Material Genético

Para el experimento se compró plantines de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Tropicana del vivero Eco-Verduras.

Limpieza y desinfección de los canales de cultivos

Los canales de cultivo fueron lavados y desinfectados antes de realizar el trasplante. El lavado consistió en retirar los tapones de ambos extremos de los canales de cultivo, luego con un alambre galvanizado se introdujo una escobilla, retirando de esta manera restos vegetales que se encuentre en su interior, el proceso se repitió por tres veces, dos con agua sola y una con agua e hipoclorito de sodio al 4%. Finalmente, se colocaron los tapones y se llenaron con solución nutritiva.

Preparación de solución nutritiva

La preparación de la solución nutritiva se realizó según la fórmula propuesta por (Rodríguez & Chang, 2012) . En la tabla 1, se observa los fertilizantes que se utilizaron para la preparación de la solución A y B, con sus respectivas cantidades para 1000 l de solución nutritiva final.

Tabla 1
Fertilizantes utilizados en la solución nutritiva A y B del sistema NFT para el cultivo de Lechuga var. Tropicana

SN	Fertilizante	GF	SC	DSN
A	Superfosfato triple	550		
	Nitrato de Potasio	350	5 l	5 ml
	Nitrato de Amonio	180		
	Sulfato de Magnesio	220		
B	Fertilom Combi	12	2 l	2 ml
	Quelato de Hierro 6% Fe	8.5		
	Ácido Bórico Inkabor	1.2		

Fuente: (Rodríguez & Chang, 2012) Nota: SN= Solución nutritiva. G.1000L= Gramos de fertilizantes. SC= Solución concentrada para 1000 L de solución diluida. DSN= Dosis de SC por litro de solución diluida.

Etapa II: Instalación de las unidades experimentales:

Se aplicó el diseño completamente al azar (DCA) con cinco repeticiones y seis tratamientos, distribuidas en seis canales de cultivo y dos adicionales cuyo objetivo fue mitigar el efecto borde, la unidad experimental estuvo constituida por 12 plantas de lechuga var. Tropicana. Los tratamientos estuvieron conformados por diferentes frecuencias de recirculación y el testigo absoluto fue distribuido en forma aleatoria.

Etapa III, Adquisición de plantines y trasplante:

Sus características fueron: 32 días de edad con tres a cuatro hojas verdaderas, 15 cm de altura, raíces blancas sin presencia de daños por patógeno, las raíces atravesaron el fondo del vaso hidropónico aproximadamente 10 cm; Así mismo, en la figura 1B se observa el trasplante de los plantines de lechuga var. Tropicana, distribuidos de forma aleatoria.

Etapa IV: Recirculación de la solución nutritiva y aplicación del tratamiento

La recirculación se realizó mediante una electrobomba centrífuga de 1 Hp, marca Humboldt, que permite iniciar el proceso succionando la solución del tanque colector, que pasa a los canales de cultivo mediante una tubería de distribución y retorna al tanque colector por las tuberías de drenaje. La recirculación se realizó de acuerdo a los tratamientos establecidos en la Tabla 2.

Tabla 2

Programación de las horas de encendido de la electrobomba del sistema NFT, según los tratamientos en el cultivo de lechuga var. Tropicana

T	Parámetros de recirculación			Horario de recirculación de la solución nutritiva					
	NR	MR	MAR						
	D	D	D						
1	0	0	0	-	-	-	-	-	-
2	1	15	15	7:0	-	-	-	-	-
				0					
3	2	15	30	7:0	-	-	-	18:	
				0				00	
4	3	15	45	7:0	-	-	15:	18:	
				0			00	00	
5	4	15	60	7:0	-	13:	15:	18:	
				0		00	00	00	
6	5	15	75	7:0	11:	13:	15:	18:	
				0	00	00	00	00	

Nota: T=Tratamiento. NRD= Número de recirculación por día. MRD=Minutos de recirculación por día. MAD= Minutos acumulados de recirculación por día.

Etapa V: Procedimiento de la evaluación de las variables en estudio.

En cuanto al procedimiento de la evaluación, el primero fue a los siete días del trasplante, luego a los 14, 21, 28 y 35 ddt. (días después del trasplante), en cada muestreo se tomó una planta por unidad experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en el rendimiento de la lechuga var. Tropicana.

4.1.1. Peso de planta (PP)

Los resultados del ANVA a los 35 ddt. para el peso de planta indican que, si hay diferencia significativa, con un pValor de 2.58E-11 y un coeficiente de variabilidad del 43.42 %. Los resultados de comparación de medias según Duncan, el cual determina como mejores tratamientos a T6 (444.89 g/planta) y T5 (434.29 g/planta) a comparación del testigo T1 (101.79 g/planta).

4.1.2. Rendimiento total (t.ha⁻¹)

Los mejores resultados alcanzaron rendimientos de 73.84 t.ha⁻¹ (T6) y 72.10 t.ha⁻¹ (T5), respecto al testigo 16.90 t.ha⁻¹ (T1). Tal como se indicó en el peso de planta, si existen diferencia significativa entre los tratamientos evaluados. Así mismo, frecuencias mayores a cinco recirculaciones por día no tendría influencia en el rendimiento total.

En esta investigación, los tratamientos T6 (444.89 g) y T5 (434.29 g), tuvieron mejores pesos de planta, los cuales concuerdan con los resultados de Djidonou & Leskovar (2019) donde señalan que con recirculación continua de día y noche obtuvieron un peso de planta promedio de 365 g, de igual manera Jackes y Hernández (2005) en su sistema de recirculación continua de la solución, alcanzo 400 g de peso de planta. Por otro lado, Cevallos (2020) con ocho recirculaciones por día logro el peso máximo promedio de 204.17 g por planta, en la variedad Starfighter, el bajo peso obtenido posiblemente este asociado a las temperatura, ya que se observa en su investigación plantas etioladas a los 60 días de la siembra, cabe resaltar que dicha variedad es recomendada para siembras en invierno.

Referente a resultados de peso de planta, las recirculaciones de alta frecuencia o continuas no muestra un efecto significativo con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Con respecto al rendimiento total los mejores resultados se obtuvo con T6 (73.84 t.ha⁻¹) y T5 (72.10 t.ha⁻¹), resultados similares obtuvo Cevallos (2020) alcanzando rendimientos de 24.09 t.ha⁻¹. Así mismo, Djidonou & Leskovar (2019) obtuvieron rendimientos de 126 t.ha⁻¹, con el cultivar Sparx en época de primavera, la diferencia de rendimiento con respecto al presente experimento, está asociada a la densidad de plantas por hectárea y no al efecto de la alta frecuencia de las recirculaciones de la solución nutritiva.

4.2. Efecto de la frecuencia de recirculación de la solución nutritiva del sistema hidropónico NFT en la calidad de la lechuga

4.2.2. Área foliar (AF)

Los resultados del ANVA para el área foliar indican que hasta los 14 días del trasplante no hay diferencia significativa, a los 21, 28 y 35 ddt., muestra diferencia significativa, con un coeficiente de variabilidad del 40.37 %. La comparación de medias según Duncan, determina a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (7575.83 cm²/planta) y T5 (7346.71 cm²/planta) a comparación del testigo T1 (2365.32 cm²/planta). Cabe mencionar que el promedio del área foliar de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 5103.48 cm²/planta).

4.2.3. Masa fresca de hojas (MFH)

Los resultados del ANVA para masa fresca de hojas indican que, a los 7 y 14 ddt. no hay diferencia significativa, a los 21, 28 y 35 ddt. Si hay diferencia significativa, con un coeficiente de variabilidad del 44.77 %. Los resultados de comparación de medias según Duncan, determina que a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (433.302 g/planta) y T5 (422.83 g/planta) a comparación del testigo T1 (92.32 g/planta). Cabe mencionar que el promedio de la MFH de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 288.85 g/planta.

4.2.4. Masa fresca de raíz (MFR)

Los resultados del ANVA para masa fresca de raíz, a los 7, 14 y 28 ddt. no hay diferencia significativa, a los 21 y 35 ddt hay diferencia significativa, con un coeficiente de variabilidad de 38.02 %. Los resultados de comparación de medias según Duncan, determina a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (62.44 g/planta) y T5 (56.29 g/planta) a comparación del testigo T1 (17.45 g/planta). Cabe mencionar que el promedio de la MFR de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 41.89 g/planta.

4.2.5. Número de hojas (NDH)

Los resultados del ANVA para número de hojas indica que a los 7 ddt. hay diferencia significativa, el cual está asociado a las diferencias procedentes del vivero. A los 14 días no hay diferencia significativa y a partir de los 21 hasta los 35 ddt hay diferencia significativa, con un coeficiente de variabilidad de 21.19 %. Así mismo, los resultados de comparación de medias según Duncan, determina que a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (40 hojas/planta) y T5 (38 hojas/planta) a comparación del testigo T1 (22.4 hojas/planta). Cabe mencionar que el promedio del NDH de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 31.56 hojas/planta.

4.2.6. Masa seca de hoja (MSH)

Los resultados del ANVA para la masa seca de hoja, se observa que no hay diferencia significativa a los 7 y 14 ddt a partir de los 21 ddt. si hay diferencia, siendo significativo a los 28 y 35 ddt. con un coeficiente de variabilidad de 48.17 %. Así mismo; los resultados de comparación de medias según Duncan, determina que a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (33.88 g/planta) y T5 (31.08 g/planta) a comparación del testigo T1 (6.89 g/planta). Cabe mencionar que el promedio de la MSH de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 20.89 g/planta.

4.2.7. Masa seca de raíz (MSR)

Los resultados del ANVA para la masa seca de raíz, se observa que no hay diferencia significativa a los 7, 14 y 21 ddt. a los 28 ddt. si hay diferencia, significativa a los 35 ddt. con un coeficiente de variabilidad de 38.02 %. Así mismo en la Tabla 20, los resultados de comparación de medias según Duncan, determina que a los 35 ddt, como mejores tratamientos a T6 (3.15 g/planta) y T5 (2.90 g/planta) a comparación del testigo T1 (1.14 g/planta). El promedio de la MSR de la lechuga var. Tropicana en la 5ta evaluación es de 2.07 g/planta.

En el presente experimento se obtuvo los mejores resultados en área foliar con T6 (7575.83 cm²/planta) y T5 (7346.71 cm²/planta), lo cual concuerda con Djidonou & Leskovar (2019) quienes consiguieron un área foliar de 7354.28 cm²/planta, pero con recirculación continua de día y noche. Así mismo, Lopes da Luz et al. (2008) con 16 recirculaciones de la solución alcanzaron 3229.6 cm² de área foliar por planta. Por consecuente, para mantener la concentración óptima de oxígeno y nutrientes minerales en la solución nutritiva, requeridos para el desarrollo normal del área foliar solo es necesario de cuatro hasta cinco recirculaciones diarias.

Con respecto a la MFH, los mejores resultados se obtuvieron con T6 (433.30 g/planta) y T5 (422.83 g/planta), difieren de los resultados de Rivera (2015) quien, realiza un comparativo en rendimiento y peso fresco de planta, en las variedades Waldmann's Green, White Boston y Grands Rapids TBR, bajo condiciones de recirculación continua diurnas, lo cual alcanzo a los 35 ddt 154.54 g/planta de masa fresca de hoja promedio con la variedad Waldmann's Green. El bajo valor obtenido, posiblemente está asociado a la temperatura máxima alcanzada durante su investigación (31.3 °C). En ese sentido Smith et al. (2011) manifiestan que la lechuga es de estación fría, la temperatura óptima de crecimiento es de 23 °C en el día y 7 °C por la noche, cuando la temperatura supera el máximo óptimo

podría causar un alargamiento de entrenudo debido a la emisión prematura del tallo floral, por consecuente menor incremento de masa fresca de hoja. De acuerdo a Razzaq et al. (2018) concluyeron que, en condiciones de recirculación continua de día, el valor máximo promedio de masa fresca de hoja es de 236.67 g/planta. Por lo tanto, las altas frecuencias de recirculación aplicados por los autores citados no han generado diferencias significativas, con respecto a los resultados del experimento.

En cuanto a la MFR, los mejores resultados se obtuvieron con T6 (62.44 g/planta) y T5 (56.29 g/planta) resultados similares obtuvieron Genuncio et al (2012) quienes evaluaron diferentes concentraciones iónicas en las variedades Lucy Brown, Izabela y Veneza, con 48 ciclos de recirculación en el día y cuatro en la noche, cada ciclo de 15 minutos de recirculación. La evaluación fue hasta los 45 ddt, siendo la variedad Lucy Brown como el mejor tratamiento con un valor máximo de 38.8 g/planta de MFR. Cabe mencionar que, en el presente experimento, a los 35 ddt. en la raíz del T1, se observó necrosis en los pelos absorbentes los cuales fueron desprendiéndose como tejido muerto del sistema radicular, por tal motivo los valores de la MFR, se redujo significativamente en la 5ta evaluación respecto a la 4ta evaluación.

Referente a los NDH, se obtuvo los mejores resultados con T6 (40 hojas/planta) y T5 (38 hojas/planta), los cuales concuerdan con los resultados de Razzaq et al. (2018) quienes obtuvieron 40 hojas/planta, pero con recirculación continua de la solución. Por otro lado, Cevallos (2020) con ocho frecuencias de recirculación durante el día alcanzo un valor de 28.58 hojas/planta en la variedad Starfighter a los 60 ddt. Así mismo, Ramírez (1995) afirma que el número de hojas no se ve favorecido en recirculaciones continuas respecto al tratamiento intermitente.

En cuanto a la MSH, se logró los mejores resultados con T6 (33.88 g/planta) y T5 (31.08 g/planta) resultados similares obtuvieron Razzaq et al. (2018) en condiciones de recirculación continua durante el día, lograron obtener 15.3 g/planta de MSH.

Respecto a la MSR, los mejores resultados se obtuvieron con T6 (3.15 g/planta) y T5 (2.9 g/planta) los cuales concuerdan con los resultados de Ramírez (1995) que, en condiciones de flujo continuo de día y detención en la noche, obtuvo 1.1g de masa seca de raíz, resultados similares lograron Lopes da Luz et al (2008) 0.91 g/planta. Así mismo, Thakulla et al. (2021) en un sistema de recirculación continua obtuvieron 1.1 g/planta de MSR y afirma que en condiciones de altas temperatura prolongada podría ser deficiente el oxígeno en la raíz, provocando un deficiente crecimiento radicular y hojas, a su vez los hace vulnerable a la infección de enfermedades.

CONCLUSIONES

La recirculación de la solución nutritiva tiene un efecto positivo sobre el rendimiento de la lechuga var. Tropicana, siendo los mejores resultados de 73.84 t.ha⁻¹ (T6) y 72.10 t.ha⁻¹ (T5), respecto al testigo 16.90 t.ha⁻¹ (T1), para lo cual hubo una influencia directa en el peso de planta y número de hojas.

La recirculación de la solución nutritiva tiene un efecto positivo sobre la calidad de la lechuga var. Tropicana, logrando mejores resultados en el Área foliar de 7575.83 cm²/planta (T6) y 7346.71 cm²/planta (T5). Así mismo en masa fresca de hoja 433.30 g/planta (T6) y 422.83 g/planta (T5), cabe resaltar que también hubo una marcada diferencia respecto al testigo en la masa seca de hojas y raíces.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

Al-Tawaha, A. R., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A. R., Sirajuddin, S. N., Makhadmeh, I., Wahab, P. E. M., Youssef, R. A., Al Sultan, W., & Massadeh, A. (2018). Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient film technique (NFT) under hydroponics conditions [Efecto del caudal de agua sobre la cantidad y calidad de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la técnica de película. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24(5), 793–800.

<https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/328532184>

America, P. I. de N. de centro, & .(INCAP). (2006). *Hidroponia: Sistema de cultivo NFT*.

Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía* (Universidad de la Plata (ed.); Primera). https://doi.org/http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1

Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2013). Experiencia de producción de lechuga americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT. *Tecnología En Marcha*.

Brenes Peralta, L., & Jiménez Morales, M. F. (2014). *Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT (Nutrient Film Technique)* (1a edición). <https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/291072384>

Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")* ((Universidad de Talca) (ed.); 1a ed.). <https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/268630893>

Castillo, J., Guillen, A., & Badii, M. H. (2008). Tamano optimo de la muestra (Optimum sample size). *Innovaciones de Negocios*, 5(1), 53–65. http://www.web.facpya.uanl.mx/rev_in/Revistas/5.1/A5.pdf

Cevallos, M. M. R. (2020). *Aplicación de soluciones nutritivas en variedades de lechuga en cultivo hidropónico bajo el sistema NFT*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://doi.org/http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4846>

Chaudhary, P., Godara, S., N. Cheeran, A., & K. Chaudhari, A. (2012). Fast and Accurate Method for Leaf Area Measurement [Método rápido y preciso para medir el área foliar]. *International Journal of Computer Applications*, 49(9), 22–25. <https://doi.org/10.5120/7655-0757>.

Document Viewer

Turnitin Originality Report

Processed on: 30-Nov-2021 10:17 PM -05

ID: 1716996829

Word Count: 20158

Submitted: 1

INFLUENCIA DE RECIRCULAR LA SOLUCIÓN
NUTRITIV... By Cortez Lázaro Ronald Alexis

Similarity Index	Similarity by Source	
26%	Internet Sources:	25%
	Publications:	3%
	Student Papers:	8%

[include quoted](#)
[include bibliography](#)
[exclude small matches](#)

mode: quickview (classic) report

Change mode

[print](#)[download](#)

1% match (Internet from 09-Dec-2020)

<https://aprenderly.com/doc/1868015/cultivo-en-hidropon%C3%ADa---sedici>

1% match (Internet from 13-Aug-2021)

<https://www.undc.edu.pe/portal/vicepresidencia-academica/>



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of **your** submissions is displayed below.

Submission author: **Ronald Alexis Cortez Lázaro**
 Assignment title: **INFORME FINAL TESIS**
 Submission title: **INFLUENCIA DE RECIRCULAR LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DEL SI...**
 File name: **Tesis_Ronald_Cortez.docx**
 File size: **13.54M**
 Page count: **91**
 Word count: **20,158**
 Character count: **103,271**
 Submission date: **30-Nov-2021 10:12PM (UTC-0500)**
 Submission ID: **1716996829**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAÑETE
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



PROFESOR EN INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN DE FRUTAS Y HORTÍCOLAS
 INFORME FINAL DE TESIS: INFLUENCIA DE RECIRCULAR LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DEL SIEMBRO
 DEL CULTIVO DE LA CUCURBITA - CANTON DE CAÑETE - PERÚ
 2021

Para saber más sobre producción de:

INFORMACIÓN GENERAL

VER

CONTENIDO DE LA TESIS

VER

EL PLAN DE TESIS

VER

VER



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAÑETE

Ley de Creación N° 29488

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”



TÍTULO:

“RECIRCULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU
RENDIMIENTO-CALIDAD DEL CULTIVO HIDROPÓNICO
DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) IMPERIAL 2021”,

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO

Presentada por:

CORTEZ LAZARO RONALD ALEXIS

Sustentada y aprobada ante el jurado:

DR. JORGE LUIS MUÑOZ MARTICORENA
PRESIDENTE

MG. LEANDRO JOEL AYBAR PEVE
SECRETARIO

DR. ROBERTO MAÑICO MENDOZA
VOCAL

Dra. BETSABE LEON TTACCA
ASESOR

Lugar: <https://meet.google.com/ajd-ihpp-czs>
21 de enero del 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAÑETE

Ley de Creación N° 29488

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Los miembros del Jurado de tesis que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis por el Bachiller **CORTEZ LAZARO RONALD ALEXIS** de la promoción 2014 con código de estudiante N° 1442423670, con el título: “**Recirculación de la solución nutritiva y su rendimiento-calidad del cultivo hidropónico de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) Imperial 2021**”.

Para cumplir con el Art. 31° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Cañete y la Directiva General de Sustentación de Trabajo de Investigación, Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional en la Modalidad No Presencial de la UNDC, aprobado con Resolución Comisión Organizadora N° 010-2021-UNDC, para optar al título profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, declaramos la tesis por: **UNANIMIDAD** **MAYORÍA**

Calificada como:

DESAPROBADO (0 -10)	APROBADO			
	BUENO (11-13)	MUY BUENO (14 - 16)	SOBRESALIENTE (17 -18)	EXCELENTE (19 -20)
			17	

En consecuencia, queda en condición de ser considerado **APTO** por la Comisión Organizadora – UNDC y recibir el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, de conformidad con lo estipulado en el Art. 32 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Cañete, suscribimos la presente acta en 4 ejemplares.

<https://mect.google.com/ajd-thpp-czs>

21 de enero del 2022

Dr. JORGE LUIS MUÑOZ MARTICORENA
PRESIDENTE

Mg. Sc. LEANDRO JOEL AYBAR PEVE
SECRETARIO

Dr. ROBERTO MAÑUICO MENDOZA
VOCAL

Dra. BETSABE LEON TTACCA
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAÑETE

Ley de Creación N° 29488

UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

San Vicente, 19 de Enero del 2022

VICEPRESIDENCIA ACADEMICA

CONSTANCIA ANTIPLAGIO DEL SOFTWARE TURNITIN - UNDC

DATOS DEL ALUMNO:

Apellidos y Nombres : Ronald Alexis Cortez Lizaso.

Código de Alumno : 1442423670.

Escuela Profesional : Agronomía.

TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION:

"RECIRCULACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RENDIMIENTO-CALIDAD DEL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) IMPERIAL, 2021."

HACE CONSTAR:

El presente documento acredita que el Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **"NO SE CONSIDERA PLAGIO INTENCIONAL AL TENER UN GRADO DE SIMILITUD DEL 5% Y NO SOBREPASAR EL MAXIMO DEL 30% DE SIMILITUD, CONSIDERADO EN EL REGLAMENTO PARA OTORGAR EL GRADO ACADEMICO DE BACHILLER Y TITULO PROFESIONAL EN LA UNDC;** por lo tanto, se considera originalidad del trabajo de Investigación presentado a *Unidad de Biblioteca Central - Universidad Nacional de Cañete.*



Firmado digitalmente por
HUMÁN OJEDA Pedro Víctor
F.UJ 20401901802.pdf
Método: Soy el autor del
documento
Fecha: 16/01/2022 12:40:04-0500

Prof. Pedro V. Humán Ojeda
Asistente de Biblioteca

FIRMA DIGITAL DE CONFORMIDAD

Se expide este documento para los fines pertinentes

ADJ. TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO, CON LAS CORRECCIONES Y ESTADÍSTICA EN PDF.

Sede Académica: Casa de la Cultura Av. Mariscal Benavides 1370

San Vicente de Cañete - Lima - Perú