



**UNAP**



**FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN  
AMBIENTAL**

**TESIS**

**“TIEMPO DE DURACIÓN DE AIREACIÓN EN EL RENDIMIENTO  
EN *Lactuca sativa* L. EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO.  
LORETO, 2022”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:  
AARON LEONARDO PADILLA CASTRO**

**ASESOR:  
Ing. JULIO PINEDO JIMENEZ, Dr.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2024**



**UNAP**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
GESTIÓN AMBIENTAL**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS No. 044-CGYT-FA-UNAP-2024.**

En Iquitos, a los 31 días del mes de mayo del 2024, a horas 05:00pm, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **“TIEMPO DE DURACIÓN DE AIREACIÓN EN EL RENDIMIENTO EN *Lactuca sativa* L. EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO. LORETO, 2022”**, aprobado con Resolución Decanal No. 0135-CGYT-FA-UNAP-2022, presentado por el Bachiller: **AARON LEONARDO PADILLA CASTRO**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**, que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal No.025-CGYT-FA-UNAP-2024, está integrado por:

<b>Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.</b>	<b>Presidente</b>
<b>Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.</b>	<b>Miembro</b>
<b>Ing. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS, M.Sc.</b>	<b>Miembro</b>

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas:

..... *A Satisfacción* .....

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la Tesis han sido: *APROBADA* con la calificación *MUY BUENA*

Estando el Bachiller *APTO* para obtener el Título Profesional de *INGENIERO EN GESTION AMBIENTAL*

Siendo las *06:45pm*, se dio por terminado el acto **ACADÉMICO**.

*[Signature]*  
**Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.**  
**Presidente**

*[Signature]*  
**Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.**  
**Miembro**

*[Signature]*  
**Ing. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS, M.Sc.**  
**Miembro**

*[Signature]*  
**Ing. JULIO PINEDO JIMENEZ, Dr.**  
**Asesor**

**JURADO Y ASESOR**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Tesis aprobada en sustentación pública el día 31 de mayo del 2024, por el Jurado Ad-Hoc nombrado por el Comité de Grados y Títulos de la Facultad de Agronomía, para optar el título profesional de:

**INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**



---

**Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.**  
**Presidente**



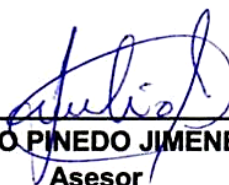
---

**Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.**  
**Miembro**



---

**Ing. MANUEL CALIXTO AVILA FUCOS, M.Sc.**  
**Miembro**



---

**Ing. JULIO PINEDO JIMENEZ, Dr.**  
**Asesor**



---

**Ing. FIDEL ASPAÑO VARELA, Dr.**  
**Decano**



## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

FA\_TESIS\_PADILLA CASTRO (2da rev).pdf

AUTOR

AARON LEONARDO PADILLA CASTRO

RECuento de palabras

**7440 Words**

RECuento de caracteres

**36914 Characters**

RECuento de páginas

**30 Pages**

Tamaño del archivo

**240.3KB**

Fecha de entrega

**May 3, 2024 10:41 AM GMT-5**

Fecha del informe

**May 3, 2024 10:42 AM GMT-5**

### ● 25% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 24% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Resumen

## DEDICATORIA

A **Dios**, por bendecir mi vida dándome la fuerza en momentos que mi vida más necesita y enseñarme que la fe y esperanza son ilimitadas.

A mis **abuelos maternos**, que son mi mayor inspiración y deseos de superación que su tiempo dedicado en mí y se los devuelvo con toda gratitud, aunque mi abuela partió temprano de esta tierra aun la llevo en mi corazón, los querré siempre.

A mis **padres**, que estuvieron desde el inicio de mi carrera profesional, por ser motivo de seguir luchando por mis sueños, por no negarse a brindarme su apoyo incondicional, por ser ejemplo en mi vida y luchar conmigo en cada proceso de mis estudios universitarios, ser profesional es gracias a ellos.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por permitirme culminar mis estudios satisfactoriamente, por no permitir que me rinda y darme esa fortaleza para luchar en cada etapa de mi vida universitaria

Agradezco a mis abuelos maternos, por ser la base de mis valores, por darme esa valentía para luchar en la vida, enseñarme que el esfuerzo y la dedicación que se debe tener para obtener resultados, ellos son parte importante de mi vida y estaré eternamente agradecido.

También agradezco a mis padres, por no abandonarme en mis proyectos y darme su aliento para continuar con mis estudios, a mi madre por recorrer conmigo hasta el final de mi carrera profesional, a mi padre por estar apoyándome cuando mas necesita y estar guiándome en mis pasos. Ser orgullo de ellos y yo orgullosos de mis padres.

Agradezco a mis hermanos, por ser los compañeros de toda la vida y seguir juntos a pesar de las adversidades, ser ejemplo de ellos en futuros proyectos que ellos aspiren.

Al igual un agradecimiento a mi asesor, Ing. Julio Pinedo Jimenez, por el tiempo dedicado en el proyecto, por compartir su conocimiento y creer en los resultados, permitiéndome lograr los objetivos trazados para la elaboración de nuestro proyecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
PORTADA .....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN .....	ii
JURADO Y ASESOR.....	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases teóricas .....	9
1.3. Definición de términos conceptuales.....	10
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	11
2.1. Formulación de las hipótesis.....	11
2.1.1. Hipótesis general.....	11
2.1.2. Hipótesis específicas.....	11
2.2. Variables y su operacionalización .....	11
2.2.1. Identificación de las variables.....	11
2.2.2. Operacionalización de las variables .....	11
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	13
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	13
3.2. Diseño muestral.....	13
3.3. Procedimientos de recolección de datos.....	14
3.4. Procesamiento y análisis de los datos .....	15
3.5. Aspectos éticos.....	15
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	16
4.1. Caracteres agronómicos.....	16
4.1.1. Altura de planta (cm) .....	16
4.1.2. Longitud de raíces (cm).....	17
4.1.3. Ancho de planta (cm).....	19

4.1.4. Número de hojas .....	20
4.1.5. Peso de raíz (g).....	22
4.2. Rendimiento.....	23
4.2.1. Peso de hojas (g) .....	23
4.2.2. Peso total de planta (g).....	25
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	27
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES .....	28
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES .....	29
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN.....	30
ANEXOS .....	33
1. Galería de fotos .....	34
2. Datos originales .....	35



## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Tratamientos .....	14
Cuadro 2. Prueba de Kruskal Wallis de Altura de planta (cm).....	16
Cuadro 3. Prueba de comparaciones múltiples de los promedios máxima de altura de planta (cm).....	16
Cuadro 4. Análisis de variancia para largo de raíces (cm) .....	17
Cuadro 5. Promedios del largo de raíces en cm. ....	18
Cuadro 6. Análisis de variancia para ancho de planta (cm) .....	19
Cuadro 7. Prueba de Tukey del promedio máxima de ancho de planta (cm) .....	19
Cuadro 8. Análisis de variancia para número de hojas. ....	20
Cuadro 9. Prueba de Tukey para el número de hojas.....	21
Cuadro 10. Análisis de variancia para peso de raíz en g. ....	22
Cuadro 11. Prueba de Tukey para peso de raíz .....	22
Cuadro 12. Análisis de variancia para peso de hojas.....	23
Cuadro 13. Prueba de Tukey para peso de hojas. ....	24
Cuadro 14. Análisis de variancia para peso total de planta en g. ....	25
Cuadro 15. Prueba de Tukey para peso de planta en g. ....	25

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de altura de planta en cm. ....	17
Gráfico 2. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de longitud de raíces en cm. ....	18
Gráfico 3. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de ancho en cm. ....	20
Gráfico 4. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de cantidad de hojas. ....	21
Gráfico 5. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de raíz en g. ....	23
Gráfico 6. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de hojas en g. ....	24
Gráfico 7. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de planta en g. ....	26

## RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la duración de la aireación de la solución nutritiva en el rendimiento de *Lactuca sativa* L., utilizando la técnica de raíz flotante (TRF) en un sistema hidropónico en Loreto. Empleando un Diseño Completamente al Azar, se establecieron cuatro tratamientos de aireación (3, 6, 9 y 12 minutos) aplicados cada 2 horas durante el día, con 10 repeticiones cada uno. Los resultados revelaron que una aireación de 9 minutos es óptima, mejorando significativamente el crecimiento vegetal y el rendimiento, reflejado en una mayor altura, longitud de raíces, ancho de planta, número de hojas, y un incremento en el peso foliar y total de la planta. Específicamente, se destacó una diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) en el peso total de la planta (106.80 g) con 9 minutos de aireación comparado con 3 minutos de aireación (79.50 g), recalcando la importancia de un control preciso del tiempo de aireación. Este resultado resalta la relevancia de ajustar el tiempo de aireación en sistemas hidropónicos, especialmente en áreas de climas cálidos como Loreto, para optimizar el rendimiento de cultivos hidropónicos como la lechuga, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al progreso de prácticas agrícolas sostenibles en condiciones de climas tropicales.

**Palabras clave:** Oxigenación de la solución nutritiva, Crecimiento vegetal, Cultivo hidropónico, Prácticas agrícolas sostenibles.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of aeration duration of the nutrient solution on the performance of *Lactuca sativa L.*, using the floating root technique (FRT) in a hydroponic system in Loreto. Employing a Completely Randomized Design, four aeration treatments (3, 6, 9, and 12 minutes) were established, applied every 2 hours during the day, with 10 repetitions each. The results revealed that a 9-minute aeration is optimal, significantly improving plant growth and yield, reflected in increased plant height, root length, plant width, number of leaves, and an increase in leaf and total plant weight. Specifically, a significant difference ( $p < 0.01$ ) in total plant weight (106.80 g) with 9 minutes of aeration compared to 3 minutes of aeration (79.50 g) was highlighted, underscoring the importance of precise aeration time control. This finding emphasizes the relevance of adjusting the aeration time in hydroponic systems, especially in warm climate areas like Loreto, to optimize the performance of hydroponic crops such as lettuce, contributing to food security and the advancement of sustainable agricultural practices in tropical climate conditions.

**Keywords:** Nutrient solution oxygenation, Plant growth, Hydroponic cultivation, Sustainable agricultural practices.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Lactuca sativa* L. en este caso Lechuga variedad Rio grande en un sistema hidropónico, refiérase a la duración del tiempo de aireación de la solución nutritiva por cada 4 horas en la técnica de Raíz Flotante (TRF). La lechuga, conocida por sus diversas formas y colores, es una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, y actualmente, se cultiva tanto al aire libre como en sistemas hidropónicos donde permite superar las limitaciones impuestas por las condiciones climáticas, de luz y de suelo **(1)**; la implementación de la hidroponía ha sido ampliamente adoptada tanto en explotaciones agrícolas al aire libre como en la agricultura protegida; esta técnica permite el cultivo de diversas hortalizas sin la necesidad de suelo, lo que proporciona ventajas significativas en términos de productividad y calidad de los cultivos **(2)**, esto ha llevado a que los cultivos hidropónicos obtengan un reconocimiento trascendental dentro de las alternativas de cultivo, de esta manera, en la última década, el cultivo hidropónico ha emergido como una alternativa suplementaria para satisfacer las necesidades alimentarias de la población **(3)**. Sin embargo, en cada localidad es necesario conocer el comportamiento del cultivo según las condiciones climáticas, así. la agricultura protegida, que incluye la hidroponía, es significativamente influenciada por las condiciones climáticas **(4)**. La hidroponía se presenta como una importante alternativa a la producción tradicional de hortalizas en suelo, el sistema de raíz flotante, aunque más económico de implementar y operar, presenta una menor eficacia en la oxigenación de las raíces de las lechugas. En la región Loreto a nivel experimental y a nivel de pequeños productores se está cultivando lechugas en sistemas hidropónicos NFT y la Técnica de la Raíz Flotante TRF, es necesario conocer el tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva. De lo anterior se formuló la siguiente interrogación ¿De qué modo influye el tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva en el rendimiento de *Lactuca sativa* L. en un sistema hidropónico en Loreto?, siendo el

objetivo general el Determinar si el tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva influye en el rendimiento en *Lactuca sativa* L. en el sistema hidropónico en Loreto.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

En el año 2017, se llevó a cabo la investigación Estudio de Cultivo de Lechuga Hidropónica en Sistema Recirculante NFT con Tres Niveles de Aireación. Con el objetivo de identificar el nivel óptimo de aireación y cultivar para el cultivo de lechuga hidropónica. Se empleó el sistema hidropónico NFT, donde la solución nutritiva circula continuamente a través de canales de cultivo. Los resultados mostraron que el nivel A2 de aireación mejoró significativamente el crecimiento y la calidad del cultivo, con mayor altura de planta, número de hojas y mejor color. Sin embargo, el nivel A0 demostró un mayor peso fresco y seco. A pesar de esto, el nivel A0 resultó más recomendable debido a su rentabilidad neta superior. En cuanto a los cultivares, Grand Rapids destacó por su longitud de raíz, peso fresco y seco, contenido de sólidos solubles y color. Por otro lado, Lollo Bionda mostró un mayor número de hojas. El cultivar Grand Rapids obtuvo el mejor rendimiento con 392,44 kg/100 m<sup>2</sup> **(5)**.

Estudio de 2023 sobre el Efecto de Alturas de Suspensión y Densidades de Trasplante en la Producción Hidropónica de Lechuga. El objetivo fue evaluar diferentes alturas de suspensión y densidades de trasplante para determinar su impacto en el rendimiento del cultivo hidropónico de lechuga utilizando la técnica de raíz flotante. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones, considerando alturas de suspensión (0 cm, 1 cm, 3 cm y 5 cm) y densidades de trasplante (15 cm, 20 cm y 25 cm). Los resultados destacaron que el tratamiento con altura de suspensión de 1 cm y densidad de trasplante de 20 cm obtuvo el mayor rendimiento de peso fresco, seguido por el tratamiento con la misma altura de suspensión, pero densidad de trasplante de 15 cm **(6)**.

En el 2015, se investigó el efecto de la aireación y la concentración de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva en el peso fresco y estado nutricional de la lechuga romana cv. Lulú en un sistema de producción raíz flotante. Se utilizaron diferentes niveles de concentración de N y K en la solución nutritiva con y sin aireación, evaluando el desarrollo vegetativo y la acumulación y eficiencia de absorción de nutrientes. Se observaron diferencias significativas en la aireación para el desarrollo del cultivo y la biomasa de raíz, así como en la acumulación de nutrientes como P, K y Mg. La eficiencia de absorción de estos nutrientes se vio afectada por la aireación. La adición de aireación en la solución nutritiva mejoró la eficiencia de nutrientes y la acumulación de biomasa, lo que resultó en una mejor absorción de estos por parte de la lechuga romana **(7)**.

En el 2015, se analizó la respuesta de la lechuga romana a la aireación y a diferentes niveles de nitrógeno y potasio en un sistema de raíz flotante. Se observó que la aireación de la solución nutritiva influyó significativamente en el crecimiento vegetativo, pero no en la acumulación de biomasa de raíz. Además, se encontró que la concentración de macronutrientes fue afectada por la aireación, especialmente en el caso del potasio y el fósforo. La eficiencia de absorción de macronutrientes también se vio afectada por la interacción entre la solución y la aireación. Aunque la tasa fotosintética no mostró cambios estadísticamente significativos, se observó un aumento asociado con la disminución de los niveles de nitrógeno y potasio. Esto, a su vez, se relacionó con un aumento en la transpiración y conductancia estomática debido a una menor asimilación de nitrógeno y fósforo. Se sugiere que el aumento de nitrógeno y potasio con aireación promueve una mayor acumulación de macronutrientes y, por lo tanto, una mayor eficiencia en su absorción **(8)**.

En 2012, se llevó a cabo un estudio para investigar el impacto de diferentes niveles de aireación en la solución nutritiva en dos variedades de lechuga "baby



leaf" cultivadas en un sistema de bandejas flotantes. El objetivo era evaluar la calidad inicial y después de un período de almacenamiento de 7 días de las hojas de lechuga. Se utilizaron tres niveles de aireación (alta, baja y sin aireación) y se midieron diversos parámetros agronómicos de la parte aérea y el crecimiento de raíces. Después de la cosecha, las hojas se almacenaron a 5 °C y se analizó el contenido de nitratos, fenoles totales y crecimiento microbiano tanto en el día de procesamiento como después de 7 días. Se observaron cambios en la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en los envases durante la vida útil del producto. Aunque no se encontraron diferencias significativas en la parte aérea y el crecimiento de las raíces entre los niveles de aireación, después del almacenamiento se observaron cambios en el contenido de nutrientes y fenoles totales, especialmente en las plantas cultivadas con alta aireación. La calidad microbiana se mantuvo alta durante todo el proceso, independientemente del tratamiento **(9)**.

En un estudio realizado en 2023 en la provincia de Acobamba, se investigó el efecto de diferentes intervalos de riego por bombeo periférico en la producción hidropónica de lechuga en condiciones de invernadero. El objetivo fue determinar cómo estas frecuencias de riego afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como su costo de producción. Se aplicó un diseño experimental de DCA y se analizó la información utilizando SPSS. Se encontró que las frecuencias de riego de 90 y 120 minutos, con el mismo intervalo de tiempo, resultaron en los mejores rendimientos de lechuga, con plantas más grandes y pesadas. Por otro lado, las frecuencias de riego más cortas mostraron un menor tamaño y peso en las plantas. El consumo de agua fue mayor en los tratamientos con frecuencias de riego más largas. Además, se determinó que el costo de producción inicial de las lechugas hidropónicas es elevado debido al costo del módulo hidropónico y al consumo de energía eléctrica, pero este costo

se reduce con cada ciclo de producción y con el aumento de canales de cultivo y plantas **(10)**.

En un estudio sobre oxigenación radicular en cultivos hidropónicos recirculantes de tomate y lechuga, se examinaron dos métodos pasivos: la pendiente de los contenedores y la inclusión de flujos de variación rápida de la solución nutritiva (SN). Se midió el oxígeno disuelto y las variables de rendimiento en ambos cultivos. Se observó que el oxígeno disuelto fue mayor en la lechuga que en el tomate. Para la lechuga, no hubo diferencias significativas en el contenido de oxígeno entre diferentes pendientes de contenedores o número de saltos hidráulicos. Sin embargo, el rendimiento en peso fresco y peso seco de la raíz fue mayor en contenedores con mayor pendiente y saltos hidráulicos. En el tomate, el oxígeno disuelto fue mayor en contenedores con mayor pendiente y más saltos hidráulicos, con correlaciones fuertes entre el número de saltos y la producción. Estos resultados sugieren que la lechuga no tiene limitaciones de oxígeno en los tratamientos estudiados, mientras que el tomate obtuvo mejores rendimientos en contenedores con mayor pendiente y saltos hidráulicos **(11)**.

En 2012, se llevó a cabo un estudio sobre la oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su impacto en el cultivo de tomate y lechuga. Se evaluaron dos métodos pasivos para incorporar oxígeno: aumentar la pendiente del contenedor y agregar saltos hidráulicos. Se utilizaron contenedores de 24 m de longitud con pendientes del 2 % y 4 %, y de cero a tres saltos hidráulicos en la solución nutritiva. Se midió el oxígeno disuelto en cada salto hidráulico y se registraron el peso fresco de la planta y la raíz, el peso seco y el volumen de la raíz en ambos cultivos. Además, en el tomate se determinó el peso de los frutos por planta. Los resultados mostraron que en lechuga, el mayor peso fresco de la planta se obtuvo con una pendiente del 4 % y tres saltos hidráulicos, mientras que en tomate, el mayor peso de los frutos se

registró en contenedores con una pendiente del 2 % y tres saltos hidráulicos, o del 4 % y dos saltos hidráulicos **(12)**.

El libro "Hidroponía familiar en sustrato: Hágalo fácil" resalta que la salud de la familia es un motivo fundamental para adoptar la práctica de la hidroponía en el hogar. En la agricultura convencional, la contaminación de los vegetales con agroquímicos y coliformes fecales representa un serio riesgo para la salud pública, contribuyendo al desarrollo de enfermedades degenerativas. La hidroponía familiar, al producir alimentos más limpios y menos contaminados, se alinea con el concepto de agricultura limpia o de bajos insumos, enfocada en la prevención de insectos y enfermedades. **(13)**.

El estudio de tesis "Espectrometría de seis cubiertas poliméricas, así como del dosel del cultivo en *Euphorbia pulcherrima* (Willd, ex Klozsch), y su efecto en el desarrollo vegetal y calidad floral" concluye que las propiedades espectrales de la película de Polietileno de alta densidad y de la Malla sombra cristal tuvieron un impacto en el desarrollo y la calidad del cultivo en la zona de Las Encinas. Por otro lado, en la región de Las Enramadas, se observaron valores más altos asociados con las cubiertas de Policarbonato rojo y azul; sin embargo, estas últimas carecían de calidad floral debido a un crecimiento alargado de las plantas. **(14)**.

El estudio de tesis "Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L), bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas" concluye que, según los resultados obtenidos al aplicar tres diferentes soluciones nutritivas en el cultivo hidropónico de lechuga, se observa una mejora en el rendimiento en comparación con el cultivo tradicional de lechuga. Esto se traduce en la obtención de pesos ideales para la comercialización y una calidad superior, especialmente al emplear la solución número 2, la cual contiene los siguientes

nutrientes: N:120, P: 50, K: 100, Ca: 50, Mg: 20, S:6, Fe:5, Cu: 0.02, Zn:0.40, Mn:0.50, Mo:0.005, B:0.40, Co: 0.50 ppm. **(15)**.

En el artículo "Producción Hidropónica de Hortalizas de Hoja", se menciona que en los sistemas hidropónicos de NFT (Nutrient Film Technique), los cultivos se desarrollan en líneas de producción de sección circular o rectangular hechas de material plástico. Estas líneas cuentan con orificios perforados para sujetar los plantines, a través de los cuales se suministra una lámina de solución nutritiva que proporciona todos los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es importante destacar que esta lámina de nutrientes es poco profunda en comparación con otros sistemas hidropónicos, lo que favorece la oxigenación de la solución **(16)**.

En el Boletín No. 43 de la "Red Hidroponía" del año 2009, trataron sobre los "12 mitos de la hidroponía". En este documento, se expresa que, en la hidroponía, los nutrientes necesarios para las plantas se suministran de manera inmediata, sin necesidad de esperar un tiempo para la mineralización. Además, se destaca que las plantas pueden alimentarse según su demanda con un bajo consumo, permitiendo ajustar los horarios de riego día a día en función de las necesidades nutricionales **(17)**.

En el estudio realizado en 2017 en el centro experimental de Cota Cota, el autor concluye que al comparar el rendimiento, consumo y eficiencia en el uso del agua entre sistemas de cultivo de lechuga con y sin mechas, se encontraron similitudes. Aunque inicialmente, durante las primeras semanas después del trasplante, los sistemas con mechas mostraron un mayor consumo de agua, esta tendencia se invirtió con el tiempo. Esto se debió a que, en los sistemas sin mechas, las raíces se extendieron hacia la solución nutritiva para compensar la absorción de agua, lo que resultó en una mayor cantidad de raíces y, en última

instancia, en una menor necesidad de agua. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en la calidad de las hojas de lechuga, ya que en los sistemas sin mechas se observaron hojas amarillentas y de menor tamaño. **(18)**.

En el 2015, según el estudio sobre la producción de pimiento morrón utilizando mallas sombra de diferentes colores, se encontró que las mallas de colores transmitieron entre un 55.3% y un 58.3% de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), mientras que la malla negra transmitió un 51.9%. A pesar de que la reducción de la radiación causada por las mallas no tuvo un impacto significativo en la temperatura, se observó un aumento en la humedad relativa, que varió del 9.1% (para la malla negra) al 21.0% (para la malla beige). Las mallas de color verde y rojo promovieron un mayor crecimiento en altura y área foliar de las plantas. Además, los rendimientos de calidad para la exportación obtenidos con las mallas superaron en un rango que va desde el 52.5% (con la malla negra) hasta el 132.8% (con la malla beige) a los 20.4 toneladas por hectárea cosechadas en el grupo de control sin malla **(19)**.

## **1.2. Bases teóricas**

A medida que las personas se adentran en los sistemas de cultivo hidropónico, pasan de realizar cultivos ocasionales destinados a la supervivencia o con propósitos demostrativos, a emprender cultivos comerciales. Con este cambio, el sistema se vuelve más complicado y se requiere un mayor grado de conocimiento para lograr el éxito en el cultivo **(20)**.

En el método de cultivo en agua, las raíces de las plantas crecen total o parcialmente dentro de un recipiente con agua. En todos los casos, se utilizan soportes para sostener las plantas. Dentro del recipiente, los factores que influyen en el desarrollo vegetativo están determinados por el pH, que se debe mantener dentro de un rango de 6.5 a 7.0, y la ausencia de luz, ya que la solución nutritiva se mantiene en la

oscuridad para prevenir el crecimiento de algas, las cuales podrían competir con las raíces de las plantas por oxígeno y nutrientes **(21)**.

### **1.3. Definición de términos conceptuales**

La hidroponía es un conjunto de métodos que posibilita el cultivo de plantas en un entorno sin suelo. Estas técnicas permiten producir plantas, principalmente herbáceas, utilizando estructuras simples o complejas en diversas ubicaciones, como azoteas, suelos poco fértiles, terrenos irregulares, invernaderos con o sin control climático, entre otros. El término "hidroponía" se deriva de las palabras griegas "hidro" (agua) y "ponos" (trabajo), lo que significa literalmente trabajo en agua **(20)**.

La técnica hidropónica conocida como Nutrient Film Technique (NFT) se emplea para incrementar la productividad en la agricultura hidropónica. Su objetivo radica en optimizar el uso del espacio disponible y establecer un sistema cerrado que permita recircular la solución nutritiva utilizada **(22)**.

La etapa fenológica se caracteriza por períodos definidos por cambios morfológicos o fases fenológicas específicas. Estos cambios están marcados por la aparición, transformación o desaparición de órganos vegetales, los cuales son influenciados por el entorno ambiental **(23)**.

Las plantas serán alimentadas con una solución nutritiva versátil y económica, diseñada para satisfacer las necesidades de los productores locales. Esta solución será fácil de preparar y cumplirá con los requisitos necesarios para el cultivo de hortalizas de hoja en sistemas de cultivo hidropónico NFT **(16)**.

## **CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **2.1. Formulación de las hipótesis**

#### **2.1.1. Hipótesis general**

El tiempo de duración de aireación influye significativamente en el rendimiento en Lactuca sativa L. en el sistema hidropónico en Loreto.

#### **2.1.2. Hipótesis específicas**

- El tiempo de duración de aireación influye significativamente en las características vegetativas en Lactuca sativa L. en el sistema hidropónico en Loreto.
- El tiempo de duración de riego influye significativamente en el rendimiento de planta de Lactuca sativa L. en el sistema hidropónico en Loreto.

### **2.2. Variables y su operacionalización**

#### **2.2.1. Identificación de las variables**

##### **Variable independiente (x):**

X. Tiempo de duración de riego

##### **Variable dependiente (y):**

Y. Rendimiento

#### **2.2.2. Operacionalización de las variables**

##### **Variable independiente**

X. Tiempo de duración de riego

X<sub>1</sub>. Riego de 3 minutos

X<sub>2</sub>. Riego de 6 minutos

X<sub>3</sub>. Riego de 9 minutos

X<sub>4</sub>. Riego de 12 minutos

### **Variable dependiente**

Y<sub>1</sub>. Características vegetativas

Y<sub>1.1</sub>. Altura de planta

Y<sub>1.2</sub>. Ancho de planta

Y<sub>1.3</sub>. Cantidad de hojas

Y<sub>1.4</sub>. Largo de raíz

Y<sub>1.5</sub>. Diámetro de tallo

Y<sub>1.6</sub>. Peso de raíz

Y<sub>2</sub>. Rendimiento

Y<sub>2.1</sub>. Peso de planta



## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

El estudio adoptó un enfoque transversal-analítico con un nivel de investigación predominantemente explicativo y cuantitativo. Se empleó un diseño experimental con objetivos comparativos, y las variables fueron medidas en una escala ordinal y de razón. Se verificó el comportamiento de los datos en función de la distribución de la variable según los supuestos de normalidad.

### **3.2. Diseño muestral**

Para el análisis, se utilizó el Análisis de Varianza o, en su defecto, la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. El modelo lineal aditivo se expresó como sigue:  $Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$ , donde  $U$  representa el efecto de la media general,  $T_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento, y  $E_{ij}$  es el efecto del error de la observación experimental.

#### **Características del área experimental**

El estudio se llevó a cabo en el Fundo Zungarococha de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, situado a 45 minutos de la ciudad de Iquitos, dentro del proyecto de técnicas de cultivos hortícolas.

#### **Ubicación geográfica**

- Distrito: San Juan Bautista
- Provincia: Maynas
- Región: Loreto
- Coordenadas UTM: 704220 Este, 9557313 Norte
- Altitud: 109 metros sobre el nivel del mar.

## **Análisis de varianza**

Se realizó considerando el comportamiento de normalidad y la heterogeneidad de las varianzas.

**Cuadro 1. Tratamientos**

<b>TRAT</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CLAVE</b>
T1	Riego de 3 minutos	R3
T2	Riego de 6 minutos	R6
T3	Riego de 9 minutos	R9
T4	Riego de 12 minutos	R12

### **3.3. Procedimientos de recolección de datos**

Durante la fase de campo, se llevaron a cabo las mediciones de las variables en estudio, que incluyeron:

- Altura de planta: medida desde el suelo hasta el punto más alto de la planta.
- Ancho de planta: tomado en la parte media de la planta entre los lados extremos de la expansión foliar.
- Cantidad de hojas: se contaron todas las hojas basales, intermedias y apicales al momento de la evaluación, registrando hasta el ápice promedio entre la hoja más larga y la de longitud intermedia.
- Longitud de raíces: medida desde la bifurcación del tallo hasta el punto intermedio entre las raíces primarias y secundarias.
- Diámetro de tallo: medido entre la bifurcación del cuello de la raíz y la inserción de las primeras hojas basales.
- Peso de raíces: registrado al momento de la evaluación, incluyendo todas las raíces primarias y secundarias.
- Peso total de planta: medido en el momento de la cosecha.

### **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos, se utilizó la técnica de instalación de la cama almaciguera. Se colocaron las plántulas en conos de esponja humedecida,

sujetadas en una lámina de poro Flex con solución nutritiva de baja conductividad en una bandeja de superficie lisa con papel húmedo. Después de crecer durante 15 días, las plántulas fueron trasplantadas a las cajas del sistema de riego por flujo laminar de nutrientes (TRF) para completar su desarrollo vegetativo.

#### **3.4. Procesamiento y análisis de los datos**

Para llevar a cabo el análisis estadístico de los datos, se realizaron pruebas para verificar los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Para evaluar la normalidad, se emplearon métodos gráficos como los Q-Q plots y el método analítico de Lilliefors (L), utilizando la media y la varianza estimada de cada variable de respuesta. La homocedasticidad se evaluó mediante gráficos de dispersión y el método analítico Q de Cochran, considerando la mayor varianza y la suma total de las varianzas. En caso de cumplir con estos supuestos, se utilizó el estadístico F en el Análisis de Varianza de Fisher, o su equivalente no paramétrico, la prueba de Kruskal Wallis.

#### **Análisis de la información**

Los resultados se analizaron utilizando el paquete estadístico SPSS STATISTIC Versión 23.0, el software InfoStat y el paquete Statigraphic. Se examinó si los tiempos de aireación de la solución nutritiva influyeron en el rendimiento de la lechuga en el sistema hidropónico en la TRF.

#### **3.5. Aspectos éticos**

Durante la ejecución del trabajo, se respetaron las condiciones ambientales del entorno con responsabilidad socioambiental. Se utilizaron materiales experimentales no contaminantes y se realizaron labores amigables con el medio ambiente para evitar el perjuicio a los recursos naturales.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Caracteres agronómicos

#### 4.1.1. Altura de planta (cm)

En el Cuadro 2, la prueba de Kruskal Wallis expresa que hay una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ) en la altura de las plantas (en centímetros) según el momento del tiempo de duración de aireación, según lo indicado por la prueba de Kruskal-Wallis.

**Cuadro 2. Prueba de Kruskal Wallis de Altura de planta (cm)**

Prueba de Kruskal Wallis		Altura de planta (cm)				
Momento de luz zolar	Medias	D.E.	Medianas	Rangos	H	p-valor
Aireación 3 minutos	29.20	2.15	29.00	25.90	13.31	<0.000
Aireación 6 minutos	30.60	4.16	23.50	15.45		
Aireación 9 minutos	33.10	5.06	22.00	12.35		
Aireación 12 minutos	32.60	1.26	29.50	28.30		

(\*) Significativo, Alfa=0.01

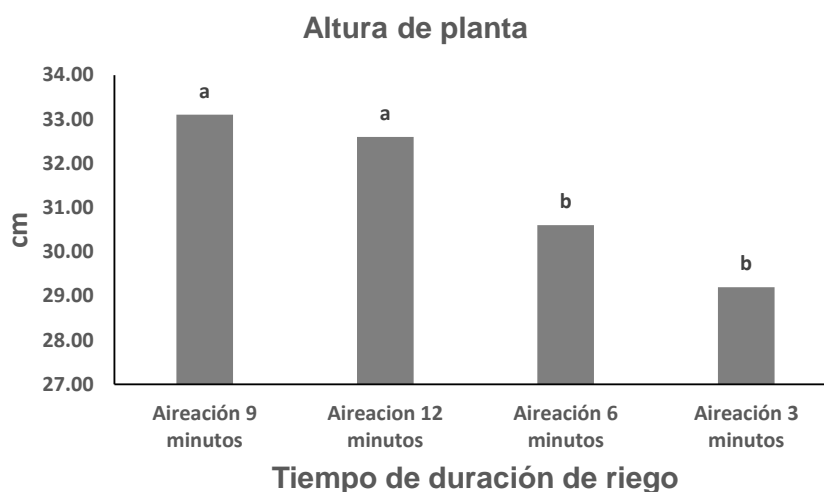
**Cuadro 3. Prueba de comparaciones múltiples de los promedios máxima de altura de planta (cm).**

Tiempo de duración de aireación	Medias (cm)	Rango	Sig
Aireación 9 minutos	33.10	12.35	a
Aireación 12 minutos	32.60	15.45	a
Aireación 6 minutos	30.60	25.90	b
Aireación 3 minutos	29.20	28.30	b
	31.38		

El cuadro 3, la prueba de Kruskal-Wallis para la altura de las plantas de lechuga en hidroponía utilizando la técnica de raíz desnuda muestra diferencias significativas para tiempo de oxigenación de la solución nutritiva.

Las medianas de altura de planta, se nota un efecto en función de más tiempo de oxigenación, al parecer un tiempo de 9 minutos es óptimo, y mayor tiempo (12 minutos) la altura parece rezagarse.

**Gráfico 1. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de altura de planta en cm.**



Según el gráfico 1, podemos concluir que hay diferencias significativas en la altura de las plantas de lechuga en hidroponía según el tiempo de aireación de la solución nutritiva, se activó mejora a 9 minutos, disminuyendo a mayor y a menores tiempos de duración de oxigenación.

#### 4.1.2. Longitud de raíces (cm)

En el Cuadro 4, el Análisis de Varianza de longitud de las raíces en centímetros presenta una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ) en tiempos de aireación de la solución nutritiva. El coeficiente de 7.18% indica confianza experimental.

**Cuadro 4. Análisis de variancia para largo de raíces (cm)**

Fuente de Var.	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Tiempo de duración de aireación	3	37.2	12.40	13.29362716	0.0000
Error	36	33.58	0.93		
Total	39	70.78			

CV= 7.18%

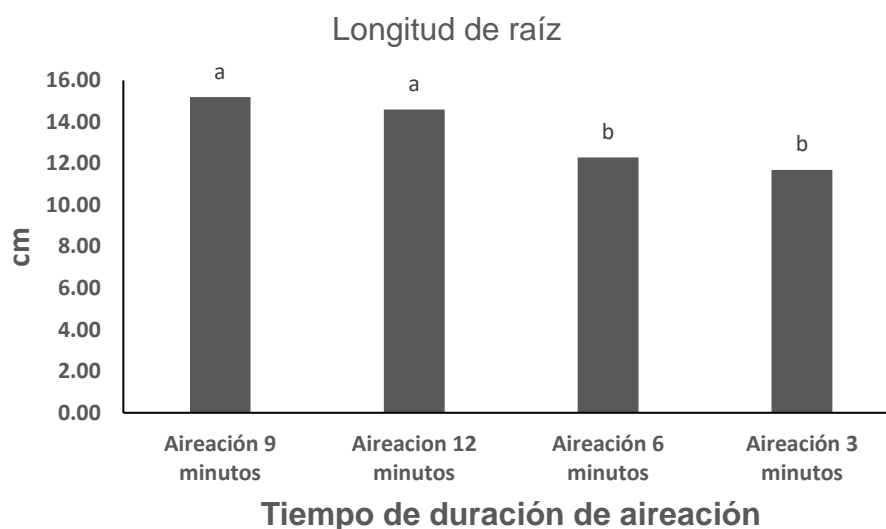
(\*) p-valor > 0.05. Significativo, Alfa=0.05

**Cuadro 5. Promedios del largo de raíces en cm.**

<b>Tiempo de duración de aireación</b>	<b>Medias (cm)</b>	<b>E.E</b>	<b>Sig</b>
Aireación 9 minutos	15.20	0.44	a
Aireación 12 minutos	14.60	0.44	a
Aireación 6 minutos	12.30	0.44	b
Aireación 3 minutos	11.70	0.44	b
	13.45		

El cuadro 5, las comparaciones de medias independientes de Tukey de longitud de las raíces en centímetros expresan significativas entre los diferentes a los tiempos de aireación de la solución nutritiva. De igual modo la aireación durante 9 minutos resulta que tiene mejor efecto en el largo de las raíces.

**Gráfico 2. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de longitud de raíces en cm.**



Según el gráfico 2, podemos concluir que hay diferencias significativas en la longitud de las raíces de la lechuga en hidroponía según el tiempo de aireación de la aireación con 9 y 12 minutos favorece una mayor longitud de raíz.

#### 4.1.3. Ancho de planta (cm)

En el Cuadro 6, el análisis de variancia atribuye al tiempo de duración de aireación un efecto significativo en el ancho de planta de la lechuga en hidroponía técnica de la raíz flotante. El CV es del 5.52%, lo que indica una moderada variabilidad en las medidas del ancho de planta en relación con su media.

**Cuadro 6. Análisis de variancia para ancho de planta (cm)**

Fuente de Variabilidad	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Tiempo de duración de aireación	3	320.5	106.83	53.6476496	0.0000
Error	36	71.69	1.99		
Total	39	392.19			

CV= 5.52%

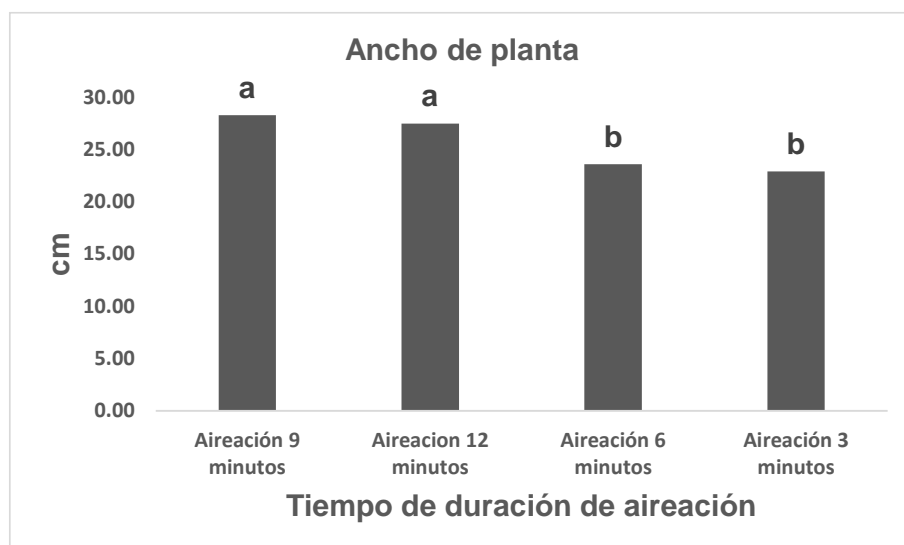
(\*) p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

**Cuadro 7. Prueba de Tukey del promedio máxima de ancho de planta (cm)**

Tiempo de duración de aireación	Medias (cm)	E.E	Sig
Aireación 9 minutos	28.30	0.44	a
Aireación 12 minutos	27.50	0.44	a
Aireación 6 minutos	23.60	0.44	b
Aireación 3 minutos	22.90	0.44	b
	25.58		

El Cuadro 7, indica que el ancho de la planta en centímetros, según el tiempo de aireación muestra diferencias significativas. Las medias del ancho de la planta muestran mejor performance con mayor tiempo de oxigenación de la solución nutritiva con 9 minutos de duración.

**Gráfico 3. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de ancho en cm.**



Según el gráfico 3, se puede concluir que hay diferencias significativas en el ancho de la planta en función del tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva, con un mejor comportamiento cuando son crecidas en un tiempo de duración de 9 minutos.

#### 4.1.4. Número de hojas

En el Cuadro 8, el Análisis de variancia indica que el tiempo de aireación de la solución nutritiva tiene un efecto significativo ( $p < 0.01$ ) en el número de hojas por planta. El coeficiente de variación es del 5.52%, lo que indica una moderada variabilidad en las medidas de ancho de planta en relación con su media.

**Cuadro 8. Análisis de variancia para número de hojas.**

Fuente de Var.	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Tiempo de duración de aireación	3	10.9	3.63	5.129411765	0.0047
Error	36	25.5	0.71		
Total	39	36.4			

CV= 5.52%

(\*) p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

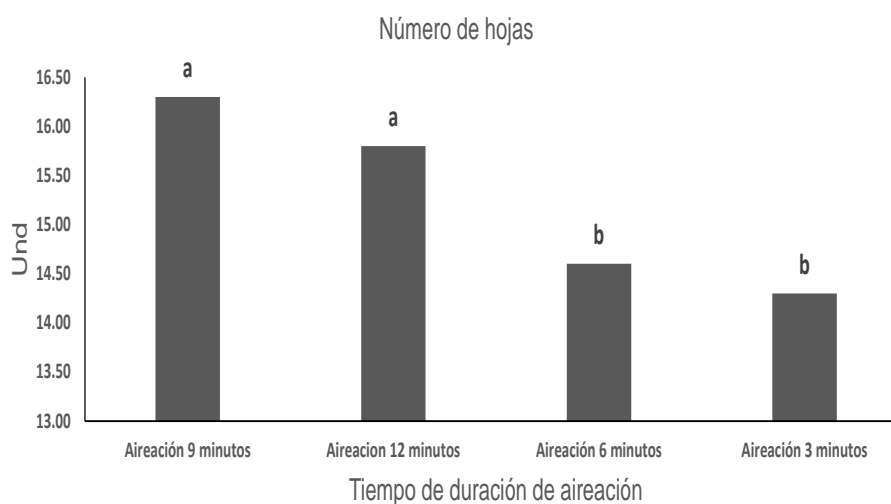


**Cuadro 9. Prueba de Tukey para el número de hojas**

Tiempo de duración de aireación	Medias (cm)	E.E	Sig
Aireación 9 minutos	16.30	0.26	a
Aireación 12 minutos	15.80	0.26	a
Aireación 6 minutos	14.60	0.26	b
Aireación 3 minutos	14.30	0.26	b
	15.25		

El cuadro 9, el análisis de Tukey para el número de hojas de la lechuga en hidroponía técnica de raíz flotante muestra diferencias significativas con 9 y 12 minutos de tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva las plantas producen mayor cantidad de hojas por planta.

**Gráfico 4. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de cantidad de hojas.**



Según el gráfico 4, reafirma diferencias significativas en el número de hojas de la lechuga en hidroponía en función al tiempo de duración de aireación con 9 y 12 minutos en la solución nutritiva.

#### 4.1.5. Peso de raíz (g)

En el Cuadro 10, el Análisis de variancia vemos que hay una relación significativa entre el tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva y el peso de la raíz de la lechuga en hidroponía utilizando la técnica de raíz desnuda. En el contexto de este análisis, un CV del 12.40% sugiere que las mediciones del peso de la raíz pueden variar significativamente entre las muestras o entre los tiempos de aireación de la solución nutritiva.

**Cuadro 10. Análisis de variancia para peso de raíz en g.**

Fuente de Var.	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Tiempo de duración de aireación	3	0.148	0.05	0.035747353	0.9908
Error	36	49.682	1.38		
Total	39	49.83			

CV= 12.40%

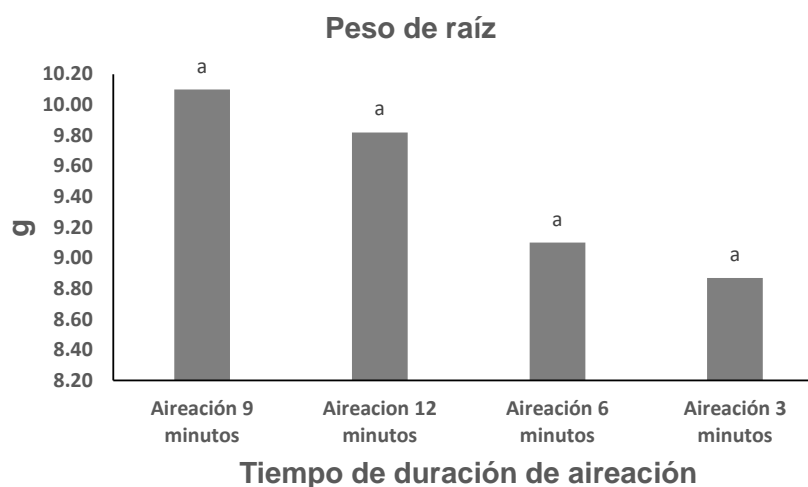
(\*) p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

**Cuadro 11. Prueba de Tukey para peso de raíz**

Tiempo de duración de aireación	Medias (g)	E.E	Sig
Aireación 9 minutos	10.10	0.44	a
Aireación 12 minutos	9.82	0.44	a
Aireación 6 minutos	9.10	0.44	a
Aireación 3 minutos	8.87	0.44	a
	9.47		

El cuadro 11, muestra las medias del peso de la raíz de la lechuga en diferentes tiempos de duración de aireación, el orden de mérito, es decir, de las medias de mayor a menor. Siendo el de mayor peso las raíces con aireación con 9 minutos de duración de oxigenación en la solución nutritiva.

**Gráfico 5. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de raíz en g.**



El gráfico 5, muestra la media más alta le corresponde a las plantas que fueron aireados durante 9 minutos seguido de 12 minutos. Aunque las diferencias numéricas entre las medias son pequeñas, siempre los de 9 y 12 ocupan los primeros lugares y los últimos de 6 y 3 minutos.

## 4.2. Rendimiento

### 4.2.1. Peso de hojas (g)

En el Cuadro 12, el Análisis de Varianza para el peso foliar de la lechuga en función del tiempo de aireación de la solución nutritiva muestra que es altamente significativa, con un valor de p muy pequeño ( $p < 0.0001$ ). El CV es del 10.33%, lo que indica una moderada variabilidad en las medidas del peso de hojas en relación con su media.

**Cuadro 12. Análisis de variancia para peso de hojas**

Fuente de Variabilidad	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Tiempo de duración de aireación	3	14865.23	4955.08	65.00924212	0.0000
Error	36	2743.96	76.22		
Total	39	17609.19			

CV= 10.33%

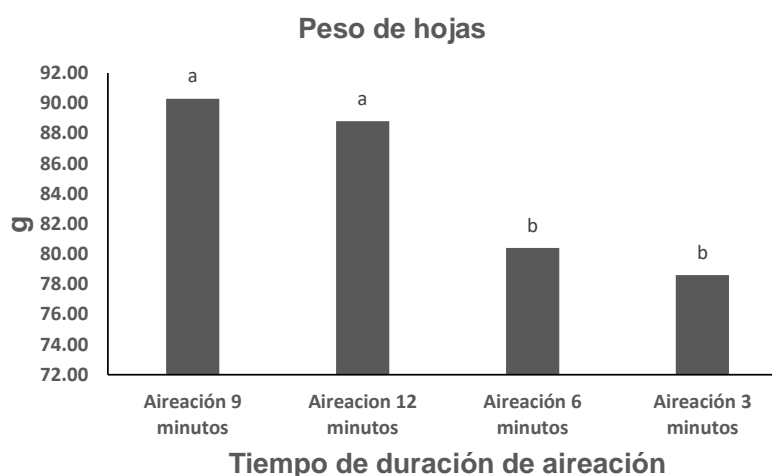
(\*) p-valor  $< 0.01$ . Significativo, Alfa=0.05

**Cuadro 13. Prueba de Tukey para peso de hojas.**

Tiempo de duración de aireación	Medias (cm)	E.E	Sig
Aireación 9 minutos	90.30	0.44	a
Aireación 12 minutos	88.80	0.44	a
Aireación 6 minutos	80.40	0.44	b
Aireación 3 minutos	78.60	0.44	b
	84.53		

El cuadro 13, muestra que la media más alta corresponde al tiempo de duración de 9 minutos (T3), seguido de 12 minutos de duración, aireado correspondiente al (T2), mostrando diferencia estadística significativa para las plantas con medias de peso foliar con oxigenaciones con menos tiempos de duración.

**Gráfico 6. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de hojas en g.**



El gráfico 6, muestra que hay diferencias significativas en el peso total de las hojas de la lechuga del tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva, mostrando similar valor para 12 minutos de aireación, en comparación de las plantas con menos tiempos de duración de aireación de la solución nutritiva, es decir menor provisión de oxígeno.

#### 4.2.2. Peso total de planta (g)

El Análisis de varianza para el peso total de la planta de lechuga en función del tiempo de duración de aireación muestra diferencia altamente significativa, con un valor de p muy pequeño ( $p < 0.0001$ ). el CV es del 12.79%, lo que indica una moderada variabilidad en las medidas del peso total de la planta en relación con su media.

**Cuadro 14. Análisis de variancia para peso total de planta en g.**

Fuente de Var.	Gl	SC	CM	Ft	p-value
Tiempo de duración de aireación	3	12953.6	4317.87	31.22114253	0.0000
Error	36	4978.78	138.30		
Total	39	17932.38			

CV= 12.79%

(\*) p-valor < 0.01. Significativo, Alfa=0.05

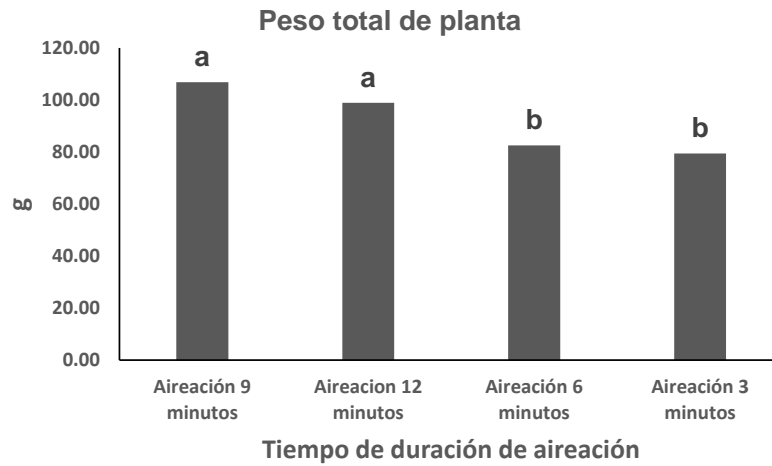
**Cuadro 15. Prueba de Tukey para peso de planta en g.**

Tiempo de duración de aireación	Medias (g)	E.E	Sig
Aireación 9 minutos	106.80	3.46	a
Aireación 12 minutos	98.90	3.46	a
Aireación 6 minutos	82.60	3.46	b
Aireación 3 minutos	79.50	3.46	b

91.95

El cuadro 15, muestra las medias del peso total de la planta de lechuga en diferentes tiempos de duración de aireación de la solución nutritiva, los pesos de plantas que recibieron mayor tiempo de aireación en las raíces como las de 9 y 12 minutos muestran diferencias estadísticas significativas en comparación para los pesos de plantas con menos tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva.

**Gráfico 7. Prueba de comparaciones múltiple de promedio máximo de peso de planta en g.**



El gráfico 7, expresa la supremacía del promedio del peso total de planta con una diferencia estadística significativa en función del tiempo de duración de aireación de la solución nutritiva en comparación con las plantas con menores tiempo de aireación, es decir, la proporción de oxígeno puede implicar menor disponibilidad debido al menor tiempo de movimiento del agua con nutrientes para la absorción radicular.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En el presente estudio, se evaluó el efecto del tiempo de duración de aireación en el rendimiento de *Lactuca sativa* L. en un sistema hidropónico. Los resultados revelaron diferencias significativas en varios parámetros agronómicos y de rendimiento en función del tiempo de aireación de la solución nutritiva.

En cuanto a los caracteres agronómicos, se observó que la altura de la planta, la longitud de las raíces, el ancho de la planta, el número de hojas y el peso de la raíz mostraron respuestas variables en relación con el tiempo de aireación. La altura de la planta aumentó con el tiempo de aireación, alcanzando un máximo a los 9 minutos de duración, luego disminuyó con mayores y menores tiempos de aireación, al respecto **Mendoza (5)** encontró que el nivel A2 de aireación mejoró significativamente el crecimiento de la lechuga, aunque el nivel A0 demostró un mayor peso fresco y seco. Esto sugiere que diferentes niveles de aireación pueden tener efectos distintos en el crecimiento de la lechuga. La longitud de las raíces también mostró un aumento significativo con el tiempo de aireación, siendo óptimo a los 9 minutos. Sin embargo, **Aledo (9)** encontró que no hubo diferencias significativas en la parte aérea y el crecimiento de las raíces de la lechuga entre diferentes niveles de aireación. Esto indica que los efectos de la aireación pueden variar según las condiciones específicas del cultivo y el sistema utilizado.

En cuanto al rendimiento, el peso de las hojas y el peso total de la planta aumentaron significativamente con el tiempo de aireación, con los mayores valores observados a los 9 minutos de duración. Este resultado es coherente con **(5)**, donde se encontró que el nivel A2 de aireación mejoró el rendimiento de la lechuga. Al respecto, **Martínez-Gutiérrez et al. (12)** encontraron que el mayor peso fresco de la planta se obtuvo con una pendiente del 4% y tres saltos hidráulicos, lo que sugiere que diferentes métodos de aireación pueden influir en el rendimiento del cultivo.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

En cuanto a las características agronómicas evaluadas en el cultivo de lechuga utilizando la técnica de raíz flotante (TRF) en un sistema hidropónico, se pudo observar que la duración del tiempo de aireación de la solución nutritiva juega un papel crucial en el desarrollo de la planta. Se encontró que, en general, periodos de aireación más prolongados, especialmente alrededor de los 9 minutos, resultaron en un mejor desempeño agronómico en términos de altura de la planta, longitud de las raíces, ancho de la planta, número de hojas y peso de la raíz. Sin embargo, se evidenció una disminución en el rendimiento agronómico cuando se prolongaba demasiado el tiempo de aireación, lo que sugiere la existencia de un punto óptimo en el tiempo de oxigenación para maximizar el crecimiento y desarrollo de la lechuga en condiciones hidropónicas.

Respecto al rendimiento del cultivo de lechuga, los resultados demostraron que la duración del tiempo de aireación de la solución nutritiva también influye significativamente en la producción de hojas y en el peso total de la planta. Se encontró que los periodos de aireación más cortos tendieron a disminuir el peso de las hojas y el peso total de la planta, mientras que periodos más prolongados, en torno a los 9 minutos, favorecieron un mayor rendimiento en términos de peso foliar y peso total de la planta.

El presente estudio resalta la importancia del manejo preciso de la duración del tiempo de aireación de la solución nutritiva en el sistema hidropónico de raíz flotante para el cultivo de lechuga, especialmente en contextos como la región Loreto, caracterizada por altas temperaturas. Un adecuado control de este parámetro agronómico no solo puede mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas, sino que también puede incrementar significativamente el rendimiento del cultivo, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible de la agricultura en regiones con condiciones climáticas desafiantes.



## CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Se recomienda enfocar futuros estudios en la optimización precisa del tiempo de aireación de la solución nutritiva en sistemas hidropónicos de raíz flotante para el cultivo de lechuga. Es fundamental continuar evaluar diferentes intervalos de tiempo de oxigenación, especialmente en condiciones específicas de temperatura y humedad, para identificar el punto óptimo que maximice el crecimiento y rendimiento de las plantas. Además, se sugiere investigar más a fondo los mecanismos fisiológicos y bioquímicos involucrados en la respuesta de la lechuga a la oxigenación de la solución nutritiva.

Llevar a cabo estudios de validación y aplicación práctica de los resultados obtenidos en condiciones reales de producción en la región de Loreto y otras zonas con climas similares. Esto implicaría la implementación de ensayos a campo utilizando diferentes estrategias de manejo del tiempo de aireación en sistemas hidropónicos comerciales o de pequeña escala, con el fin de evaluar su viabilidad y eficacia en condiciones agronómicas reales. Asimismo, se sugiere involucrar a agricultores locales y extensionistas agrícolas en este proceso para facilitar la adopción de estas prácticas innovadoras en el sector agrícola.

Continuar promoviendo la investigación y la innovación en el campo de la agricultura hidropónica en regiones con condiciones climáticas adversas. Esto incluye el desarrollo de tecnologías y prácticas agronómicas adaptadas a entornos específicos, así como la capacitación y transferencia de conocimientos a los agricultores locales para fomentar la adopción de prácticas sostenibles y resilientes al cambio climático. Además, se insta a las autoridades gubernamentales y a los actores del sector agrícola a brindar apoyo y recursos para la implementación de estas iniciativas, con el fin de fortalecer la seguridad alimentaria y promover el desarrollo económico y social en estas regiones vulnerables.

## CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

1. **Zolezzi V. M.** Manual de Producción de Lechuga [Internet]. INIA - INDAP, Santiago 2017; 2017. Disponible en:  
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/e96ddc42-19df-4be3-85cc-ae0f6b0c3dcc/content>
2. **López Elías J.** La producción hidropónica de cultivos. Idesia Arica. 2018;(ahead):0-0.
3. **Valenzuela-Núñez L, Sánchez I, Cervantes G, García-De La Peña C, Talavera C, Contreras E, et al.** Productos orgánicos y fitohormonas: efecto en la concentración de aminoácidos en tubérculos de *Caladium bicolor* en dos etapas fonológicas. En 2017.
4. **Flores Velázquez J, Ojeda Bustamante W, Ángeles Hernández JM, Lobato Sánchez R, Gómez Lugo L, Íñiguez Covarrubias M.** Caracterización agroclimática de la agricultura protegida para la seguridad alimentaria y su adaptación ante el cambio climático [Internet]. IMTA. Coordinación de Riego y Drenaje. Subcoordinación de Ingeniería de Riego; 2017 [citado 2 de mayo de 2024]. Disponible en: <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1815>
5. **Mendoza Rodríguez AM.** Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) hidropónica en sistema recirculante "NFT" tipo piramidal con tres niveles de aireación. 2017 [citado 2 de mayo de 2024]; Disponible en:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6359>
6. **Flores Maldonado MG, Fernández Chávez CM.** Efecto de tres alturas de suspensión para la aireación en tres densidades de trasplante para la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Centro Experimental Cota Cota. Rev Apthapi. 31 de agosto de 2023;9(2):2539-46.
7. **Carreón M, Cesar J.** Peso fresco y estado nutrimental de lechuga romana (*Lactuca Sativa* L.) en respuesta a la aireación y la concentración de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva. 25 de noviembre de 2015 [citado 2 de mayo de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/7665>
8. **Carreón M, Ángel M.** Respuesta de lechuga romana a la aireación y diferentes niveles de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva en sistema de raíz flotante. 12 de febrero de 2015 [citado 2 de mayo de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/6308>
9. **Aledo Guirao J.** Efecto de diferentes niveles de aireación en la solución nutritiva en dos variedades de lechuga "baby leaf", cultivadas en un sistema de bandejas

- flotantes. 23 de noviembre de 2012 [citado 2 de mayo de 2024]; Disponible en:  
<https://repositorio.upct.es/handle/10317/3029>
10. **Fuentes Landeo CA, Fuentes Landeo LR.** 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. 25 de octubre de 2019 [citado 2 de mayo de 2024]; Disponible en:  
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3057>
  11. **López Pozos R.** Evaluación de dos métodos pasivos de oxigenación radicular en cultivo hidropónico recirculante de tomate y lechuga. diciembre de 2011 [citado 2 de mayo de 2024]; Disponible en:  
[http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER\\_CIIDIROAX/120](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/120)
  12. **Martínez-Gutiérrez GA, Ortiz-Hernández YD, López-Pozos R.** Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *Rev Fitotec Mex.* 28 de diciembre de 2012;35(Especial\_5):49.
  13. **Bravo FS.** Hidroponía familiar en sustrato: Hágalo fácil Sembrando hortalizas , cosechando salud. 2015. 60 p.
  14. **Cardeña L.** Espectrometría de seis cubiertas poliméricas así como del dosel del cultivo en *Euphorbia pulcherrima* (Willd, ex Klozsch), y su efecto en el desarrollo vegetal y calidad floral. Tesis de Post grado del Centro De Investigación En Química Aplicada. 2017.
  15. **Abalos J.** Producción hidropónica de tres variedades de lechuga(*lactuca sativa* L.) bajo el sistema NFT. con tres soluciones nutritivas. Universidad técnica de ambato. Facultad de ciencias agropecuarias; 2016.
  16. **Birgi JA.** Producción Hidropónica de Hortalizas de Hoja. 2015.
  17. Morgan Lynetre y Zelanda Nueva. Red Hidroponía, Boletín No 43. 2009. Lima-Perú 12. 12 mitos de la hidroponía. Lima Perú; 2009.
  18. **García PM.** Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en sistema mixto en el centro experimental de cota cota. Univeresidad Mayor de San Andrés. FAcultad de Agonomía.; 2017.
  19. **Ayala-Tafoya, F. Sánchez-Madrid, R. Partida-Ruvalcaba, L. Yañez-Juárez, G. RuizEspinoza, F. Velázquez, T. Valenzuela-López, M. Parra-Delgado MEs.** Producción de pimiento morrón con mallas sombra de colores. *Rev Fitotec Mex.* 2015;38(1):93-9.
  20. **Beltrano J, Gimenez DO.** Cultivo en hidroponía. Cultivo en hidroponía. Argentina: Editorial de la Universidad de la Plata; 2015. p. 181.

21. **Zárate Aquino Margarita Araceli.** Manual práctico de hidroponía. Primera ed. Instituto de Biología [www.ibiologia.unam.mx](http://www.ibiologia.unam.mx), editor. México. Distrito Federal; 2006. 42 p.
22. **Brenes-Peralta L, Jimenez-Morales MF.** Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT (Nutrient Film Technique). 2014;26.
23. **Oasis S.** Manual de hidroponía. 2002;32.

# **ANEXOS**

## 1. Galería de fotos



## 2. Datos originales

trat.	Tiempo de duración de aireación	Altura de planta (cm)	Diámetro de planta (cm)	Número de hojas	Longitud de raíz (cm)	Peso total de planta (g)	Peso de raíz (g)	Peso foliar (g)
T1. Tiempo de aireación 3 minutos	Aireación 3 minutos	36.5	18.0	13.0	12.0	76.0	10.6	65.4
	Aireación 3 minutos	29.3	20.5	14.0	11.0	79.0	11.6	67.4
	Aireación 3 minutos	25.0	18.0	15.0	10.0	57.0	8.0	49.0
	Aireación 3 minutos	21.0	18.0	14.0	8.0	55.0	8.6	46.4
	Aireación 3 minutos	21.0	20.0	15.0	10.0	47.0	8.6	38.4
	Aireación 3 minutos	21.0	17.0	14.0	11.0	45.0	8.0	37.0
	Aireación 3 minutos	21.0	18.0	15.0	10.0	45.0	7.4	37.6
	Aireación 3 minutos	22.0	17.0	14.0	9.0	44.0	7.2	36.8
	Aireación 3 minutos	23.0	17.0	14.0	9.0	46.0	7.0	39.0
	Aireación 3 minutos	22.0	18.0	14.0	10.0	45.0	7.5	38.5
T2. Tiempo de aireación 6 minutos	Aireación 6 minutos	30.0	24.0	17.0	13.0	94.0	9.3	84.7
	Aireación 6 minutos	29.0	24.0	16.0	12.0	102.0	9.0	93.0
	Aireación 6 minutos	30.0	22.0	15.0	12.0	88.0	8.0	80.0
	Aireación 6 minutos	32.0	26.0	16.0	13.0	90.0	8.5	91.5
	Aireación 6 minutos	29.0	23.0	15.0	11.0	85.0	7.0	78.0
	Aireación 6 minutos	24.0	20.0	14.0	11.0	80.0	7.0	73.0
	Aireación 6 minutos	29.0	25.0	15.0	12.0	93.0	8.0	85.0
	Aireación 6 minutos	30.0	24.0	15.0	11.0	95.0	9.0	86.0
	Aireación 6 minutos	28.0	25.0	14.0	12.0	98.0	8.0	90.0
	Aireación 6 minutos	27.0	26.0	16.0	13.0	100.0	9.0	91.0
T3. Tiempo de aireación 9 minutos	Aireación 9 minutos	30.0	25.0	16.0	12.0	96.0	8.5	87.5
	Aireación 9 minutos	29.0	24.0	17.0	13.0	104.0	8.0	96.0
	Aireación 9 minutos	31.0	23.0	15.0	12.0	86.0	9.0	77.0
	Aireación 9 minutos	32.0	25.0	16.0	13.0	99.0	8.3	90.7
	Aireación 9 minutos	30.0	23.0	14.0	11.0	86.0	7.0	79.0
	Aireación 9 minutos	29.0	22.0	15.0	12.0	84.0	8.0	76.0
	Aireación 9 minutos	28.0	25.0	15.0	13.0	92.0	9.0	83.0
	Aireación 9 minutos	30.0	25.0	16.0	11.0	96.0	9.0	87.0
	Aireación 9 minutos	29.0	25.0	14.0	11.0	99.0	8.0	90.0
	Aireación 9 minutos	28.0	24.0	16.0	13.0	102.0	9.0	93.0
T4. Tiempo de aireación 12 minutos	Aieación 12 minutos	34.0	19.0	14.0	11.0	78.0	10.5	67.5
	Aieación 12 minutos	30.0	21.0	13.0	12.0	80.0	11.4	68.6
	Aieación 12 minutos	26.0	19.0	15.0	10.0	82.0	7.0	75.0
	Aieación 12 minutos	24.0	18.0	14.0	9.0	56.0	8.4	47.6
	Aieación 12 minutos	22.0	20.0	15.0	10.0	54.0	7.8	46.2
	Aieación 12 minutos	22.0	18.0	15.0	10.0	52.0	8.0	44.0
	Aieación 12 minutos	21.0	17.0	14.0	10.0	53.0	8.0	45.0
	Aieación 12 minutos	24.0	17.0	14.0	9.0	49.0	8.0	41.0
	Aieación 12 minutos	22.0	18.0	15.0	11.0	48.0	7.0	41.0
	Aieación 12 minutos	23.0	18.0	14.0	10.0	45.0	7.5	38.5
Shapiro-Wilks (Homogeneidad)		<0.0001	0.6935	0.0019	0.0630	0.0008	0.0005	0.0008
Levine (Heterogeneidad de var.)		0.032	0.567	0.288	0.890	0.890	0.025	0.210
Estadística de prueba		kruscall	Fisher	Fisher	Fisher	Fisher	Fisher	Fisher