

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Rendimiento y desarrollo del cultivo de lechuga romana (*Lactuca sativa* L.)
bajo el sistema acuapónico, hidropónico y mezcla de ambos

Por:

Pedro Rodríguez Sánchez

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Torreón, Coahuila, México
Mayo 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Rendimiento y desarrollo del cultivo de lechuga romana (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema acuapónico, hidropónico y mezcla de ambos

Por:

Pedro Rodríguez Sánchez

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

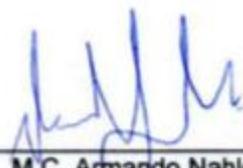
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

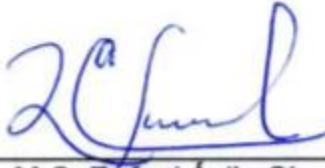
Aprobada por:


Ph.D. Vicente De Paul Alvarez Reyna
Presidente


Dr. José Luis Arispe Vázquez
Vocal externo


Dr. Ricardo Israel Ramírez Gottfried
Vocal


M.C. Armando Nahle Martínez
Vocal suplente


M.C. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Mayo 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Rendimiento y desarrollo del cultivo de lechuga romana (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema acuapónico, hidropónico y mezcla de ambos

Por:

Pedro Rodríguez Sánchez

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Ph.D. Vicente De Paul Álvarez Reyna
Asesor Principal


Dr. José Luis Arispe Vázquez
Asesor principal externo


Dr. Ricardo Israel Ramírez Gottfried
Coasesor


M.C. Armando Nahle Martínez
Coasesor


M.C. Rafael Avila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Mayo 2025

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por ser mi guía, fuente de inspiración y poner en mi camino aquellas personas que de cierta forma contribuyeron alcanzar esta meta.

A mis asesores

Del mismo modo agradezco al Ph.D Vicente De Paul Alvarez Reyna y al Dr. José Luis Arispe Vázquez por el apoyo brindado y conocimientos aportados a lo largo de esta investigación.

A mis profesores

Mi admiración y respeto a todos los docentes que con su conocimiento y consejos guiaron mi camino a lo largo de mi formación académica.

A mis amigos

Muchas gracias, Albis David Antonio, Ángel Alyair Hernández, Adrián Morales y a mis compañeros que con su compañía hicieron más amena esta etapa de mi vida, acompañándome en mis triunfos y fracasos.

DEDICATORIAS

A mis padres dedico este logro desde lo más profundo de mi corazón, Pedro Rodríguez Ortiz y María Sánchez Contreras, por darme la vida, creer en mí, brindarme su apoyo incondicional, quererme a pesar de mis defectos, enseñarme a enfrentar los retos de la vida, con su ejemplo me forjaron como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ustedes, no me alcanzaría la vida para agradecerles todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos, Raúl, Daniel, Abigail, Mayra, Lucia, José Antonio, Emmanuel y Leticia Rodríguez, quienes con mucho cariño llevo en mi corazón, motivación que me ayudo a superar esta etapa de mi vida. A mi querido hermano David, tu partida dejo una marca, pero tu recuerdo guía mi camino por eso que te dedico este triunfo.

A mis abuelos, Bernardo Sánchez Cortez y Basilia Contreras Sánchez por enseñarme que nunca es tarde para hacer las cosas y que con fe todo es posible. Una especial dedicatoria a mis abuelos Gabriel Rodríguez Benites y Juana Ortiz Rosas que en vida estuvieron conmigo en los momentos importantes, porque con su ejemplo aprendí que todo esfuerzo trae su recompensa, y que desde el cielo guían mis pasos por el camino correcto.

Por último, dedico este triunfo al amor de mi vida Natividad Trejo Saldaña gracias por confiar en mí y acompañarme en esta etapa tan importante de mi vida, tu amor me llena de alegría, gracias por ser la mujer que eres, pero sobre todo por enseñarme a creer en mí, y motivarme hacer una mejor persona.

RESUMEN

A nivel mundial la agricultura es el principal consumidor de agua pero la creciente escases de agua y demanda de alimentos representan un reto para la producción. Los sistemas acuapónicos se basan en la simbiosis entre peces y plantas, sistema que puede ser utilizado de manera estratégica para optimizar el uso del agua en la producción de alimentos. Sin embargo, en los sistemas acuapónicos tradicionales no se obtiene una producción de alta calidad, por lo que es necesario profundizar más en el desarrollo de tecnologías y técnicas que incrementen la producción de los sistemas acuapónicos. La presente investigación tiene como objetivo demostrar que la aplicación de una solución nutritiva en el agua con peces incrementa el desarrollo de la lechuga romana (*Lactuca sativa* L.).

El experimento se realizó dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, México, fue establecido del 15 de marzo al 18 de mayo de 2023. El genotipo utilizado fue la lechuga (*Lactuca Sativa* L.), y la especie acuícola fue la mojarra Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Los tratamientos evaluados fue Acuaponía (AC.), Acuaponía mas la adición de solución nutritiva Steiner al 70% (AC.EST.70) e hidroponía con solución nutritiva Steiner al 100% (EST.100). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 3 repeticiones.

El análisis estadístico de los resultados encontró diferencia significativa entre tratamientos, mostrando que la aplicación de solución nutritiva en acuaponía fue similar estadísticamente al sistema hidropónico sin embargo mostro una tendencia a mayor producción.

Palabras clave: Acuaponia, Hidroponía, Solución nutritiva

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------------------|
| AGRADECIMIENTO | <i>i</i> |
| DEDICATORIAS | <i>ii</i> |
| RESUMEN | <i>iii</i> |
| ÍNDICE GENERAL | <i>iv</i> |
| ÍNDICE DE CUADROS | <i>vi</i> |
| ÍNDICE DE FIGURAS | <i>vii</i> |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| Objetivo general | 2 |
| Objetivos específicos | 2 |
| 1.1. Hipótesis | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| Importancia del Cultivo de Lechuga Orejona | 3 |
| Producción Mundial | 3 |
| Producción Nacional | 3 |
| Taxonomía | 4 |
| Morfología | 4 |
| Crecimiento y Desarrollo de la Lechuga | 5 |
| Necesidades Hídricas de la Lechuga | 5 |
| Nutrición del Cultivo | 6 |
| Hidroponía y Acuaponía | 7 |
| Sistema Hidropónico | 7 |
| Técnica de Film de Nutrientes (NFT) | 8 |
| Sistema Acuaponico | 10 |

| | |
|---|-----------|
| Calidad del agua ----- | 13 |
| Solución Nutritiva ----- | 14 |
| Solución Steiner----- | 14 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS ----- | 17 |
| Ubicación y descripción del sitio de la investigación. ----- | 17 |
| Clima ----- | 17 |
| Genotipo y especie utilizada ----- | 17 |
| Diseño experimental.----- | 17 |
| Metodología. ----- | 18 |
| Producción de plántula. ----- | 18 |
| Acondicionamiento del área experimental----- | 19 |
| Establecimiento del experimento----- | 21 |
| Datos evaluados. ----- | 22 |
| Análisis de datos ----- | 24 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN----- | 25 |
| Desarrollo del cultivo ----- | 25 |
| Altura de planta.----- | 25 |
| PESO ----- | 27 |
| V. CONCLUSIÓN----- | 29 |
| VI. BIBLIOGRAFÍA----- | 30 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|--|------|
| Cuadro 1. Clasificación Taxonómica de la Lechuga..... | 4 |
| Cuadro 2. Composición química de la solución universal de Steiner. | 15 |
| Cuadro 3. Elementos minerales esenciales para las plantas. | 16 |
| Cuadro 4. Altura promedio de los tratamientos. UAAAN-UL. 2023 | 26 |
| Cuadro 5. Altura promedio de las repeticiones en las cuatro semanas de evaluacion. UAAAN-UL. 2023 | 27 |
| Cuadro 6. Prueba de Tukey para el peso promedio de los tratamientos. UAAAN-UL. 2023..... | 28 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Sistema NFT (Cevallos, 2020) | 10 |
| Figura 2. Arreglo típico de un sistema acuaponico cerrado con recirculación de agua (Gómez et al., 2015)..... | 11 |
| Figura 3. Conversiones químicas en acuaponía (Mártinez & Albertos , 2014) | 12 |
| Figura 4. Plano de ubicación de tratamientos dentro del invernadero (tratamiento AC area verde, AC.EST. 70 area roja y EST. 100 area amarilla). | 18 |
| Figura 5. Diseño de los posos para 100 litros de almacenamiento. | 19 |
| Figura 6. Colocación de estanques y camas de madera..... | 20 |
| Figura 7. Vista lateral del sistema de recirculación. | 20 |
| Figura 8. Ajuste del pH del agua de los estanques. | 21 |
| Figura 9. Trasplante de la lechuga..... | 22 |
| Figura 10. Medición de altura el 29 de abril de 2023..... | 22 |
| Figura 11. Medición de altura final el 18 de mayo del 2023. | 23 |
| Figura 12. Medición de peso de planta en cada tratamiento. | 23 |
| Figura 13. Grafica altura de planta durante el experimento. UAAAN-UL. 2023 | 25 |

I. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la producción agrícola y seguridad alimentaria, la agricultura representa casi el 70% de toda la extracción de agua y hasta el 95% en algunos países en desarrollo (FAO, 2019), así mismo 2 000 millones de personas viven en países que sufren escasez de agua (ONU, 2019), aunado a esto se prevé que casi 600 millones de personas sufrirán desnutrición crónica en 2030 (ONU, 2023). Al mismo tiempo, la demanda de alimentos orgánicos ha crecido en los últimos años, tanto nacional como internacionalmente, debido a la tendencia general de la población de adoptar una alimentación que considera más sana (infoAgro, 2021).

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos que incluye la incorporación de dos o más componentes peces y plantas, en un diseño basado en la recirculación de agua (Garcia, León , Henández , Chávez, & I, 2005).

En términos generales se deben preferir plantas verdes, cuya parte comercial no sea el fruto y que sean de ciclo corto, debido a las características de los sistemas acuapónicos, no se pueden aplicar ni insecticidas ni fungicidas químicos, ya que podrían matar a los peces (Ramirez, Sabogal, Jiménez , & Hurtado, 2008).

La lechuga representa una hortaliza fundamental en la dieta de innumerables culturas alrededor del mundo, lo que la convierte en un cultivo con gran relevancia social (Axayacatl, 2023). La producción de lechuga en México creció 4.5 por ciento en 2020, al totalizar 539 mil toneladas de la hortaliza, superior a las 516 mil de un

año previo, mientras que la exportación presenta una tendencia al alza (SADER, 2021).

Hernández (2017) hace referencia a lo descrito por Graber & Junge (2007), que los sistemas acuapónicos tradicionales no presentan buen rendimiento y calidad comparados con sistemas independientes de hidroponía y acuicultura debido a que los macronutrientes y micronutrientes producto de los desechos de los peces no satisfacen completamente los requerimientos nutricionales de las plantas. En virtud de lo cual la presente investigación busca implementar innovaciones tecnológicas que permitan reducir el consumo de agua para la agricultura y que al mismo tiempo garantice una alta producción de alimentos de calidad.

Objetivo general

Evaluar que la aplicación de una solución nutritiva en el agua con peces incrementa el desarrollo de la lechuga romana (*Lactuca sativa* L.).

Objetivos específicos

- Evaluar si la solución nutritiva aplicada en el sistema acuaponico incrementa la producción de lechuga.
- Comparar la producción de lechuga en sistemas acuapónicos, e hidropónicos.

1.1. Hipótesis

Hi: La aplicación de solución nutritiva en el sistema acuapónico incrementa la producción de lechuga.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del Cultivo de Lechuga Orejona

A nivel global, la lechuga (*Lactuca sativa L.*), de la familia Asteraceae, destaca como un cultivo de hortaliza de hoja con un alto valor económico. Esto se debe a su adaptabilidad para ser cultivada en cualquier época del año, mediante diferentes métodos de producción, y a la extensa gama de variedades botánicas y cultivares disponibles (Suslow *et al*, 2003).

La lechuga, apreciada por su calidad en ensaladas frescas (Carrasco & Izquierdo, 1996), es una hortaliza de hoja muy popular a nivel mundial, con una amplia gama de formas y colores. Su cultivo se concentra principalmente en climas templados y subtropicales, actualmente se produce tanto al aire libre como en invernaderos, incluyendo sistemas hidropónicos que superan las limitaciones climáticas y de suelo (Saavedra & Corradini, 2017).

Producción Mundial

En 2021 la producción global de lechuga se situó en torno a los 27,7 millones de toneladas (Orús, 2024). Cifra que muestra un leve aumento en comparación con 2020, pero no iguala el pico de 28,6 millones de toneladas alcanzado en 2018.

Producción Nacional

México produjo 509,084 toneladas de lechuga en 2021, con Guanajuato, Zacatecas y Puebla destacando como los principales productores (SAGARPA, 2023). Las variedades Romana y Orejona dominan la producción nacional, representando el 98% de la cosecha. Además, México se posicionó como el noveno

productor mundial de lechuga, con una participación del 1.8% y un crecimiento anual promedio del 4.2%.

Taxonomía

La lechuga pertenece a la familia Asteraceae, la más grande entre las dicotiledóneas (antes conocida como Compositae). La lechuga muestra una amplia variedad de formas, principalmente en sus hojas y hábitos de crecimiento (Saavedra & Corradini, 2017). El Cuadro 1 muestra la clasificación Taxonómica de esta planta.

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica de la Lechuga.

| | |
|----------------------|--|
| Reino | <i>Plantae – Plantas</i> |
| Subreino | <i>Tracheobionta – Plantas Vasculares</i> |
| Superdivisión | <i>Spermatophyta – Plantas con semilla</i> |
| División | <i>Magnoliophyta – Plantas con flores</i> |
| Clase | <i>Magnoliopsida – Dicotiledóneas</i> |
| Subclase | <i>Asteridae</i> |
| Orden | <i>Asterales</i> |
| Familia | <i>Asteraceae</i> |
| Genero | <i>Lactuca L.</i> |
| Especie | <i>Lactuca sativa L.</i> |

Fuente: La Rosa (2015).

Morfología.

La lechuga es una hortaliza anual. Su sistema radical, en general tiene 0.25 m de profundidad, presenta una raíz primaria pivotante, corta y con ramificaciones (Jaques & Hernández, 2005), las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas), y en otros se acogollan más tarde (La Rosa, 2015).

Crecimiento y Desarrollo de la Lechuga

El ciclo de vida de la lechuga está sujeto a cambios influenciados por su composición genética y condiciones climáticas. En consecuencia, plantas genéticamente idénticas, cultivadas simultáneamente en entornos climáticos diferentes, exhibirán distintas etapas de desarrollo (Lopez y Frezza 2022).

El ciclo de crecimiento de la lechuga se divide en cuatro fases distintas: etapa de plántula, formación de roseta, desarrollo de la cabeza y reproductivo (Saavedra y Corradini, 2017).

. El desarrollo de la lechuga se inicia con la fase de plántula, que abarca de 7 a 14 días de germinación hasta la formación de las primeras hojas y el sistema radicular. Luego, la planta entra en la etapa de crecimiento vegetativo, que dura de 30 a 45 días, donde se desarrolla la parte cosechable, incluyendo la formación de la roseta y, en algunas variedades la cabeza. Finalmente, después de la cosecha, ocurre la floración y maduración, caracterizadas por la elongación del tallo central y la aparición de inflorescencias (Azueta, 2022).

Necesidades Hídricas de la Lechuga

Después del oxígeno, el agua es la sustancia más esencial para la vida, siendo un componente fundamental tanto en animales como en plantas (Raffo & Ruiz, 2014). Durante la fotosíntesis, un proceso fisiológico esencial para los vegetales, las plantas toman CO₂ del aire a través de las estomas, lo que resulta en la pérdida de agua por transpiración y por ende en deshidratación. Deshidratación que puede desencadenar estrés hídrico que según su gravedad y duración, puede

perjudicar el crecimiento y rendimiento de la planta, llegando incluso a provocar su muerte (Ruscitti, 2015).

En el reino vegetal, el agua es fundamental para una variedad de procesos, incluyendo el soporte físico, expansión celular, regulación térmica foliar, transporte de sustancias a través del xilema y floema, sobre todo como el solvente donde ocurren todas las reacciones bioquímicas (Calle, 2023).

Al comprender las necesidades de agua de los cultivos, se puede optimizar el riego para lograr la máxima eficiencia en el uso del agua (Escarabajal *et al.*, 2016). Aunque las plantas normalmente obtienen agua y minerales del suelo, no hay diferencias fisiológicas entre las plantas cultivadas en hidroponía y las cultivadas en suelo. En hidroponía las raíces reciben una solución nutritiva, por lo que la absorción de minerales es igual que en suelo (RESH, 2001).

Nutrición del Cultivo

El sistema radicular permite a las plantas obtener los elementos vitales (oxígeno, agua y minerales) para su crecimiento y desarrollo. Los nutrientes esenciales son aquellos que desempeñan funciones metabólicas insustituibles y son fundamentales para la supervivencia de las plantas (Carbone, 2015).

Para poder planificar la fertilización y tomar decisiones informadas en la producción de hortalizas, frutales y forrajeras es imprescindible contar con datos sobre la absorción y extracción de nutrientes (Ciampitti & García, 2010).

La entrega de nutrientes de manera constante y proporcional a la biomasa producida por los órganos de la planta resulta en una mejora significativa en el rendimiento y calidad de la cosecha (Rincón , 2004).

La producción y calidad de los cultivos hortícolas dependen en gran medida del nitrógeno (N), cuyo comportamiento en el suelo es muy dinámico, con procesos de pérdida, ganancia y transformación constantes (Arauni *et al.*, 2008). Los nitratos cumplen un papel esencial en la nutrición vegetal al suministrar nitrógeno para la producción de proteínas, una vez que son reducidos por la enzima nitrato reductasa (Sánchez *et al.*, 2002).

Para alimentar las plantas en sistemas hidropónicos, se utiliza una solución nutritiva, que se obtiene al disolver fertilizantes en agua, asegurando así que reciban todos los elementos esenciales (RESH, 2001).

Hidroponía y Acuaponía

En hidroponía, o cultivo sin suelo, el enfoque principal suele ser el manejo de la raíz, ya que la parte aérea de las plantas se trata de manera similar a los cultivos en suelo. Por lo tanto, la clasificación de los sistemas hidropónicos se basa en cómo se riega el sistema radicular (Urrestarazu, 2015).

Para que una planta crezca sana y alcance un tamaño óptimo, su raíz debe absorber los nutrientes necesarios. En el suelo, este proceso implica un crecimiento constante de la raíz para encontrar agua, nutrientes y aire, lo que demanda gran cantidad de energía de la planta (Beltrano y Gimenez, 2015).

Sistema Hidropónico

Hidroponía, que literalmente significa cultivo en agua, es un sistema donde las plantas crecen con su raíz sumergida en una solución nutritiva líquida, sin la necesidad de un sustrato sólido (Mafla, 2015).

La hidroponía supera al cultivo en suelo al posibilitar una mayor concentración de plantas por metro cuadrado, lo cual se observa claramente en cultivos como fresas y lechugas, y en la producción de forraje hidropónico. Asimismo, el uso de soluciones nutritivas permite un control nutricional preciso, lo que resulta en frutos estandarizados, de mejor tamaño y calidad (Beltrano & Gimenez, 2015).

En comparación con el cultivo en suelo, la hidroponía ofrece un mayor control, lo que se traduce en un uso más eficiente de agua y fertilizantes, una menor incidencia de plagas y enfermedades. Sin embargo, el alto costo de los fertilizantes manufacturados dificulta su adopción por pequeños agricultores (Alcarraz *et al.*, 2018).

La nutrición de las plantas en hidroponía se logra mediante la aplicación de una solución nutritiva que contiene los macronutrientes y micronutrientes requeridos por cada cultivo. Los sistemas hidropónicos se clasifican en dos tipos principales: los sistemas NFT y sistemas de raíz flotante, con o sin sustrato (Hernández, 2017).

Técnica de Film de Nutrientes (NFT)

El sistema hidropónico NFT, desarrollado en Inglaterra durante la década de los sesenta, surgió como una innovación para aumentar la productividad en el ámbito de la hidroponía (Laiva *et al.*, 2018).

El sistema NFT es una técnica hidropónica en la que las plantas crecen con su raíz sumergida en una fina capa de plástico, a través de la cual circula constantemente una solución nutritiva (RESH, 2001).

La técnica original del NFT implica la recirculación constante de una delgada capa de solución nutritiva a lo largo del fondo de un canal con una pendiente del 1 al 2%. Proceso que asegura que la raíz del cultivo reciba suficiente oxígeno disuelto para su adecuado metabolismo (Soto, 2018).

La oxigenación de la raíz se obtiene por medio de la solución nutritiva y el aire que la rodea. Sin embargo, la temperatura alta puede entorpecer este proceso, porque el consumo de oxígeno se duplica por cada aumento de 10 °C, mientras que la disolución de oxígeno en la solución se reduce de 9.6 a 7.8 mg/L al pasar de 20 a 30 °C (Andreau *et al.*, 2015).

Con una amplia gama de posibilidades, este sistema hidropónico se caracteriza por uno o varios canales que conducen agua rica en nutrientes, obtenida de especies acuáticas. Estos canales pueden ser diseñados de diversas maneras, incluyendo estructuras abiertas o cerradas, horizontales o verticales, y construidos con diversos materiales (López *et al.*, 2019).

En los sistemas hidropónicos, la solución nutritiva recibe oxígeno a través de su circulación en los canales de cultivo, de manera más significativa, mediante la turbulencia creada al caer en el estanque colector. Para favorecer la aireación, es aconsejable mantener una distancia amplia entre la salida de la tubería y el nivel de la solución en el estanque, con una altura mínima recomendada de 50 cm (Carrasco & Izquierdo, 1996).

El sistema hidropónico “NFT” (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se constituye principalmente de los siguientes elementos los cuales son esenciales para su correcto funcionamiento:

1. Estanque colector

2. Solución nutritiva
3. Canales de cultivo
4. Bomba de distribución
5. Tubería colectora

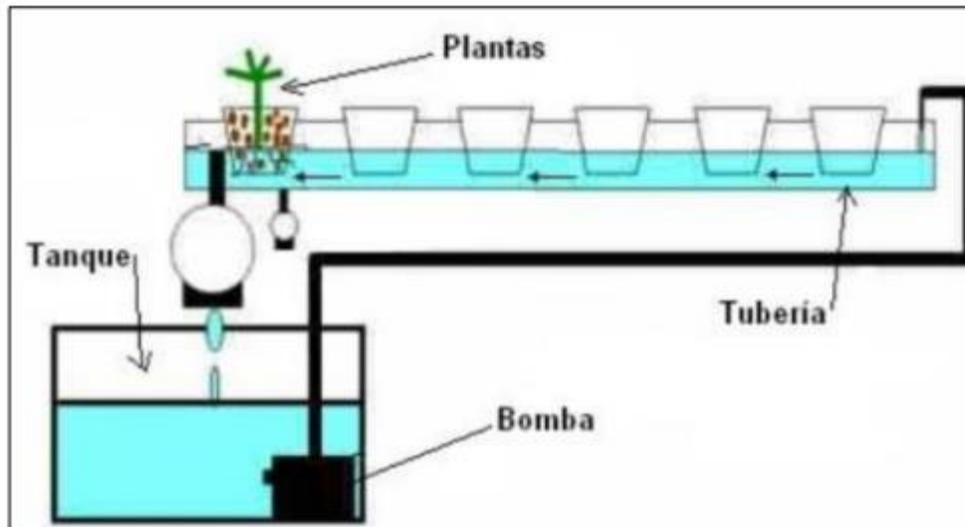


Figura 1. Sistema NFT (Cevallos, 2020)

Sistema Acuaponico

El término acuaponía es una adaptación al español de la palabra inglesa 'aquaponics', que a su vez se deriva de la combinación de 'acuicultura' e 'hidroponía' (Lopez et al., 2019). La acuaponía está basada en la Naturaleza, en los ciclos del agua y redes tróficas.

La acuaponía es un sistema integrado y sostenible que combina la cría de especies acuáticas (acuicultura) con el cultivo de plantas sin suelo en soluciones nutritivas (hidroponía), (López, De Haro, Gallegos, Lobillo, & Fernández, 2019).

En los sistemas acuapónicos, las plantas aprovechan los desechos orgánicos generados por los organismos acuáticos como fuente de nutrientes (Gómez, y otros, 2015). Dentro de un sistema acuapónico, la raíz de las plantas y rizobacterias actúan como filtros naturales, removiendo los nutrientes del agua. Nutrientes, generados por los peces, algas y los restos de comida, podrían ser perjudiciales para los peces en altas concentraciones, pero se convierten en un fertilizante líquido que impulsa el crecimiento de las plantas (Mateus, 2009). Dentro de este sistema, la raíz desempeña un papel de filtración, purificando el agua para su retorno a los animales acuáticos, lo que integra la acuicultura y agricultura. Asimismo, las camas hidropónicas actúan como biofiltros, optimizando la calidad del agua que se recircula a los tanques de los peces (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) (Muñoz, 2012).

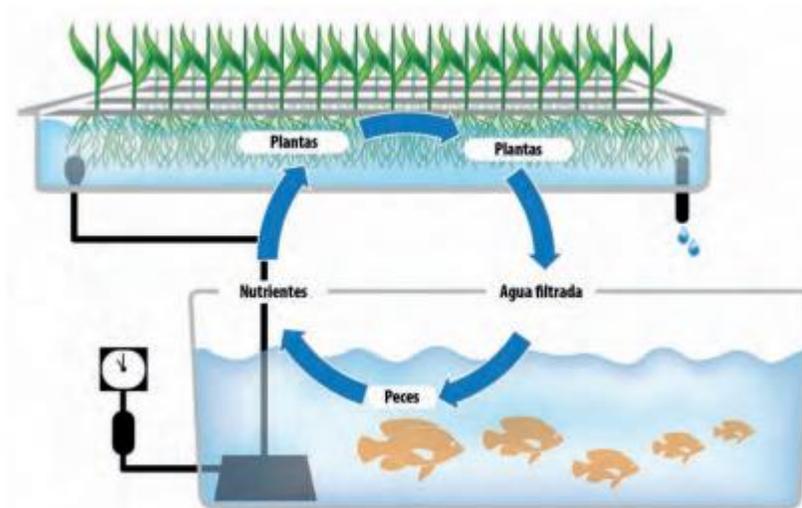


Figura 2. Arreglo típico de un sistema acuapónico cerrado con recirculación de agua (Gómez et al., 2015).

La intensificación de los cultivos acuícolas, a través de tecnologías como los sistemas de recirculación y tratamiento del agua, es clave para lograr la sostenibilidad en esta actividad, optimizando así el uso del recurso hídrico (Rodríguez *et al.* 2015).

En los sistemas acuapónicos, el ciclo del nitrógeno se inicia con la introducción de proteínas a través de la alimentación de los peces. Posteriormente, el amoníaco excretado se transforma gracias a la acción de bacterias nitrificantes (Ortiz *et al.*, 2020). Las bacterias Nitrosomonas y Nitrobacter son clave en este proceso. Las Nitrosomonas, convierten el amonio en nitrito, mientras que las Nitrobacter, transforman el nitrito en nitrato (Figura 3) (Mártinez & Albertos , 2014). Los nitratos generados son asimilados directamente por las plantas, limpiando el agua que vuelve a los peces, creando un ambiente óptimo para su crecimiento y desarrollo (Martínez, 2013).

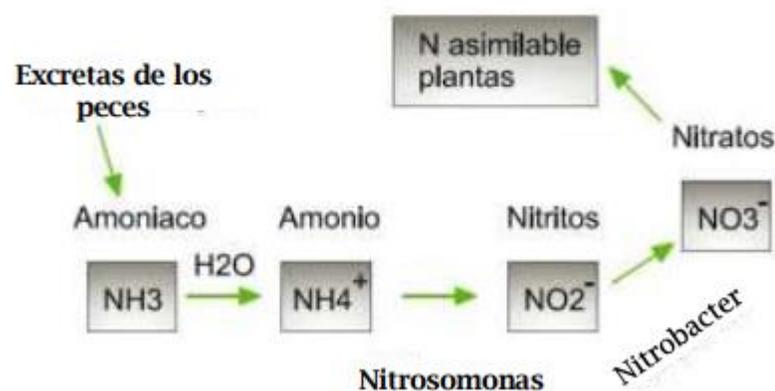


Figura 3. Conversiones químicas en acuaponía (Mártinez & Albertos , 2014)

En los sistemas acuapónicos, se pueden cultivar diversas especies de peces de agua dulce, como tilapia (*Oreochromis niloticus*), bagre (*Ictalurus punctatus*), langosta de agua dulce (*Cherax quadricarinatus*) y peces ornamentales como el japonés o la carpa. En cuanto a las plantas, las que mejor se adaptan son las de hojas verdes, como la lechuga, acelga, apio, espinaca, pepino, hierbabuena, menta y albahaca (Martínez, 2013).

Calidad del agua

Antes de implementar un sistema de cultivo, es crucial analizar las características del agua, abarcando aspectos físicos, químicos y biológicos. Los parámetros a evaluar incluyen: contenido de nutrientes, conductividad eléctrica (CE) y pH (químicos); temperatura, color, olor, turbidez y transparencia (físicos); y la presencia de bacterias como *coliformes*, *Salmonella*, *Shigella* y *Escherichia coli*, así como fitopatógenos como *Phyitium* y *Erwinia* (microbiológicos) (De La Vega, 2022).

Un pH elevado, superior a 7, combinado con un aumento de temperatura, incrementa la concentración de amoníaco en comparación con el amonio, lo que puede resultar en una alta mortalidad de las especies acuáticas en un corto periodo de tiempo (López et al., 2019).

Cuando el agua contiene niveles elevados de calcio o magnesio, es decir, más de 30 ppm en cada caso, es necesario modificar la solución nutritiva (Cevallos, 2020). Del mismo modo, el agua con un contenido de cloruro sódico igual o superior a 50 ppm no es apropiada para el crecimiento óptimo de las plantas (RESH, 2001).

La concentración de sales en una solución acuosa se determina mediante la conductividad eléctrica (CE), expresada en deciSiemens por metro (dS·m⁻¹) y medida con un conductímetro calibrado. Un rango de CE ideal para una solución

nutritiva se sitúa entre 1.5 y 2.0 dS·m⁻¹, por lo que aguas con una CE menor a 1.0 dS·m⁻¹ son apropiadas para su elaboración (Juárez, y otros, 2013).

Solución Nutritiva

Se define como solución nutritiva a una solución acuosa que incluye oxígeno disuelto y todos los nutrientes minerales esenciales, totalmente disociados, que las plantas necesitan para crecer de forma normal. La constitución de esta solución nutritiva, relación entre los iones minerales, conductividad eléctrica y pH son factores determinantes para el éxito del cultivo hidropónico (Carbone, 2015).

La solución nutritiva (SN) debe formularse específicamente para cada especie vegetal cultivada en hidroponía. Los factores que más impactan el desarrollo de los cultivos y su producción económica son: la relación entre aniones, relación entre cationes, concentración de nutrientes (medida por la CE), pH, proporción $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ y temperatura de la solución nutritiva (Lara, 1999).

Una solución nutritiva balanceada se caracteriza por una proporción adecuada de macronutrientes NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} . Equilibrio que no solo se refiere a la cantidad de cada nutriente, sino también a la relación cuantitativa entre cationes y aniones (Steiner, 1961).

Solución Steiner

Carrillo (2009) menciona lo establecido por Steiner (1961), que una solución nutritiva debe cumplir los siguientes requisitos:

1. Relación mutua de aniones
2. Relación mutua de cationes
3. Concentración iónica total
4. pH con tolerancia de ± 1

Mediante un método propio de preparación de soluciones nutritivas, se determinó que el desarrollo y producción óptimos de los cultivos se lograba con una composición muy precisa. Esta composición se identificó dentro de un sistema de triángulo equilátero que permitía explorar todas las combinaciones posibles de aniones y cationes. Como resultado, se seleccionó una fórmula denominada “Solución Nutritiva Universal de Steiner” Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición química de la solución universal de Steiner.

| meq L ⁻¹ | | | | | |
|------------------------------|---|-------------------------------|----------------|------------------|------------------|
| NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
| 12 | 1 | 7 | 7 | 9 | 4 |

Fuente: (Carrillo, 2009).

Para realizar la solución nutritiva es necesario conocer la cantidad de nutrimentos que requieren las plantas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Elementos minerales esenciales para las plantas.

| Elemento mineral | Peso atómico |
|-------------------------|---------------------|
| MACRONUTRIENTES | |
| Nitrógeno | 14 |
| Fósforo | 31 |
| Potasio | 39 |
| Calcio | 40 |
| Magnesio | 24 |
| Azufre | 32 |
| MICRONUTRIENTES | |
| Hierro | 56 |
| Manganeso | 55 |
| Zinc | 65,5 |
| Boro | 11 |
| Cobre | 64 |
| Molibdeno | 96 |
| Cloro | 35,5 |

Fuente: Cevallos Mendoza, 2020.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción del sitio de la investigación.

La presente investigación se realizó en el invernadero a cargo del Ph.D Vicente De Paul Alvarez Reyna, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, México; del 15 de marzo al 18 de mayo de 2023. Ubicada geográficamente entre 24° 30' y 27° LN y entre 102° y 105° LP, a 1120 msnm.

Clima

La comarca lagunera presenta un clima desértico con baja humedad atmosférica, precipitación anual entre 200 a 300 mm y una evaporación media de 2600 mm anuales. La temperatura promedio anual fluctúa entre los 28 y 40 °C (INEGI, 2024)

Genotipo y especie utilizada

La hortaliza utilizada para este experimento fue la lechuga (*Lactuca Sativa* L.) variedad Parrish Island de la marca KristenSeed. La especie acuícola fue la mojarra Tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la empresa PINAGRO ubicada en Guadalajara Jalisco.

Diseño experimental.

La investigación se llevó a cabo en un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron la Acuaponía (AC.), Acuaponía mas adición de solución nutritiva Steiner al 70%

(AC.EST.70), hidroponía con solución nutritiva Steiner al 100% (EST.100) estuvieron separados por camas de tuberías independientes como se muestra en la .

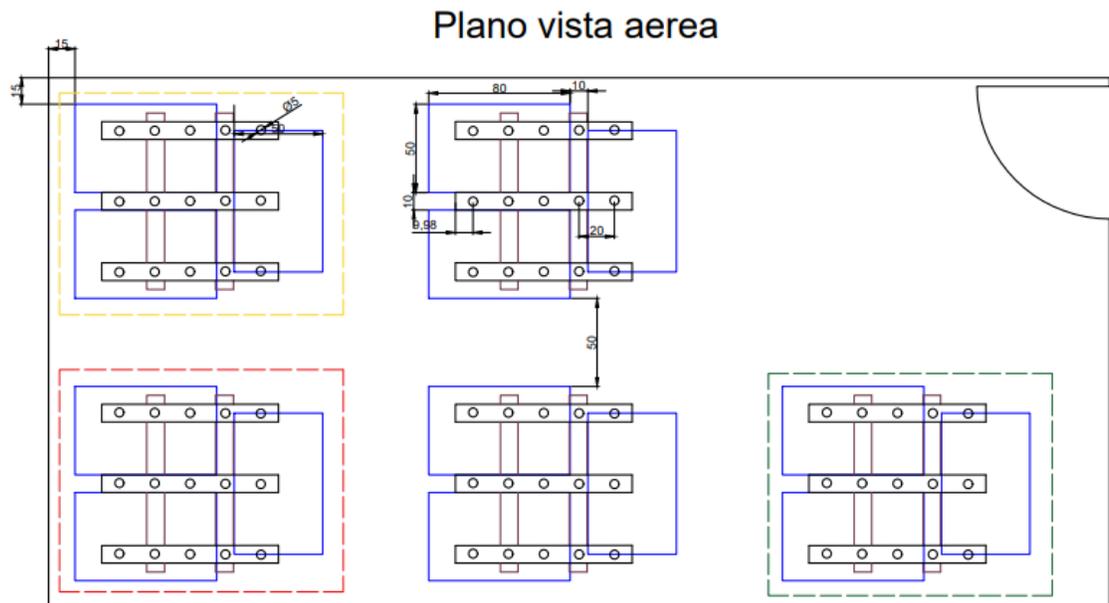


Figura 4. Plano de ubicación de tratamientos dentro del invernadero (tratamiento AC area verde, AC.EST. 70 area roja y EST. 100 area amarilla).

Metodología.

Producción de plántula.

La siembra se realizó el 15 de marzo de 2023, en una charola de poliestireno de 200 cavidades las cuales se llenaron con Peat Moss previamente hidratado con agua potable. Una vez que se inició la germinación se dieron riegos ligeros por la mañana y tarde, después de la primera semana se aplicó una solución Steiner al 25%, repitiendo la aplicación cada tres días hasta trasplante.

Acondicionamiento del área experimental

Para el establecimiento del experimento se limpió el invernadero dejando el suelo libre de maleza. Una vez limpio se escavaron nueve pozos como se muestra en la Figura 5 que se cubrieron con plástico negro. Posteriormente se cubrió el suelo con una capa de grava con el fin de reducir la emergencia de maleza y evitar la entrada polvo al agua de los estanques. Posteriormente se colocaron camas de madera a una altura de 0.75 m sobre el nivel de piso (Figura 6), las cuales sirvieron de soporte a la tubería.

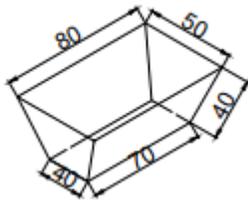


Figura 5. Diseño de los pozos para 100 litros de almacenamiento.



Figura 6. Colocación de estanques y camas de madera.

Para el sistema NFT se utilizó tubo de PVC de 4", los cuales fueron cortados en tramos de 1.1 metros de longitud, luego se realizaron 5 perforaciones por tubo con separación de 20 cm y un diámetro de 50 mm.

Se instaló el sistema eléctrico para alimentar las bombas que recircularan el agua de los depósitos a la tubería de PVC (Figura 7), oxigenando el agua en el proceso.

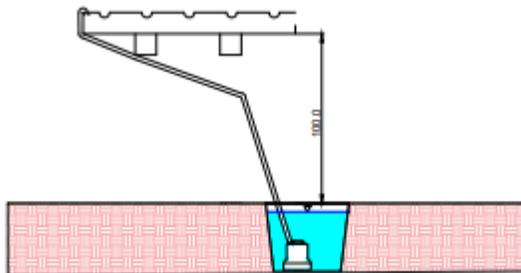


Figura 7. Vista lateral del sistema de recirculación.

Establecimiento del experimento

Una vez listo los pequeños estanques y sistema de recirculación se preparó la solución nutritiva incorporándose a los depósitos correspondientes, aforando cada estanque a 100 litros, posteriormente se ajustó el pH a 7.0 con ácido sulfúrico (Figura 8), finalmente se introdujeron los peces, previamente seleccionados con la misma talla.



Figura 8. Ajuste del pH del agua de los estanques.

Tres días después de introducidos los peces, se realizó el trasplante de la lechuga midiendo la altura inicial de cada planta, se lavó la raíz con agua dejándola libre de sustrato. Luego se colocó la planta en la canastilla y se agregó fibra de coco como medio de soporte (Figura 9).



Figura 9. Trasplante de la lechuga.

Datos evaluados.

Semanalmente se reguló el pH y registro la temperatura del agua con el peachímetro. Con una cinta métrica se tomaron los datos de altura de cada planta bajo cada tratamiento (Figura 10 y 11).



Figura 10. Medición de altura el 29 de abril de 2023.



Figura 11. Medición de altura final el 18 de mayo del 2023.

La cosecha se realizó tres semanas después del trasplante el 18 de mayo del 2023, midiendo la altura final y peso con una báscula electrónica para determinar el rendimiento en cada tratamiento (Figura 12).



Figura 12. Medición de peso de planta en cada tratamiento.

Análisis de datos

En el análisis de datos se utilizaron dos softwares de computadora los cuales nos permitieron ordenar y procesar los datos obtenidos de los tratamientos. Con el programa informático Microsoft Excel se realizó el ordenamiento de los datos, así como el cálculo de medias de cada tratamiento y con el programa estadístico SAS versión 9.0 se realizó el análisis de varianza y prueba de medias de Tukey con un α de 0.05.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo del cultivo

Altura de planta.

En la gráfica de la Figura 13 se presenta la altura de planta en que se observa una diferencia en altura de planta a lo largo del periodo de evaluación. A partir del día siete se presentó un mayor crecimiento en los tratamientos de hidroponía (EST. 100) y acuaponía con solución nutritiva (AC.EST.70) con respecto al tratamiento de acuaponía.

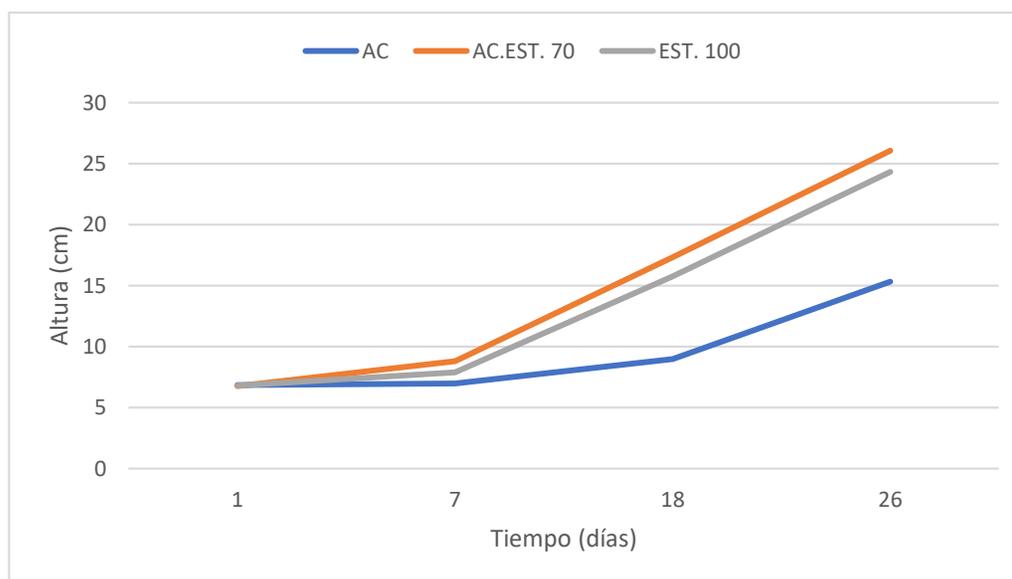


Figura 13. Grafica altura de planta durante el experimento. UAAAN-UL. 2023

El análisis de datos se realizó utilizando el programa estadístico SAS con un r cuadrado de 0.965550 y un Coeficiente de variación de 12.28608 (Cuadro 4), no detectándose diferencia significativa entre tratamientos AC.EST.70 y EST.100. Sin embargo, estos dos tratamientos presentaron una diferencia significativa con el tratamiento AC.

Cuadro 4. Altura promedio de los tratamientos. UAAAN-UL. 2023

| Tratamiento | Media | 0.05 |
|--------------------|--------------|-------------|
| AC.EST.70 | 14.7400 | A |
| EST.100 | 13.7000 | A |
| AC. | 9.5175 | B |

Medias con la misma letra indica que son estadísticamente iguales. Tukey 0.05

De acuerdo con los resultados obtenidos en el programa estadístico Cuadro 5 existe una diferencia en altura entre tratamientos, presentando la mayor altura los tratamientos AC.EST.70 y EST.100 en la semana cuatro, no existiendo diferencia significativa entre estos dos tratamientos. La altura para el tratamiento AC en su cuarta semana fue menor a la obtenida por los otros dos tratamientos en la tercera semana. Sin embargo, la prueba de Tukey no encontró diferencia significativa entre tratamientos, pero se puede inferir que los tratamientos AC.EST.70 y EST.100 presentaron un crecimiento más acelerado con respecto al AC, esta diferencia en el desarrollo de las plantas se presentó después de la segunda semana de evaluación ya que las alturas de los tratamientos fueron estadísticamente iguales en las primeras dos semanas.

Cuadro 5. Altura promedio de las repeticiones en las cuatro semanas de evaluacion. UAAAN-UL. 2023

| Tratamiento | Semana | Media | 0.05 |
|--------------------|---------------|--------------|-------------|
| AC.EST.70 | 4 | 26.067 | A |
| EST.100 | 4 | 24.333 | A |
| AC.EST.70 | 3 | 17.333 | B |
| EST.1de00 | 3 | 15.767 | B |
| AC | 4 | 15.333 | B |
| AC | 3 | 9.000 | C |
| AC.EST.70 | 2 | 8.793 | C |
| EST.100 | 2 | 7.900 | C |
| AC | 2 | 6.933 | C |
| AC | 1 | 6.803 | C |
| EST.100 | 1 | 6.800 | C |
| AC.EST.70 | 1 | 6.767 | C |

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey al 0.05

PESO

El análisis de varianza encontró diferencia significativa entre tratamientos Cuadro 6. Siendo estadísticamente iguales los tratamientos AC.EST.70 y EST.100, pero superiores al tratamiento AC con valores de 194.87, 135.37 y 52,27 respectivamente. Aun cuando los tratamientos fueron estadísticamente similares se observa una tendencia a mayor rendimiento en el tratamiento AC.EST.70.

De acuerdo con el Cuadro 6 el tratamiento AC. EST.70 presenta la media más alta y el AC la más baja. Mediante la prueba de Tukey se determinó que no existe diferencia entre los tratamientos AC. EST.70 y EST.100 pero estos dos son diferentes del tratamiento AC.

Cuadro 6. Prueba de Tukey para el peso promedio de los tratamientos. UAAAN-UL. 2023

| Tratamiento | Media | 0.05 |
|--------------------|--------------|-------------|
| AC. EST.70 | 194.87 | A |
| EST.100 | 135.37 | A |
| AC | 52.27 | B |

Medias con la misma letra indica que son estadísticamente iguales. Tukey 0.05

V. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos las plantas del sistema acuaponico registraron un peso y altura menor en comparación con el sistema hidropónico y sistema acuaponico con solución nutritiva.

Sin embargo, el tratamiento de acuaponico con solución nutritiva presento la tendencia a mayor peso y altura.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alcarraz, Q. E., Tapias, F. M., Escalona, C. V., Bustamante, P. A., Tapias, L. O., & Wacyk, G. J. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico. *Anales Científicos*, 79(1), 101-110. Recuperado el 23 de Marzo de 2024, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6479996.pdf>
- Andreau, R., Giménez, D., & Beltrano, J. (2015). Soluciones nutritivas. En J. Beltrano, & D. Giménez, *Cultivo en hidroponía* (págs. 73-90). Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado el 23 de Marzo de 2024, de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arauni, M. C., Gili, P., & Fernandez, L. (2008). UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO EN DIFERENTES MANEJOS DE FERTILIZACIÓN EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) Y SU EFECTO SOBRE ALGUNAS VARIABLES BIOLÓGICAS DEL SUELO, NEUQUEN - ARGENTINA. *Agro Sur*, 36(3), 147-157. Recuperado el 20 de Marzo de 2024, de <http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v36n3/art04.pdf>
- Axayacatl, O. (12 de Octubre de 2023). *Lechuga, un cultivo agrícola de mucha importancia*. Recuperado el 29 de Abril de 2024, de BLOG AGRICULTURA: <https://blogagricultura.com/lechuga-cultivo-importante/>

- Azueta, M. (14 de Diciembre de 2022). *LECHUGA*. Recuperado el 11 de Mayo de 2024, de Editorial DeRiego: <https://www.editorialderiego.com/2022/12/lechuga/>
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). Introducción al cultivo hidropónico. En J. Beltrano, & D. O. Gimenez, *Cultivo en hidroponia* (págs. 10-33). Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado el 23 de Marzo de 2024, de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Calle, P. J. (2023). *EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE DOS VARIEDADES DE APIO (Apium graveolens L.) BAJO DIFERENTES TIEMPOS DE CORTE EN EL SISTEMA NFT EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA – LA PAZ*. Tesis de Grado, UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS, FACULTAD DE AGRONOMÍA, La Paz. Recuperado el 11 de Mayo de 2024, de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/32084/T-3139.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carbone, A. (2015). Nutrición mineral. En J. Beltrano, & D. O. Gimenez, *Cultivo en hidroponía* (págs. 62-72). Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado el 23 de Marzo de 2024
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *LA EMPRESA HIDROPONICA DE MEDIANA ESCALA: LA TECNICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA RESIRCULANTE ("NFT")*. FAO-Regional Office and Universidad de Talca. Recuperado el 20 de Marzo de 2024, de <http://dspace.utralca.cl/bitstream/1950/2927/1/NFT.pdf>

- Carrillo, L. L. (2009). *THE SELECTIVE CAPACITY OF PLANTS FOR IONS AND ITS IMPORTANCE FOR THE COMPOSITION AND TREATMENT OF THE NUTRIENT SOLUTION*. Texcoco: COLEGIO DE POSGRADUADOS. Recuperado el 19 de Abril de 2024, de <http://hdl.handle.net/10521/65>
- Cevallos, M. M. (2020). *APLICACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS EN VARIEDADES DE LECHUGA EN CULTIVO HIDROPÓNICO BAJO EL SISTEMA NFT*. Tesis de licenciatura, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES, LA MANÁ. Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4846/1/UTC-PIM-000191.pdf>
- Ciampitti, I., & García, F. (2010). *REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES ABSORCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTIENTES Y NUTRIENTES SECUNDARIOS*. Canberra : International Plant Names Index. Recuperado el 21 de Marzo de 2024, de [http://lacs.ipni.net/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/\\$FILE/AA%2012.pdf](http://lacs.ipni.net/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/$FILE/AA%2012.pdf)
- De La Vega, C. D. (2022). *Comparación de la Huella Hídrica entre el Sistema Hidropónico con el Acuapónico como Propuesta Sostenible para la Producción de Lechuga,2022*. ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL, FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. Lima: Universidad César Vallejo. Recuperado el 23 de Marzo de 2024, de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/102622/DeLaVega_CD%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Escarabajal , H., Fernandez, P., & Garcia , M. (2016). *Balance hídrico en lechuga a partir de imagenes de cobertura vegetal*. Almería: Sociedad Española de Ciencias Horticolas. Recuperado el 20 de Marzo de 2024, de <https://www2.ual.es/SNIH16/web/Web/4-06.pdf>
- FAO. (2019). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo*. Recuperado el 29 de Abril de 2024, de <https://www.fao.org/newsroom/story/Water-Scarcity-One-of-the-greatest-challenges-of-our-time/es>
- Garcia, U. M., León , C., Henández , F., Chávez, R., & I. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponia. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9(1). Recuperado el 29 de Abril de 2024, de <https://www.redalyc.org/pdf/837/83709105.pdf>
- Gómez, M. F., Ortega, L. N., Trejo, T. L., Sánchez, P. R., Salazar, M. E., & Salazar, O. J. (2015). LA ACUAPONÍA: ALTERNATIVA SUSTENTABLE Y POTENCIAL PARA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN MÉXICO. (S. Infante Gil, Ed.) *Agroproductividad*, 8(3), 60-65. Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de https://www.researchgate.net/profile/Esteban-Mancilla/publication/319205327_Produccion_de_huachinango_Luthanus_peru_en_jaulas_flotantes/links/599aef4daca272dff128d369/Produccion-de-huachinango-Luthanus-peru-en-jaulas-flotantes.pdf#page=62
- Graber, A., & Junge, R. (2007). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1-3), 147-156. Recuperado el 29 de Abril de 2024

Hernández, L. F. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de Tilapia Roja (Oreochromis Mossambicus) y Lechuga Crespa (Lactuca Sativa)*. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 22 de Marzo de 2024, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/62954/1057592154.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INEGI. (2024). *INEGI*. Obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/coah/territorio/clima.aspx>

infoAgro. (2021). *Desafíos en la producción orgánica de hortalizas en México. La agricultura orgánica debe enfrentarse a una serie de retos, los cuales deben ser superados para alcanzar los niveles de calidad exigidos por los mercados*. Recuperado el 29 de Abril de 2024, de https://www.infoagro.com/documentos/desafios_produccion_organica_hortalizas_mexico.asp

Jaques, C., & Hernández, J. (Junio de 2005). Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (nft). *III(1)*, 7. Reynosa, Tamaulipas, Mexico: Centro de Biotecnología Genómica del IPN. Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/10824717/2005__Nat_y_Des_Vol._3_No._1_Ene-Jun-libre.pdf?1390857959=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DValoracion_productiva_de_lechuga_hidropo.pdf&Expires=1711314118&Signature=XMSlbi23wRca5a-U9qgs0~MC3

Juárez, L. P., Morales, R. H., Sandoval, V. M., Gómez, D. A., Cruz, C. E., Juárez, R. C., . . . Ortiz, C. M. (2013). PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO. *CONACYT*, 4(13), 16-26. Recuperado el 23 de Marzo de 2024, de <http://dspace.uan.mx:8080/bitstream/123456789/2126/1/Produccion%20de%20forraje%20verde%20hidroponico.pdf>

La Rosa, O. (2015). *CULTIVO DE LECHUGA (Lactuca saliva) BAJO CONDICIONES DEL VALLE DEL RÍMAC, LIMA*. Tesis, UNIVERSIDAD AGRARIA LA MOLINA, FACULTAD DE AGRONOMIA, Lima. Recuperado el 11 de Mayo de 2024, de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/948/T007353.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Laiva, E. S., Román, P. A., Vilca, V. N., & Neri, C. J. (2018). Comportamiento productivo de 11 variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico NFT recirculante (Chachapoyas – Amazonas). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 2(1), 50-56. Recuperado el 23 de Marzo de 2024, de <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/384/487>

Lara, H. A. (1999). MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA EN LA PRODUCCION DE TOMATE EN HIDROPONIA. *TERRA Latinoamericana*, 17(3), 221-229. Recuperado el 25 de Marzo de 2024, de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317306.pdf>

López, J. J., De Haro, R., Gallegos, D., Lobillo, P., & Fernández, V. (2019). *CULTIVO ACUAPÓNICO GUÍA ESPECIALIZADA*. Aula del Mar. Recuperado el 15 de

Abril de 2024, de <https://cifalmalaga.org/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>

Lopez, M., & Frezza, D. (2022). *Lechuga* (Primera ed.). Buenos Aires, Argentina: INTA. Recuperado el 11 de Mayo de 2024, de https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Kirschbaum/publication/364305743_Lechuga_Fichas_tecnicas_regionales_Tucuman/links/6344b0702752e45ef6a9a038/Lechuga-Fichas-tecnicas-regionales-Tucuman.pdf

Mafla, E. G. (2015). *Respuesta de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) Con tres niveles de fertilización en producción hidropónica en la zona de Ibarra, Provincia de Imbabura*. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS. Imbabura: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO. Recuperado el 21 de Marzo de 2024, de <http://190.15.129.146/handle/49000/1066>

Martínez, Y. R. (2013). La Acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa? *REDICINAYSA*, 2(5), 16-23. Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de <https://www.ugto.mx/campusleon/dcs/images/redicinaysa/publicaciones/2013/redicinaysa-sept-oct-2013-universidad-guanajuato.pdf#page=16>

Martínez, Y. R., & Albertos, A. P. (2014). *La acuaponía como herramienta didáctica para la enseñanza de la ciencia y la tecnología*. Universidad de Chiapas. San Cristóbal de las Casas: CECAR. Recuperado el 24 de Marzo de 2024

- Mateus, J. (2009). Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. *Red hidroponía*, 44, 7-10. Recuperado el 15 de Abril de 2024
- Muñoz, G. M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Informador técnico*(76), 123-129. Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/36/41
- ONU. (2019). *Organización de las Naciones Unidas. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos*. Recuperado el 29 de Abril de 2024, de https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf?_gl=1*w314k3*_ga*NDI5Mzk0OTk0LjE3MTM3NTI3NjQ.*_ga_TK9BQL5X7Z*MTcxNDQxNzQ1MC40LjEuMTcxNDQxODkwMi4wLjAuMA..#page=11
- ONU. (2023). *Organización de las Naciones Unidas. Alimentación. Una llamada de atención en la lucha contra el hambre*. Recuperado el 29 de Abril de 2024, de <https://www.un.org/es/global-issues/food#:~:text=Según%20la%20edición%202023%20del,personas%20en%20comparación%20con%202019.>
- Ortiz, V. O., Rituay, T. P., Murga, V. N., Eduardo, D. M., & Bruno, T. A. (2020). Monitoreo remoto automatizado de calidad del agua en sistemas acuapónicos en São Paulo, Brasil. *Rev. Ibérica Sist. e Tecnol. Informação*(E31), 223-235. Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de <https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Oliveira->

46/publication/343303948_Monitoreo_remoto_automatizado_de_calidad_de
 l_agua_en_sistemas_acuaponicos_en_Sao_Paulo_Brasil/links/5f222b8645
 8515b729f3293e/Monitoreo-remoto-automatizado-de-calidad-del-agua-e

Orús, A. (6 de Febrero de 2024). *Producciones de lechugas en el mundo en 2012-2021*. Recuperado el 11 de Mayo de 2024, de Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/529438/producciones-de-lechugas-en-el-mundo/>

Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial data*, 17(1), 71-80. Recuperado el 11 de Mayo de 2024, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8635432>

Ramirez, D., Sabogal, D., Jiménez , P., & Hurtado, G. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Facultad de ciencias básica*, 4(1), 32-51. Recuperado el 29 de Abril de 2024, de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2230/1937>

RESH, H. (2001). *CULTIVOS HIDROPONICOS Nuevas técnicas de producción* (Quinta ed.). Madrid , , España: Mundi-Prensa. Recuperado el 31 de Enero de 2024

Rincón , L. (2004). Pautas para una correcta fertirrigación de la lechuga Iceberg. *Vida rural*(185), 38-42. Recuperado el 22 de Marzo de 2024, de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural/Vrural_2004_185_38_42.pdf

Rodríguez, G. H., Rubio, C. S., García, U. M., Montoya, M. M., & Magallón , B. F. (2015). ANÁLISIS TÉCNICO DE LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) Y LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN DOS SISTEMAS

DE ACUAPONÍA. *AGROPRODUCTIVIDAD*, 8(3), 15-19. Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de https://www.researchgate.net/profile/Esteban-Mancilla/publication/319205327_Produccion_de_huachinango_Luthanus_peru_en_jaulas_flotantes/links/599aef4daca272dff128d369/Produccion-de-huachinango-Luthanus-peru-en-jaulas-flotantes.pdf#page=62

Ruscitti, M. (2015). El agua en la planta. En J. Beltrano, & D. O. Gimenez, *Cultivo en hidroponía* (págs. 34-44). Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado el 23 de Marzo de 2024, de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Saavedra , G., & Corradini, F. (2017). Manual de producción de Lechuga. (374), 153. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Recuperado el 24 de Marzo de 2024, de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/e96ddc42-19df-4be3-85cc-ae0f6b0c3dcc/content>

SADER. (2021). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Al alza, producción y exportación de lechuga mexicana*. Recuperado el 29 de Abril de 2024, de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/al-alza-produccion-y-exportacion-de-lechuga-mexicana?idiom=es>

SAGARPA. (15 de Abril de 2023). *Gobierno de MÉXICO*. (S. d. Rural, Productor) Recuperado el 11 de Mayo de 2024, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/fresca-como-la-lechuga>

Sánchez, R., Pérez , C., Botía, P., & Sironi, S. (2002). Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. *Invest. Agr.*, 17(2), 303-318. Recuperado el 21 de Marzo de 2024, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/47466418/rincons_1161159865156_nitr-libre.pdf?1469327670=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInfluencia_de_la_fertilizacion_nitrogena.pdf&Expires=1711734826&Signature=YFgVLhkHyAnnMW0CA8~VJEhe3tM0~2BSrWt

Soto, B. F. (2018). *Producción de lechuga con la técnica de lámina de nutrientes modificada (NFT)*. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno, Escuela de Agronomía. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado el 22 de Marzo de 2024, de <https://kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/86391/Técnica%20lamina%20de%20nutrientes%20NFT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Steiner, A. A. (1961). Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and soil*, 15, 134-154. Recuperado el 25 de Marzo de 2024

Suslow, T., Oria, M., Beuchat, L., & Garrett, E. (2003). Production Practices as Risk Factors in Microbial Food Safety of Fresh and Fresh-Cut Produce. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2(1), 38-77. Recuperado el 23 de Marzo de 2024

Urrestarazu, G. M. (2015). *Manual practico del cultivo sin suelo e hidroponía*.

Madrid, España: Ediciones Mundi- Prensa. Recuperado el 22 de Marzo de

2024