

IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO E HIDROPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE CONSUMO HUMANO, UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA - EXTENSIÓN FACATATIVÁ.

IMPORTANCE OF WATER CHEMICAL ANALYSIS IN AQUAPONIC AND HYDROPONIC SYSTEMS FOR THE PRODUCTION OF EDIBLE PLANTS: UNIVERSITY OF CUNDINAMARCA – FACATATIVÁ CAMPUS

Jesús Antonio Muñoz¹, Leidy Jhojanna Parrado², Martha Isabel Vargas³, Juan Carlos Tapias⁴

¹Muñoz, Universidad de Cundinamarca, Ciencias Agropecuarias, extensión Facatativá, Ingeniería agronómica, Facatativá, Cundinamarca, Colombia.

²Parrado, Universidad de Cundinamarca, Ciencias Agropecuarias, extensión Facatativá, Ingeniería agronómica, Facatativá, Cundinamarca, Colombia.

³Vargas, Universidad Pedagógica y Tecnológica, Ciencias Agropecuarias, Ingeniería agronómica, Tunja, Cundinamarca, Colombia.

⁴Tapias, Fundación Universidad de América, Ciencias Ambientales, Ingeniería química, Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

RESUMEN

La escasez de métodos sostenibles para la producción agrícola y la creciente necesidad de optimizar el uso de los recursos hídricos representan un desafío importante en la búsqueda de sistemas productivos eficientes y ambientalmente responsables. Ante esta problemática, el presente estudio evaluó la química del agua en sistemas acuapónicos e hidropónicos con el objetivo de analizar el comportamiento de plantas de consumo humano.

La investigación se desarrolló en la Universidad de Cundinamarca, trabajando con dos variedades de lechuga: crespa (*Lactuca sativa var. crispa*) y lisa (*Lactuca sativa var. longifolia*), se realizaron tres ciclos de siembra y se aplicaron dos tipos de fertilización: foliar y por técnica de película nutritiva (NFT, *Nutrient Film Technique*), la toma de datos se efectuó en dos puntos clave del sistema: el NFT y el tanque de agua que conecta con el biofiltro. Las variables evaluadas fueron pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, amoníaco y nitritos, las cuales fueron analizadas en laboratorio de la universidad mediante equipos y reactivos especializados, para la interpretación de los resultados, se utilizaron medidas de tendencia central, tomando como indicador principal la media de los valores obtenidos en cada evaluación a lo largo del tiempo. Además, se realizó un análisis descriptivo para identificar cuál de las tres siembras presentó el mejor comportamiento en relación con los nutrientes presentes en el agua. Los resultados evidencian que la productividad en sistemas acuapónicos e hidropónicos está estrechamente relacionada con el equilibrio de los factores físicos, químicos y biológicos. La tercera siembra destacó por su manejo técnico, demostrando que, incluso en ausencia de peces, es posible lograr buenos resultados mediante una adecuada fertilización y un monitoreo constante de las variables críticas del sistema.

Palabras claves: pH, Nitratos, Nitritos, Amoniaco, Evaluación.

ABSTRACT

The scarcity of sustainable methods for agricultural production and the growing need to optimize the use of water resources represent a significant challenge in the search for efficient and environmentally responsible productive systems. In light of this issue, the present study evaluated the water chemistry in aquaponic and hydroponic systems with the aim of analyzing the behavior of plants for human consumption.

The research was conducted at the University of Cundinamarca, working with two varieties of lettuce: curly (*Lactuca sativa var. crispa*) and smooth (*Lactuca sativa var. longifolia*). Three planting cycles were carried out, and two types of fertilization were applied: foliar and (*Nutrient Film Technique* NFT). Data collection was performed at two key points in the system: the NFT and the water tank connected to the biofilter. The evaluated variables were pH, temperature, electrical conductivity, dissolved oxygen, ammonia, and nitrites, which were analyzed in the university's laboratory using specialized equipment and reagents. For result interpretation, measures of central tendency were used, taking the average (mean) of the values obtained in each evaluation over time as the main indicator. Additionally, a descriptive analysis was conducted to identify which of the three plantings exhibited the best behavior concerning the nutrients present in the water.

The results show that productivity in aquaponic and hydroponic systems is closely related to the balance of physical, chemical, and biological factors. Planting 3 stood out for its technical management, demonstrating that even in the absence of fish, it is possible to achieve good results through adequate fertilization and constant monitoring of critical system variables.

Key words: pH, Nitrates, Nitrites, Ammonia, Evaluation.

INTRODUCCIÓN

La hidroponía es una técnica de cultivo sin suelo que utiliza soluciones nutritivas para el desarrollo de las plantas, su origen se remonta a la antigüedad, cuando civilizaciones egipcias y babilónicas ya empleaban métodos similares (1). Sin embargo, no fue sino hasta el siglo XX que la hidroponía comenzó a estudiarse científicamente y a aplicarse de forma práctica en la agricultura, especialmente en zonas con espacio reducido o suelos poco fértiles (2). La acuaponía, por su parte, es un método de cultivo que combina la cría de peces con el cultivo de plantas sin suelo, en este sistema, los desechos de los peces proporcionan nutrientes a las plantas, y estas, a su vez, purifican el agua que regresa al sistema (3). Sus raíces se encuentran en prácticas agrícolas antiguas, como las chinampas de la civilización azteca, islas artificiales construidas sobre lagos para el cultivo, también se relaciona con los arrozales inundados del sur de China y Tailandia, donde los peces conviven en campos de arroz, beneficiando el crecimiento del cultivo (4).

La acuaponía se fundamenta en procesos naturales, aprovechando los ciclos del agua y las interacciones dentro de las redes tróficas, se puede considerar como una adaptación y perfeccionamiento, mediante el uso de conocimientos y tecnologías actuales, de métodos tradicionales usados por diversas culturas para producir alimentos y recursos de manera integrada y en armonía con el medio ambiente (5). Esta práctica sostenible integra la acuicultura, dedicada a la reproducción de organismos acuáticos, con la hidroponía, un método de cultivo que prescinde del suelo y utiliza estructuras con soluciones nutritivas para el desarrollo de las plantas (6).

En un sistema acuapónico e hidropónico, es posible cultivar lechuga (*Lactuca sativa*) debido a sus bajos requerimientos nutricionales y su buena adaptación al sistema (7). Además, esta planta actúa como un filtro biológico eficiente, ya que sus raíces ayudan a reducir los niveles de nutrientes en el agua y eliminan compuestos como amoníaco (NH_3), nitritos (NO_2) y nitratos

(NO₃), los cuales pueden resultar tóxicos en altas concentraciones (8), los parámetros claves que determinan la química del agua son: temperatura, oxígeno disuelto (OD), pH, compuestos nitrogenados (nitratos (NO₃), nitritos (NO₂), nitrógeno amoniacal total (NAT)) y conductividad eléctrica o salinidad (9), cada uno de estos factores físicos y químicos impacta directamente a los tres componentes principales del sistema: peces, plantas y bacterias. Por ello, es crucial mantener la química del agua que esté dentro de los rangos tolerables para cada elemento del sistema (9).

En Colombia, se llevó a cabo un estudio que evaluó la implementación de sistemas acuapónicos urbanos como una alternativa para promover la agricultura sostenible en espacios reducidos. La investigación abordó tanto aspectos técnicos como sociales, y destacó ventajas como la eficiencia en el uso del agua, la eliminación de fertilizantes químicos y los beneficios para la seguridad alimentaria comunitaria. Como resultado, se concluyó que la acuaponía representa una estrategia viable y sostenible para mejorar la producción de alimentos en contextos urbanos colombianos (10). Otro estudio, también realizado en Colombia, analizó la viabilidad técnica, económica y comercial de establecer una empresa de hidroponía en la finca El Diamante, ubicada en Zipaquirá, Cundinamarca. Este trabajo examinó el diseño del sistema hidropónico, el mercado potencial, los costos de inversión y operación, así como el impacto social y ambiental del proyecto. La investigación concluyó que la iniciativa es viable y constituye una oportunidad sostenible para el desarrollo agrícola en la región (11). Diversas investigaciones realizadas en México señalan que tanto la acuaponía como la hidroponía han registrado un notable crecimiento y actualmente se encuentran en etapa de prueba en varios países. Su adopción va en aumento, impulsada por la necesidad de enfrentar la escasez de agua y cumplir con las normativas relacionadas con el tratamiento del agua contaminada por desechos tanto líquidos como sólidos (12).

Por otro lado, las principales limitaciones de estos sistemas incluyen la química del agua, toxinas, metales pesados o desequilibrios en el pH, lo cual puede afectar tanto a peces como a plantas (13). Es esencial monitorear y tratar el agua adecuadamente, la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno puede variar según el alimento proporcionado a los peces y el consumo por parte de las plantas, lo que requiere una gestión efectiva. También es necesario controlar las condiciones ambientales como temperatura, humedad e iluminación para asegurar un crecimiento adecuado de las plantas (14).

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la importancia de los nutrientes disueltos en el agua mediante análisis químico, y cómo estos afectan el crecimiento y comportamiento de plantas de consumo humano en sistemas acuapónicos e hidropónicos, utilizando dos métodos de fertilización: foliar y NFT. Para esto se aplicó un protocolo para el monitoreo continuo y preciso de temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, amoníaco, nitritos, nitratos. Por otro lado, se analizó la concentración de nutrientes disueltos en el agua en sistemas acuapónico e hidropónico, mediante análisis químico y finalmente se evaluó el impacto de los niveles de nutrientes disueltos en el agua sobre el crecimiento, desarrollo y comportamiento de plantas en los sistemas acuapónico e hidropónico. Se implementó un registro de las variables químicas del agua y, mediante el uso de medidas de tendencia central como (media), se pudo analizar el comportamiento de los nutrientes disueltos en el agua y determinar su relación con el crecimiento y desarrollo de las plantas del sistema. Los resultados obtenidos contribuyen a comprender la importancia que tienen los nutrientes disueltos en el agua, para asegurar un crecimiento y desarrollo adecuados de las plantas que componen un sistema hidropónico y acuapónico.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Ubicación del estudio

El presente estudio se realizó en la Universidad de Cundinamarca, extensión Facatativá figura 1, (Latitud: 4° 49' 1" Norte, Longitud: 74° 22' 1" Oeste), esta zona tiene un rango de temperatura de entre 13 °C y 20 °C y recibe una precipitación total anual de 797 mm (15), en el laboratorio “LESTOMA” del Programa de Ingeniería de Sistemas, adaptado con la finalidad de desarrollar proyectos de investigación.

Las plantas de lechuga crespa (*Lactuca sativa var. crispata*) y lisa (*Lactuca sativa var. longifolia*), utilizadas para el estudio, se obtuvieron de tres viveros diferentes localizados en el departamento de Cundinamarca, para la primera siembra el material vegetal se obtuvo en el municipio de Mosquera, para la segunda siembra en el municipio de El Rosal y para última siembra, en el Centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano ubicado en Chía. Para la primera y tercera siembras no se contó con la presencia de peces, en la segunda siembra se introdujeron en el sistema alevinos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de un mes de nacidos, los cuales fueron adquiridos en el municipio de Guasca, Cundinamarca.



Figura 1. Ubicación del estudio. Fuente: Google Maps, 2025

2. Descripción y construcción del sistema

Para el desarrollo de la investigación se implementó un sistema de cultivo hidropónico con recirculación de agua, en el cual esta se recolectaba en canaletas, pasaba por un filtro y se almacenaba en un tanque subterráneo, desde donde era redistribuida a todo el sistema. La estructura principal, construida en metal, tenía dimensiones de 1,60 metros de ancho por 2,45 metros de largo y un ángulo recto. El sistema incluyó ocho tubos de PVC de tres pulgadas de diámetro, distribuidos de forma intercalada como se evidencia en la figura 2, para la primera siembra se realizó el sustrato con una mezcla de un 60% de suelo, 30% de arena y 10% de sustrato de coco, para la segunda y tercera fue de un 30 % suelo, 30 % cascarilla de arroz, 30% turba y 10% de compost, esto para las líneas de sustrato.

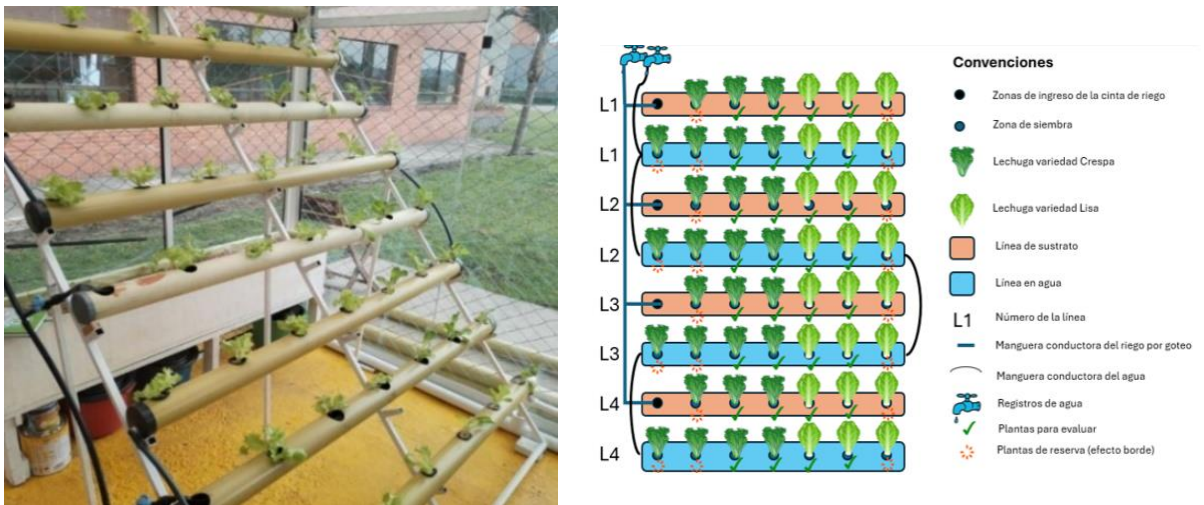


Figura 2. Estructura del sistema NFT. Fuente: Laboratorio LESTOMA.

Para garantizar la distancia de siembra y el soporte adecuado de las plantas, se realizaron siete perforaciones a 20 cm de distancia en cada tubo en donde se ubicaron las plántulas; en las líneas de sustrato, el primer orificio se utilizó para insertar la línea de goteo, seguido de seis espacios para las plantas, de estas, tres correspondieron a lechuga crespas (*Lactuca sativa var. crispas*) y tres a lechuga lisa (*Lactuca sativa var. longifolia*).

En las líneas de agua, se distribuyeron siete plantas, de las cuales cuatro fueron de lechuga crespa (*Lactuca sativa* var. *Crispa*) y tres de lechuga lisa (*Lactuca sativa* var. *longifolia*). Antes de la siembra, se realizó un lavado de raíces con agua corriente para eliminar restos de sustrato, con el fin de prevenir obstrucciones e infecciones que pudieran interferir en el desarrollo saludable de las plantas. Este procedimiento garantizó que los resultados obtenidos reflejaran fielmente la concentración real de nutrientes en el agua, el proceso se repitió en las tres siembras realizadas. Posteriormente, se colocaron espumas alrededor de la base del tallo y las raíces, proporcionando un soporte adecuado dentro de las canastillas en las líneas de agua, se emplearon también materiales adicionales, como registros, que permitieron hacer un seguimiento eficiente de la circulación del agua en el sistema NFT (Nutrient Film Technique).

3. Plano del sistema

En la figura 3, se puede evidenciar el plano del sistema instalado en el laboratorio LESTOMA con sus componentes.

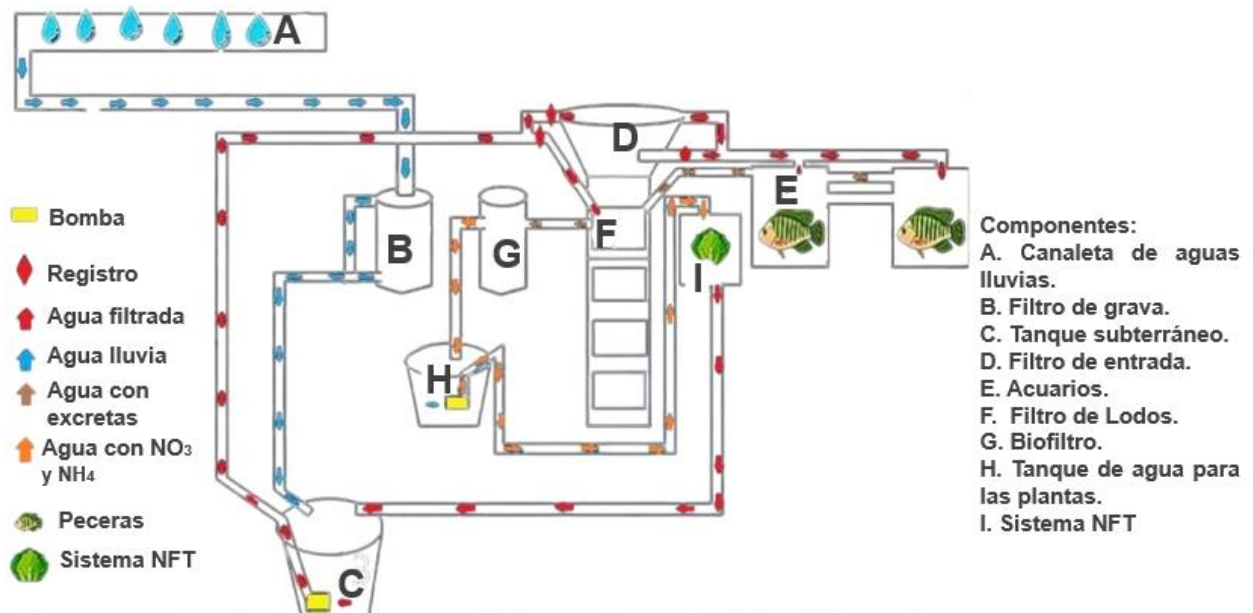


Figura 3. Plano del sistema. Fuente: Laboratorio LESTOMA.

3.1 Funcionamiento del sistema

El sistema acuapónico (figura 3, anexo 2) operó en un circuito cerrado, en el que interactuaban peces y hortalizas mediante la recirculación continua del agua, lo que permitió el funcionamiento conjunto de ambos componentes.

El sistema inicia con la captación de aguas pluviales a través de una canaleta (A), que conduce el agua al filtro de grava (B) para eliminar sedimentos; luego, fluye al tanque subterráneo de almacenamiento (C), donde se mantiene fresca. Desde allí, es bombeada al filtro de entrada (D) y asciende hasta los tanques de peces (E), donde se contamina con excretas y restos de alimento. Los residuos sólidos se retienen en el filtro de lodos (F), mientras que el agua con compuestos nitrogenados continúa al biofiltro (G), donde bacterias nitrificantes convierten el amoníaco y los nitritos en nitratos. Esta agua rica en nutrientes llega al tanque de riego (H) y se bombea al sistema NFT (I), donde las plantas absorben los nutrientes disueltos. Finalmente, el agua retorna al tanque subterráneo (C), completando el ciclo.

3.2. Descripción del diseño del Biofiltro

Un biofiltro en un sistema de acuaponía es un componente esencial que utiliza microorganismos benéficos para filtrar y depurar el agua (16). Dichos microorganismos descomponen los desechos producidos por los peces, transformándolos en compuestos como el amoníaco y nitritos en otros más asimilables para las plantas como el amonio y los nitratos, que luego son absorbidos como nutrientes (17). El biofiltro está conformado por un contenedor que actúa como el elemento central del sistema de filtración figura 4, en su interior se incorporan materiales plásticos, tapas plásticas, fragmentos de arcilla y trozos de ladrillo, los cuales facilitan la colonización y el asentamiento de bacterias nitrificantes. Estos materiales ofrecen un entorno ideal para el desarrollo de microorganismos beneficiosos, como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, que transforman compuestos químicos en nutrientes aprovechados por las plantas (18).



Figura 4. Diseño del Biofiltro. Fuente: Laboratorio LESTOMA.

4. Manejo de plantas y nutrición

Con el fin de validar los datos obtenidos y analizar el comportamiento del sistema en distintas condiciones, se llevaron a cabo tres siembras consecutivas. En la segunda siembra se incluyeron peces, ya que en la primera no fue posible debido a la falta de recursos para su adquisición, y en la tercera no se utilizaron debido a la muerte de los ejemplares durante la segunda siembra. Esta variación permitió comparar el funcionamiento del sistema con y sin la presencia de peces, observando su influencia sobre la química del agua y el desarrollo de las plantas. Dado que en dos de las tres siembras no hubo aporte de nutrientes provenientes de los peces, fue necesario el uso de fertilizantes para suplir los requerimientos nutricionales de las plantas. Cada siembra tuvo una duración de siete semanas, y los datos fueron registrados a lo largo de ese período.

En la primera siembra se aplicó fertilización foliar con Crecer 500 (19), que contiene nitrógeno (42 %), fósforo (3 %) y potasio (3 %), además del bioinsumo Super Macro (20), el cual incluye

melaza o azúcar como fuente de carbono, levadura y una mezcla de minerales como azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, zinc, manganeso, cobre y hierro.

En la segunda siembra se continuó con la fertilización foliar, utilizando nuevamente el bioinsumo Super Macro y añadiendo Raíz 500, con los siguientes componentes: nitrógeno (15 %), fósforo (40 %), potasio (10 %), magnesio (0.01 %), azufre (0.15 %) y fitohormonas (0.04 %) (21). Adicionalmente, se introdujeron peces al sistema como parte del modelo acuapónico.

Para la tercera siembra se optó por la fertilización a través del sistema NFT (Nutrient Film Technique), utilizando Master 15-5-30-2 (22), un fertilizante hidrosoluble de formulación comercial, caracterizado por contener: nitrógeno total (15.06 %) [N amoniacal (4.07 %), N nítrico (7.32 %) y N ureico (3.67 %)], fósforo (5.30 %), potasio (32.39 %), azufre (13.25 %), magnesio (1.2 %), boro (0.03 %), cobre (0.0057 %), hierro (0.037 %), manganeso (0.147 %) y zinc (0.0049 %).

En todas las etapas del cultivo, la aplicación de fertilizantes se realizó de manera semanal. A continuación, se presenta la tabla 1, que resume los productos utilizados, la vía de aplicación y las dosis correspondientes para cada siembra.

Tabla 1. Manejo y nutrición hidropónico y acuapónico.

| Siembra | Vía de aplicación | Producto | Dosis |
|----------|-------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Foliar | Crecer 500 Super magro | 5 g /litro agua 5 ml /litro agua |
| 2 | Foliar | Super magro Raíz 500 | 5 ml /litro agua 1.5 g/ litro agua |
| 3 | NFT | Máster 15-5-30-2 | 375 g/ 1250 litros agua |

Fuente: Laboratorio LESTOMA.

Manejo de equipos, muestreo y lectura de datos

Las variables químicas fueron seleccionadas debido a su influencia directa en la química del agua y en la salud biológica de las plantas o de los ecosistemas acuáticos, ya que sus mediciones y rangos aceptables están respaldados por numerosas investigaciones y guías técnicas internacionales (APHA, FAO, EPA, así como libros de acuicultura y manejo agrícola). Para el diseño del monitoreo, se consultaron estas fuentes con el fin de seleccionar las variables, los métodos de medición y los límites que aseguren la salud y la productividad del sistema (23).

En el laboratorio de la universidad, se determinó la concentración de amoníaco (NH_3) disuelto en el agua utilizando reactivos líquidos, para ello, se empleó un recipiente de vidrio redondo al que se añadieron 10 ml de agua, seguidos de 4 gotas del reactivo A (AMMONIA MR REAGENT A, HI93715A-0), agitándose durante 10 segundos. Posteriormente, se incorporaron 4 gotas del reactivo B (AMMONIA MR REAGENT B, HI93715B-0), repitiendo la agitación por 10 segundos para asegurar una mezcla homogénea (24). La muestra preparada se analizó con un fotómetro multiparamétrico (HI 83300, marca HANNA), que permitió determinar la concentración de amoníaco en mg/L, en sistemas acuapónicos e hidropónicos, el amoníaco es relevante porque contiene nitrógeno, esencial para el crecimiento de las plantas; sin embargo, en altas concentraciones es tóxico, por lo que debe transformarse o mantenerse en niveles bajos para evitar daños en las raíces y garantizar un desarrollo saludable (25).

Para la medición de nitritos (NO_2), se utilizó el mismo fotómetro multiparamétrico (HI 83300) de la marca HANNA, junto con reactivos en polvo de la misma marca. Estos reactivos se disolvieron en 10 ml de la muestra, tanto del sistema NFT como del tanque de agua de las plantas, y luego se introdujeron en el fotómetro para realizar las mediciones correspondientes (26).

La medición de los parámetros del agua se llevó a cabo con equipos especializados, el pH y la temperatura se midieron con un pH-metro, el oxígeno disuelto se determinó con un oxímetro, y la conductividad eléctrica se evaluó mediante un conductímetro (figura 5).

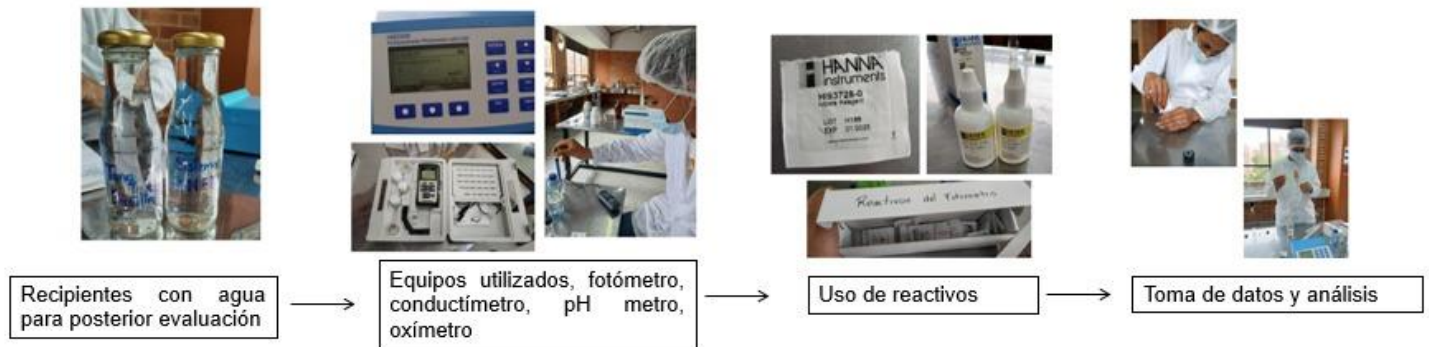


Figura 5. Manejo de equipos y lectura de datos. Fuente. Autores

No fue posible evaluar los niveles de nitratos debido a la falta de reactivos en el laboratorio de la universidad, lo que impidió su determinación; ante esta limitación, se decidió realizar un análisis más detallado del agua, midiendo variables relevantes como amoníaco (NH_3), que es tóxico para los peces pero forma parte del ciclo del nitrógeno fundamental para el crecimiento vegetal (27), nitritos (NO_2), también relacionados con este ciclo y que pueden ser dañinos en altas concentraciones (28), pH y conductividad eléctrica, parámetros que reflejan el equilibrio químico general del sistema (29), amonio (NH_4) y nitrato (NO_3), formas de nitrógeno aprovechables por las plantas y que contribuyen al crecimiento vegetal y a la salud de los peces (30). Para esto, las muestras fueron enviadas al Centro de Investigación de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. (Anexo 1).

Antes de tomar las muestras de agua, se consultó la tabla 2, que muestra los valores ideales para un sistema acuapónico e hidropónico. Estos valores se usaron como referencia para comparar los resultados y así saber si el agua estaba en condiciones adecuadas para el cultivo.

Tabla 2. Rangos óptimos para un sistema de acuaponía e hidroponía

| Variable | Unidad | Rango Recomendado en Acuaponía | Rango Recomendado en hidroponía | Fuente de referencia |
|------------------------------|--------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| pH | - | 6,5 a 7, 5 | 5,5 a 6,5 | |
| Temperatura | °C | 20 a 30 | 18 a 24 | |
| Conductividad Eléctrica (CE) | ms/cm | 0,5 a 2,0 | 1,5 a 3,5 | (31,32,33,34,35) |
| Oxígeno Disuelto (OD) | mg/L | 5 a 8 | 5 a 8 | |
| Amoníaco (NH ₃) | mg/L | 0 a 0,2 | 0 a 0,1 | |
| Nitritos (NO ₂) | mg/L | 0 a 0,1 | 0 a 0,1 | |

Fuente: Datos tomados de fuentes de referencia.

5. Recolección de datos

Los datos del agua fueron registrados semanalmente en una bitácora y posteriormente organizados en formatos de Excel para su análisis, con el propósito de evaluar su relación con el desarrollo de las plantas en el sistema NFT tabla 3, mediante mediciones realizadas de forma sistemática que garantizaron la uniformidad en la recolección de la información a lo largo de todo el ciclo fenológico de la lechuga. Al final de cada ciclo, se evaluó el área foliar mediante un análisis destructivo, en el cual se retiraron las hojas de las plantas y se procesaron con la herramienta *ImageJ*, lo que permitió cuantificar con precisión la superficie foliar correspondiente a cada siembra.

Tabla 3. Formato Registro y Medición de Variables

| | Fecha | Ph | Temperatura | Conductividad eléctrica | oxígeno disuelto | Amoniaco | Nitritos |
|-----------|-------|----|-------------|-------------------------|------------------|----------|----------|
| # siembra | | | | | | | |

Fuente: Autores

6. Análisis de la información

Para analizar los resultados obtenidos en los sistemas de acuaponía e hidroponía, se realizó un análisis descriptivo, tiene como objetivo resumir, organizar y presentar datos de manera clara y comprensible, sin interpretar causas ni buscar relaciones profundas entre variables, utilizando herramientas como tablas, gráficos, promedios, porcentajes, y medidas estadísticas básicas (36). En este caso, se emplearon medidas de tendencia central (media) para hacer seguimiento al comportamiento de variables relacionadas con la química del agua (37). Este enfoque permitió interpretar los datos recolectados y comprender la dinámica de los parámetros fisicoquímicos en cada una de las siembras evaluadas dentro de los sistemas acuapónico e hidropónico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros establecidos para el Protocolo y monitoreo para toma de datos

Como resultado del objetivo 1, se diseñó un protocolo de monitoreo basado en dos normativas de la Organización Internacional de Normalización (ISO), siguiendo estándares establecidos para el muestreo de agua que abarcan aspectos como la gestión de la calidad, la protección ambiental, la seguridad de la información y la innovación (38). En este sentido, la norma ISO 5667-1 establece las directrices generales para el diseño de programas de muestreo y técnicas de recolección de muestras de agua (39), mientras que la ISO 19458 ofrece pautas para la selección, calibración y uso de equipos automáticos de muestreo, abordando tanto la elección adecuada del equipo según los parámetros a medir como los procedimientos de calibración que aseguran la precisión de las mediciones, así como el mantenimiento y manejo de dichos equipos (40); adicionalmente, como parte del protocolo, se elaboró una tabla detallada (Tabla 4), acompañada de diagramas de flujo que ilustran y estructuran los diferentes procesos del sistema acuapónico (Figura 3, Anexo 2).

Tabla 4. Protocolo para muestras del sistema acuapónico

| Aspecto | Resultado |
|----------------------------------|--|
| Puntos de muestreo | La elección del tanque de agua y del sistema NFT como puntos estratégicos de muestreo permitió evaluar y comparar las concentraciones de compuestos a lo largo del cultivo |
| Frecuencia | El monitoreo semanal permitió observar la evolución de las variables químicas del agua durante todo el ciclo de cultivo. |
| Material utilizado | Se logró una adecuada trazabilidad y conservación de las muestras utilizando botellas de vidrio esterilizadas. |
| Conservación y transporte | Las muestras se mantuvieron en condiciones controladas, asegurando su integridad hasta el análisis en laboratorio. |
| Análisis realizados | Las variables analizadas permitieron evaluar la química del agua a lo largo del cultivo |
| Registro de datos | Los datos fueron organizados de forma clara y sistemática, facilitando su interpretación. |

Fuente: Autores

Análisis químico

En la (tabla 5) se presentan los datos promedio correspondientes al tanque de agua comparándolos con los del sistema NFT, con el fin de observar su variación.

Tabla 5. Promedio para el NFT Y tanque de agua siembra 1, 2 y 3

| Variables | NFT | | | Tanque de agua | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Siembra 1 Media | Siembra 2 Media | Siembra 3 Media | Siembra 1 Media | Siembra 2 Media | Siembra 3 Media |
| pH | 7,6 | 6,4 | 6,5 | 7,72 | 6,40 | 6,53 |
| Temperatura (°C) | 18,5 | 16,9 | 16,7 | 17,3 | 16,9 | 16,7 |
| Conductividad eléctrica (ms/cm) | 114,8 | 132 | 110,6 | 117,6 | 126,9 | 127,2 |
| Oxígeno disuelto (mg/L) | 32,2 | 38,3 | 36 | 28,9 | 33,4 | 36 |
| Amoniaco (mg/L) | 0,03 | 3,67 | 1,88 | 3,8 | 4,7 | 1,9 |
| Nitritos (mg/L) | 0 | 11,9 | 4,7 | 4,3 | 5 | 6 |

Fuente: Autores

En la siembra 1, tanto el tanque de agua como el sistema NFT mostraron valores similares en la mayoría de las variables, lo que sugiere que el sistema se mantuvo químicamente estable. Dado que se utilizó fertilización foliar sin introducir nutrientes directamente al agua, la carga química fue mínima en ambas muestras. La ligera disminución de oxígeno disuelto del tanque hacia el sistema NFT puede deberse al consumo natural por parte de las raíces de las plantas, ya que estas pueden absorber directamente el oxígeno disuelto en el agua. Este oxígeno es esencial para que las raíces realicen la respiración celular, un proceso clave para su metabolismo y para la absorción de nutrientes (41). En sistemas hidropónicos como el NFT, donde las raíces están en contacto constante con una lámina de agua, es común observar esta reducción del oxígeno disuelto a medida que el agua circula, debido a la demanda biológica de las plantas (41). La alta concentración de amoníaco y nitritos se detecta en el tanque porque, en esta siembra que fue

hidropónica con aplicación foliar, el fertilizante no se incorporó directamente al agua del sistema, esto genera acumulación de residuos nitrogenados en el tanque, mientras que en el sistema NFT, al tener un flujo constante de solución nutritiva, estos compuestos se diluyen y no se acumulan, explicando la gran diferencia entre ambas mediciones (42).

Durante la Siembra 2, la única realizada en un sistema acuapónico, se presentaron alteraciones en la química del agua que provocaron la muerte de los peces y un desarrollo deficiente de las plantas, ya que, aunque el pH se mantuvo en un rango aceptable, su ligera acidez pudo haber incrementado la toxicidad del amoníaco en el agua (43), mientras que la baja temperatura afectó tanto el metabolismo de los peces como la eficiencia de las bacterias encargadas del ciclo del nitrógeno (44). A pesar de que la conductividad eléctrica fue alta, lo cual reflejaba una abundante disponibilidad de nutrientes para las plantas (45), los niveles elevados de oxígeno disuelto sugirieron una escasa actividad biológica en el sistema, posiblemente debido a la muerte progresiva de los peces y a la ausencia de materia orgánica en descomposición (46). Esta situación se agravó por la acumulación de amoníaco, que alcanzó concentraciones tóxicas ante la falta de bacterias nitrificantes activas capaces de transformarlo en compuestos menos dañinos (47), y por la presencia de nitritos en niveles elevados, lo que evidenció que el proceso de nitrificación quedó incompleto, incrementando la toxicidad del agua. Como consecuencia de esta disrupción en el ciclo de nutrientes, las plantas no recibieron los elementos necesarios para su desarrollo (48), por lo que se recurrió a la fertilización foliar como medida correctiva destinada a suplir las deficiencias nutricionales que el sistema acuapónico no logró aportar.

En la Siembra 3, se aplicó fertilizante directamente al tanque, lo que tuvo un efecto más marcado sobre la química del agua. Se observa un aumento en la conductividad eléctrica tanto en el tanque como en el NFT, reflejando la presencia de sales disueltas provenientes del fertilizante (49). La similitud entre ambos puntos del sistema indica que los nutrientes circularon de manera eficiente. El pH se mantuvo ligeramente ácido, posiblemente debido a la composición del

fertilizante (50). Aunque no hubo peces en el sistema, se detectaron niveles elevados de amoníaco y nitritos, lo que podría explicarse por la forma nitrogenada del fertilizante utilizado (Máster 15-5-30-2), que contiene nitrógeno en forma de amonio o urea, compuestos que requieren ser transformados por bacterias nitrificantes en formas menos tóxicas como el nitrato (51). La persistencia de estos compuestos sugiere una actividad bacteriana limitada, es decir, una baja presencia de bacterias nitrificantes, una colonización incompleta del biofiltro o condiciones ambientales poco favorables (como pH, oxígeno disuelto o temperatura), que impiden que estas bacterias realicen eficientemente su función metabólica (51). Cabe destacar que no se verificó directamente la presencia ni el estado del biofiltro, por lo que no puede confirmarse su efectividad. Además, la posible ausencia o desequilibrio de la comunidad microbiana en el agua también pudo haber contribuido a la baja conversión del nitrógeno, afectando la química del agua y la viabilidad del sistema (52).

Efecto sobre mediciones morfológicas

A continuación, se muestra la tabla 6, donde se considera el área foliar de las lechugas como un indicador central, considerando que las plantas estaban en el sistema NFT y representan el principal enfoque del estudio. Esta variable permitió comparar cómo la química del agua, en particular los niveles de nutrientes y la presencia de compuestos como amoníaco y nitritos, pudo haber influido en el desarrollo foliar.

Tabla 6. Comparación Área foliar NFT vs variables químicas en las tres siembras

| Siembra | Tipo de lechuga | Área foliar (cm ²) |
|---------|-----------------|--------------------------------|
| 1 | Crespa | 53,7 |
| | Lisa | 24,5 |
| 2 | Crespa | 45,4 |
| | Lisa | 26,3 |
| 3 | Crespa | 93,7 |
| | Lisa | 66 |

Fuente: Autores

En la siembra 1, el crecimiento especialmente en la lechuga crespa, que mostró un mejor desarrollo foliar que la lechuga lisa, durante esta etapa, el pH se mantuvo adecuado, al igual que la temperatura del agua tabla 5, lo que favoreció los procesos fisiológicos de las plantas (53). Sin embargo, la conductividad eléctrica, así como los niveles de oxígeno disuelto, amoníaco y nitritos, estuvieron elevados, lo que pudo generar cierto estrés en el sistema a pesar de ello, las plantas lograron un desarrollo adecuado, aunque la ausencia de peces limitó la disponibilidad continua y completa de nutrientes, confirmando que la fertilización foliar puede ser una alternativa viable en ausencia de peces siempre que se controle cuidadosamente los parámetros fisicoquímicos (54).

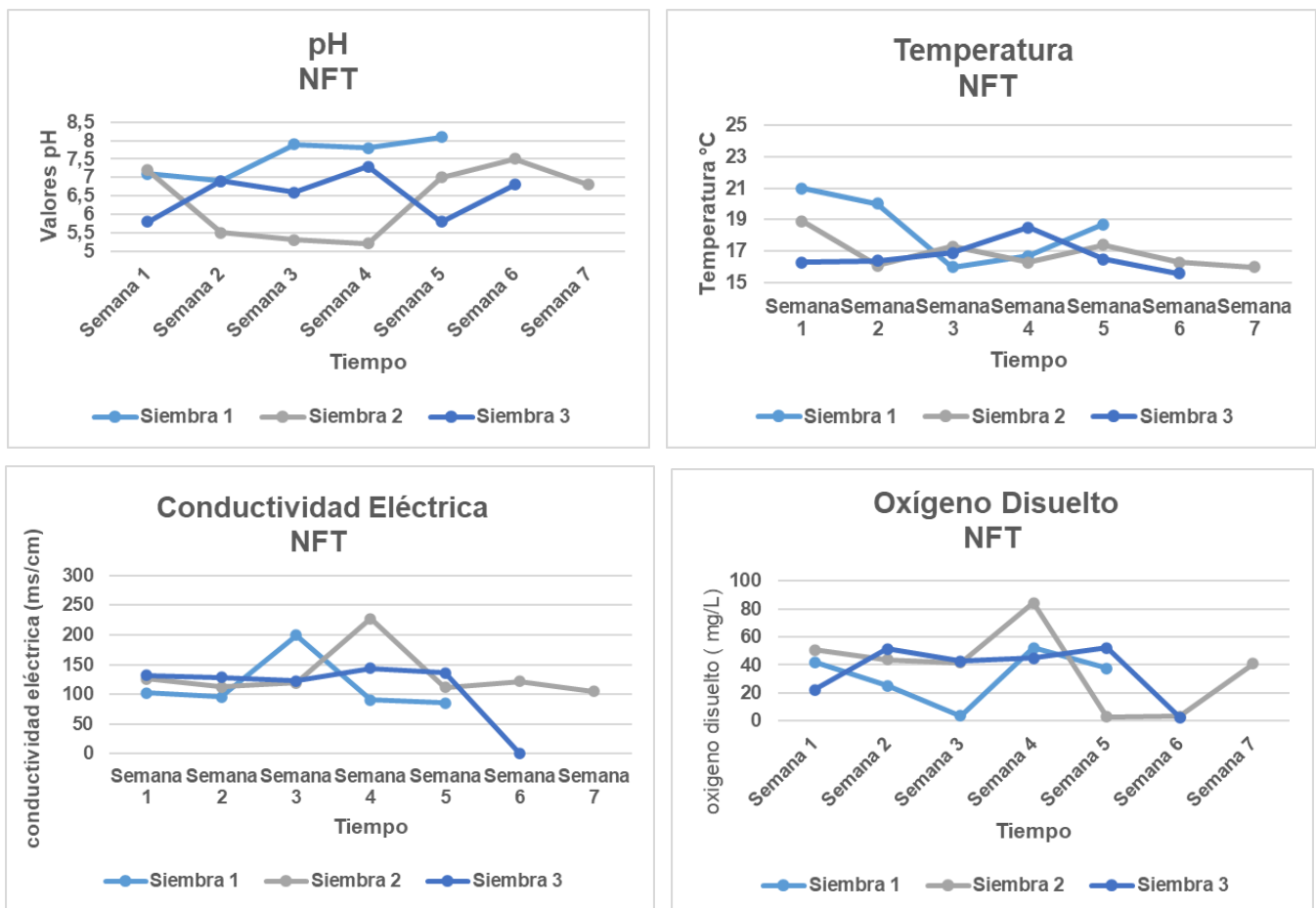
Durante la Siembra 2, aunque variables como el pH y la temperatura se mantuvieron estables, se observaron diferencias importantes en otras mediciones. En el NFT, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto fueron altos, lo que sugiere una mayor concentración de nutrientes y buena oxigenación en la zona radicular (55) (56); sin embargo, también se detectaron niveles elevados de nitritos, lo cual puede ser perjudicial para el crecimiento de las plantas debido a su toxicidad (57). Estas condiciones generaron un entorno nutricional inadecuado, que afectó de manera distinta a las variedades cultivadas, la lechuga crespa presentó un mayor desarrollo foliar en comparación con la lechuga lisa, lo que podría indicar una mayor tolerancia a las condiciones del sistema, mientras que la lechuga lisa mostró un crecimiento más limitado, posiblemente debido al estrés generado por los compuestos acumulados (58), aunque se intentó mantener un aporte nutricional adecuado, las variaciones en la química del agua del sistema NFT influyeron negativamente en el desarrollo del cultivo.

La siembra 3, por su parte, no incluyó peces, pero se realizó una aplicación directa al tanque que distribuye el agua al sistema NFT, lo cual se tradujo en un suministro más efectivo y uniforme de nutrientes. En este caso, se observa el mejor desarrollo del área foliar en ambas variedades de lechuga. Este resultado podría deberse a una combinación de factores más estables, una menor conductividad eléctrica, indicativa de una concentración de sales más manejable para las plantas

(59), niveles de amoníaco y nitritos más bajos que en la siembra 2, lo cual reduce el estrés químico sobre el sistema radicular; y una buena oxigenación del agua (60). Aunque el pH fue bajo, este se mantuvo dentro de un rango aceptable para el cultivo de lechuga, y la temperatura del agua, aunque ligeramente inferior a la de la siembra 1, estuvo dentro de un margen que no representa riesgo para el desarrollo vegetal (61).

Revisión comparativa de las siembras realizadas

A continuación, se presenta la figura 6, la cual muestra el análisis de los datos registrados en el sistema NFT (Anexo 3) a lo largo de las siembras realizadas. La información ha sido organizada de manera que facilite la interpretación y comparación de las diferentes variables evaluadas. Es importante destacar que los gráficos fueron elaborados específicamente para el sistema NFT, dado que el enfoque principal del estudio se centra en el comportamiento de las plantas dentro de este sistema.



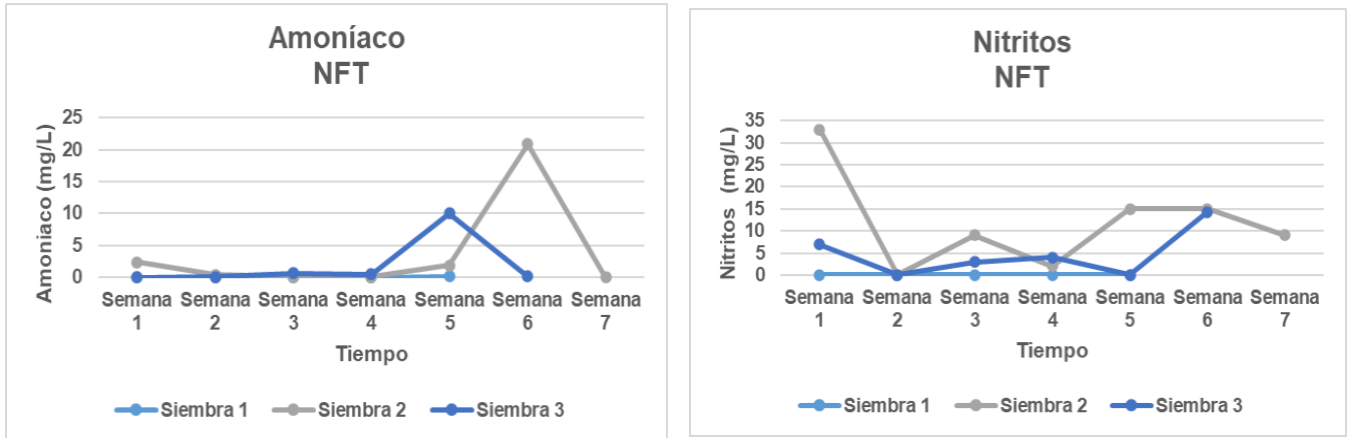


Figura 6. Tendencias observadas en NFT durante las tres siembras. Fuente: Autores

Para la siembra 1 en la primera semana, el sistema mostró condiciones estables. El agua estaba bien oxigenada y sin señales de acumulación de compuestos nitrogenados. En la segunda semana, comenzaron a notarse señales de desgaste: la oxigenación disminuyó y la química del agua se redujo ligeramente, lo que sugiere que el fertilizante foliar no estaba impactando directamente el medio acuático (62). Hacia la tercera semana, hubo una baja considerable en la disponibilidad de oxígeno y en la calidad de nutrientes, indicando un sistema que empezaba a salirse de los rangos óptimos tabla 2. La cuarta semana mostró una ligera mejora en el oxígeno, pero no se evidenciaron ingresos de nuevos nutrientes al agua (63). Posteriormente, en la quinta semana, el agua perdió nuevamente oxígeno y se empezó a observar un estado de agotamiento del sistema. Durante la sexta y séptima semana, la tendencia fue de poca actividad química: sin acumulación de residuos ni reacciones nuevas, pero también sin ingreso de nutrientes. En general, el sistema funcionó con relativa estabilidad, pero fue perdiendo efectividad por la falta de un suministro continuo de nutrientes directamente al agua.

En la siembra 2, la primera semana comenzó con un entorno muy activo biológicamente. La presencia de peces generó una gran cantidad de residuos, lo que aumentó la actividad química del agua (64). Se observó una acumulación de compuestos nitrogenados y una elevada actividad microbiana. En la segunda semana, el sistema mostró signos de estrés: la acidez del agua

aumentó y los niveles de residuos se redujeron ligeramente, en parte porque los peces dejaron de estar presentes (65). A partir de la tercera semana, el sistema comenzó un proceso de depuración natural. Se redujeron los residuos y se empezó a estabilizar la química del agua, aunque el entorno seguía influenciado por la carga orgánica inicial (66). La cuarta semana trajo un repunte en los nutrientes disponibles, posiblemente liberados desde los residuos en descomposición, y con ello volvió la presencia de algunas sustancias nitrogenadas. Sin embargo, en la quinta semana, el sistema mostró inestabilidad: poca oxigenación y reaparición de residuos no asimilados (66). En la sexta semana, el sistema comenzó a mostrar cierta recuperación, aunque la oxigenación fue baja. Para la séptima semana, la química del agua mejoró, pero se mantenía cierta inestabilidad por los residuos acumulados.

En la siembra 3, Desde el inicio, esta siembra mostró un entorno químicamente muy activo. El fertilizante aplicado al tanque impactó directamente en el agua, aumentando la disponibilidad de nutrientes, aunque al comienzo hubo signos de desbalance, como bajos niveles de oxígeno. En la segunda semana, el sistema comenzó a estabilizarse, con mejor oxigenación y reducción de residuos. En la tercera semana, el ambiente en el sistema NFT se mantuvo estable, con buena disponibilidad de nutrientes y sin acumulación de desechos. Durante la cuarta semana, hubo una renovación en la actividad química: volvieron a aparecer algunos residuos nitrogenados, indicando que el sistema seguía recibiendo nutrientes y estaba en constante reacción. La quinta semana mostró una estabilidad, aunque comenzaron a presentarse algunos residuos no asimilados (67). En la sexta semana, el sistema sufrió un agotamiento evidente de nutrientes, con bajos niveles de actividad química y poca oxigenación (68). Sin embargo, en la séptima semana, se observó una recuperación parcial de los nutrientes.




Otros autores, como Benavides y Rodríguez (69), destacan que el conocimiento químico es fundamental para el buen funcionamiento y la eficiencia tanto en sistemas acuapónicos como hidropónicos, ya que en el caso de la acuaponía permite mantener el equilibrio entre peces, plantas y bacterias mediante el control de variables clave como el pH, el oxígeno disuelto y la

transformación de compuestos nitrogenados, mientras que en la hidroponía es esencial para formular soluciones nutritivas adecuadas y controlar variables como la conductividad eléctrica y la disponibilidad de nutrientes (70). Aunque los procesos difieren, en ambos casos la comprensión de los aspectos fisicoquímicos resulta clave para alcanzar un sistema productivo y equilibrado, lo cual ha sido respaldado por otros estudios que enfatizan cómo estos enfoques no solo optimizan el uso de recursos naturales como el agua y los nutrientes, sino que además representan una alternativa sostenible para la producción de alimentos, contribuyendo así a prácticas agrícolas más responsables y respetuosas con el medio ambiente (71).

Síntomas visuales en relación con variables del agua

A lo largo de las distintas siembras, la (tabla 7) muestra los síntomas observados en las plantas, con la finalidad de identificar las afectaciones según las condiciones específicas de cada siembra.

Tabla 7. Sintomatología visual y su relación con los parámetros fisicoquímicos

| Siembra | Evidencia Fotográfica | Sistema | Fertilización | Síntomas en plantas | Interpretación fisiológica | Fuente de referencia |
|-----------|---|-------------|--|---|--|----------------------|
| Siembra 1 |  | Hidropónico | Fertilización foliar | Bordes de hojas quemados y senescencia en hojas inferiores | Se observa posible estrés por niveles bajos de nutrientes, posible deficiencia en nitrógeno y magnesio. La fertilización foliar no fue suficiente para cubrir completamente las necesidades nutricionales. | (72) |
| Siembra 2 |  | Acuapónico | Presencia de peces y fertilización foliar | Bajo desarrollo de área foliar, clorosis leve en hojas inferiores | En un inicio, los peces aportaban nutrientes al sistema a través de sus desechos, lo que aseguraba la nutrición de las plantas. Pero tras su muerte, no se añadió ninguna fuente de nutrientes al agua, y las plantas solo recibieron fertilización foliar, la cual no fue suficiente para cubrir sus necesidades. | (73) |
| Siembra 3 |  | Hidropónico | Fertilización en el tanque del sistema NFT | Mayor área foliar, mejor aspecto general | El suministro continuo de nutrientes en el agua favoreció un desarrollo foliar vigoroso y una eficiente absorción radicular; sin embargo, este proceso pudo haber sido aún más beneficioso si hubiera contado con la presencia de peces, quienes contribuyen a la mejora en el crecimiento de las plantas. | (74) |

Fuente. Datos tomados de fuentes de referencia.

CONCLUSIONES

- La implementación de un protocolo para el monitoreo de variables de importancia agronómica es crucial para garantizar el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas en sistemas hidropónicos y acuapónicos. Este enfoque permitirá detectar de manera temprana cualquier desequilibrio en estos factores, lo que posibilita la toma de decisiones y la corrección de problemas antes de que afecten negativamente el rendimiento de los cultivos de este modo, un monitoreo adecuado no solo optimiza el uso de los recursos, sino que también mejora la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas a largo plazo.
- Este estudio demuestra que la productividad en sistemas acuapónicos o hidropónicos depende de la estabilidad entre factores físicos, químicos y biológicos. El modelo que presentó mejores resultados se caracterizó por un manejo técnico adecuado y una mayor estabilidad en las variables del sistema, lo cual sugiere que, incluso en ausencia de peces, es posible alcanzar niveles óptimos de desempeño mediante una fertilización dirigida y un monitoreo constante de las variables críticas. Por otro lado, los resultados menos favorables evidencian que la incorporación de organismos, como los peces, requiere un diseño previo que contemple tanto su bienestar como su integración armónica al sistema; de lo contrario, pueden generar desequilibrios que comprometen la eficiencia general del proceso.
- La química del agua es un factor esencial en las plantas para consumo humano, ya que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes, el balance del sistema y la calidad del alimento producido. Variables como el pH, la conductividad eléctrica y la presencia de compuestos potencialmente tóxicos para las plantas como el amoníaco, los nitritos o el exceso de sales determinan si las plantas pueden absorber correctamente los elementos que necesitan para crecer. Controlar la composición química del agua es clave no solo para asegurar un desarrollo vegetal saludable, sino también para garantizar productos seguros, limpios y aptos para el consumo humano.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda profundizar en el desarrollo de estrategias para el control eficiente de amoníaco y nitritos en sistemas hidropónicos y acuapónicos, considerando su efecto sobre el desarrollo de las plantas. Futuras investigaciones podrían centrarse en la implementación de tecnologías de filtración biológica o tratamientos específicos que permitan mantener estos compuestos en niveles mínimos, mejorando así la química del agua y el rendimiento del cultivo.
- Se recomienda el uso de sensores automatizados y sistemas inteligentes para el monitoreo en tiempo real de parámetros fisicoquímicos del agua, integrando áreas como la informática y la automatización. Esta integración permitiría tomar decisiones más precisas y oportunas en el manejo de sistemas hidropónicos y acuapónicos, aumentando la eficiencia operativa y reduciendo el riesgo de estrés en las plantas causado por desbalances en las condiciones del agua.
- Se recomienda diversificar las especies vegetales en sistemas acuapónicos e hidropónicos como una estrategia para optimizar el uso de nutrientes, ya que cada planta tiene diferentes tasas de absorción de nutrientes. Esta diversidad ayuda a mantener un equilibrio en la solución nutritiva o en el agua del sistema, reduciendo la acumulación de compuestos específicos y creando un entorno más estable. Además, la inclusión de diversas especies vegetales aumenta la resiliencia del sistema frente a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas, lo que favorece una producción más sostenible y adaptable a las demandas del mercado.
- Para futuras investigaciones es fundamental verificar directamente la presencia, estado y eficacia del biofiltro en el sistema acuapónico, dado que este componente es clave para la nitrificación y el mantenimiento de la calidad del agua; así, evaluar su funcionamiento permitirá identificar posibles fallas que afecten la transformación de compuestos tóxicos,

como amoníaco y nitritos, facilitando el diseño de estrategias más eficientes para optimizar la salud del sistema y el desarrollo de peces y plantas. Además, se recomienda implementar un análisis microbiológico que garanticen su correcto funcionamiento y permitan detectar a tiempo cualquier alteración que impacte el equilibrio biológico del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a los docentes que contribuyeron de manera significativa al desarrollo de esta investigación. A la profesora Martha Isabel Vargas Mora, directora de tesis, por su orientación, dedicación y constante motivación; al profesor Juan Carlos Tapias, codirector de tesis, por sus valiosas sugerencias, su visión crítica y su compromiso con nuestra formación académica; a la profesora Angélica Bravo Bohórquez, investigadora líder del proyecto, por su liderazgo y eficiente coordinación; y al profesor Jaime Andrade Ramírez, líder del proyecto LESTOMA, por su visión innovadora y su compromiso con la materialización de esta iniciativa.

Asimismo, agradecemos a Ronald Castillo y Angie González, quienes iniciaron este proyecto y sentaron las bases para que pudiéramos continuar con esta investigación. También extendemos nuestro agradecimiento a Elkin González por su apoyo y colaboración durante el desarrollo del estudio.

Finalmente, queremos expresar un agradecimiento muy especial a nuestros padres María Moreno, Jorge Parrado, Nelly Cuevas y Jesús Muñoz por su respaldo incondicional, su constante apoyo y su amor, que fueron fundamentales para alcanzar cada uno de los logros en nuestra formación profesional.

REFERENCIAS

1. Yanelis E, Hidropónico C. Universidad de Panamá [Internet]. Cloudfront.net. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.academia.edu/download/54078244/HIDROPONIA.pdf>
2. Aquino MAZ. MANUAL DE HIDROPONIA [Internet]. Gob.mx. [citado 20 de mayo de 2025]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf
3. Juan, López. Cifalmalaga.org. [citado 20 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://cifalmalaga.org/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
4. Caló PP. Introducción a la Acuaponía [Internet]. Wordpress.com. [citado el 3 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://aquaponiabrasil.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/introduc3a7c3a3o-a-aquaponia-espanhol.pdf>
5. Camargo WAA. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA PROMOVER LA AGRICULTURA SOSTENIBLE Y MEJORAR LA ECONOMÍA DEL MUNICIPIO DE TIBACUY, CASO DE ESTUDIO FINCA LOS NARANJOS [Internet]. Edu.co. [citado 15 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/6e608765-57a1-480e-8b04-eb4f39cb122b/content>
6. Christopher S. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala—Cultivo integral de peces y plantas [citado el 13 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yMBqEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA35&dq=la+acuaponia+sostenible&ots=y0KZnUeaNm&sig=cYvJ42XKIA7xyTb3sqn37RAYzFM>
7. López E, Eduardo Á. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ACUAPONÍA PARA LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LECHUGA CRESPA EN LA VEREDA LA CRUZ, CHACHAGÜÍ(N). AUNAR; 2021. Disponible en: <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/1153>
8. Ruiz C, Luz K. Producción acuapónica de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) con adición de nutrientes deficitarios en el sistema. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2021. Disponible en : <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/4915>
9. Cifuentes AA, Leguizamón AK, Zambrano JA, Landines MA. Factores clave y tendencias en los sistemas acuapónicos: revisión de literatura. Rev Fac Med Vet Zootec [Internet]. 2023 [citado el 1 de mayo de 2025];70(3): e107673. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-29522023000300008&script=sci_arttext
10. Guarnizo Sánchez NA, Contreras Gómez AEY. acuaponía urbana: fomentando la agricultura sostenible en entornos urbanos. nodo [Internet]. 2023 [citado 20 de mayo de 2025];18(35):20–9. Disponible en: <https://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/1616>
11. Ozuna García ES, Torres Ramírez JF, Triviño Pinzón JA. Plan de negocios para la creación de una empresa de hidroponía en la finca El Diamante Vereda Pasoancho – Zipaquirá (Cundinamarca). 2015 [citado 20 de mayo de 2025]; Disponible en: <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8792>
12. Gómez-Merino FC, Ortega-López NE, Trejo-Téllez LI, R. S-P, E. S-M, J. S-O. Aquaponics: Sustainable and potential alternative for food production in México [Internet]. Unam.mx.

- [citado el 1 de abril de 2025]. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/Agroproductividad/2015/vol8/no3/10.pdf>
13. Pérez L, Caracterización y optimización de la producción de alimentos a través de sistemas acuapónicos de pequeña escala. Unirioja.es. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=301742>
 14. Carlos A, Diseño y evaluación de un sistema de monitoreo IOT y modelado para acuaponía. Edu.mx. [citado el 15 de abril de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/3822>
 15. Facatativá [Internet]. Com.co. [citado 1 de abril de 2025]. Available from: <https://www.municipio.com.co/municipio-facatativa.html>
 16. Diego J, Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación. [citado 22 de abril de 2025]. Available from: <https://gogreenaquaponics-com.translate.goog/blogs/news/what-is-aquaponics-biofilter? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc>
 17. Laura V, Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS. Edu.co. [citado el 15 de abril de 2025]. Disponible en: <https://repository.unilasallista.edu.co/items/52638a67-47d0-44bf-8968-3eee13790c2b>
 18. Kasozi N, Abraham B, Kaiser H, Wilhelmi B. The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. Ann Microbiol [citado 1 de abril de 2025]. [Internet]. 2021;71(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13213-020-01613->
 19. Crecer 500 A, de aprobación: Página F, De calidad C. Ficha Técnica F-PDD-08 [Internet]. Amazonaws.com. [citado el 15 de mayo de 2025]. Disponible en: https://croper-production.s3.amazonaws.com/product_provider_files/files/000/006/309/original/FT_MF_CRECER_500.pdf
 20. Super macro. Aplicación foliar y vía fertiirrigación. DG.: SR su E en TC. DOSIS Y MODO DE EMPLEO [Internet]. Agroecologysl.com. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: https://agroecologysl.com/wp-content/uploads/2019/03/FICHA-TECNICA-KIT-SUPER-MAGRO_V3.pdf
 21. Raíz 500 [Internet]. Ankor S.A.S. Líder en fertilizantes y nutrición vegetal. [citado el 1 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://ankor.com.co/products/raiz-500/>
 22. Master, Portal Tecno Agrícola [Internet]. Portalteconoagricola.com. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.buscador.portalteconoagricola.com/vademecum/col/producto/25140/MASTER%2015-5-30>
 23. Triana C, Edu.co. [citado el 18 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1926>
 24. Hanna, De la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa S 1. I. Ficha de Datos de Seguridad [Internet]. Hannacolombia.com. [citado el 1 de mayo de 2025]. Disponible en: https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/hoja_seguridad/2023/11/Hoja_de_seguridad_HI93715A-0.pdf
 25. Chamorro Legarda M. DISEÑO, MONTAJE Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO, UTILIZANDO LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN ACUÍCOLA. Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuicola [Internet]. 2012

- [citado el 8 de abril de 2025];6(6). Disponible en: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1515>
26. Fotómetro Multiparámetro de Sobremesa y Medidor de pH [Internet]. Hannacolombia.com. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-83300-fotometro-multiparametro-de-sobremesa-y-medidor-de-ph?srsItd=AfmBOop6YVwnc-vOGFnWbq0Li4ZgInd0i1ugKpInwii3JOol2S9QGgQL>
 27. Aguilar AR, Trelles AZ. Crecimiento de goldish, *Carassius auratus*, y lechuga, *Lactuca sativa*, en sistema acuapónico en condiciones de invernadero. RBST [Internet]. 2014 [citado el 19 de mayo de 2025];2(2):76–88. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/755>
 28. Verónica O, Trabajo Recepcional Para Obtener E L Titulo de LEIESEI. Invernadero hidropónico automatizado en riego, con monitoreo de pH, conductividad eléctrica y control de variables climáticas [Internet]. Repositorioinstitucionaluacm.mx. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: [https://www.repositorioinstitucionaluacm.mx/jspui/bitstream/123456789/365/3/VERONICA%20OLVERA%20RODRIGUEZ ISEI_unlocked.pdf](https://www.repositorioinstitucionaluacm.mx/jspui/bitstream/123456789/365/3/VERONICA%20OLVERA%20RODRIGUEZ%20ISEI_unlocked.pdf)
 29. Ernest K, Movilidad AY. MICRONUTRIENTES EN LA FISILOGIA DE LAS PLANTAS: FUNCIONES [Internet]. Edu.ar. [citado el 14 de marzo de 2025]. Disponible en: <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/MicronutrientesenlaFisiologia.pdf>
 30. Cerebral B. Las bacterias y su papel en el ciclo del nitrógeno [Internet]. Boletín cerebral. 2024 [citado el 5 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://boletincerebral.com/las-bacterias-y-su-papel-en-el-ciclo-del-nitrogeno/>
 31. Ochoa LGF, Rivera JRM. Comparación de la producción de lechuga de los cultivares Maximus, Locarno, Versai y Kristine en acuaponía con tilapia en Zamorano [Internet]. Zamorano.edu. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1740/1/CPA-2013-036.pdf>
 32. Oliver A, Colpos.mx:8080. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/3983>
 33. López SSG. Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes [Internet]. Zamorano.edu. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/805/1/T2244.pdf>
 34. Sara M, Redalyc.org. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169913317004.pdf>
 35. Gilsanz JC. HIDROPONIA [Internet]. Inia.uy. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>
 36. Cintia V, Análisis descriptivo.Academia.edu. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: https://www.academia.edu/download/81831671/Presentaci_C3_B3n-de-Cais_final.pdf
 37. Quevedo F. Medidas de tendencia central y dispersión. Medwave [Internet]. 2011;11(03). Disponible en: <https://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2013/12/Quevedo-F.-Medidas-de-tendencia-central-y-dispersion.-Medwave-2011-Ma-113..pdf>
 38. Normas [Internet]. ISO. 2024 [citado el 2 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.iso.org/es/normas>

39. ISO 5667-1:2020 [Internet]. ISO. 2023 [citado el 2 de abril de 2025]. Disponible en: <https://translate.google.com/translate?u=https://www.iso.org/standard/72369.html&hl=es&sl=en&tl=es&client=srp&prev=search>
40. UNE-EN ISO 19458:2007 [citado el 2 de abril de 2025]. [Internet]. Une.org. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0038751>
41. Dávalos J, ESTIMACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA PLANTA PILOTO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA ACUICULTURA DE LA PUCP. Rev ECIPeru [Internet]. 2019 [citado el 1 de mayo de 2025];5(1):5–8. Disponible en: <https://revistas.eciperu.net/index.php/ECIPERU/article/view/302>
42. Joaquín S, Acumulación nitritos, Unav.edu. [citado el 18 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://portalcientifico.unav.edu/documentos/604ac886fcf63c71c571b5bf>
43. Ernesto D, De la concentración de amonio y nitrito en el agua de un sistema intensivo de cultivo de camarón E. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS CARRERA DE ACUICULTURA [Internet]. Edu.ec. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22139/1/Trabajo_Titulacion_2220.pdf
44. Nora Iñon, Ciclo del Nitrógeno FB. CICLO DEL NITROGENO [Internet]. Aguapedia.org. [citado el 19 de abril de 2025]. Disponible en: <https://aula.aguapedia.org/mod/resource/view.php?id=63>
45. FAO, DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES [Internet]. Fao.org. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSDP/Field_exercises/Nutrients_availability_ES.pdf
46. Alberto A, EL MANEJO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA. Repositorio institucional.mx. [citado el 19 de abril de 2025]. Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/344/1/Alberto%20Aguirre%20Hernandez.pdf>
47. Antúnez-Ocampo ÓM, Sandoval-Villa M, Alcántar-González G, Solís-Martínez M. Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. Agro ciencia [Internet]. 2014 [citado el 19 de mayo de 2025];48(8):805–17. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952014000800004&script=sci_arttext
48. Rafael C, Agropecuario RCP. Intoxicación por Nitratos y Nitritos [Internet]. Org.uy. [citado el 15 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R129/R_129_44.pdf
49. Bruss D, Guía de conductividad eléctrica y pH para hidroponía Researchgate.net. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309293679_Electrical_Conductivity_and_pH_Guide_for_Hydroponics
50. Calderón K, pH por elemento C 1. VÓ de pH 2. C de pH del S 3. RÓ. El pH del Suelo y la Asimilación de Nutrientes [Internet]. Com.mx. [citado el 1 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.laboratoriosaldemexico.com.mx/wp-content/uploads/2023/02/Secretos-de-un-Suelo-Sano-4.-EL-pH-DEL-SUELO-Y-LA-ASIMILACION%CC%81N-DE-NUTRIENTES.-1.pdf>

51. Zamorano, Bacterias nitrificantes, edu. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/items/11f3c684-4acc-4633-9f56-da6f00ca2f8c>
52. Valencia G, Conversión de nitrógeno. Edu.pe. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unu.edu.pe/bitstreams/e8c31a28-8918-441c-99e0-5b317da14d5d/download>
53. Gómez L, Absorción de nutrientes Researchgate.net. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Md-Gomez-Lopez/publication/28052194_Crecimiento_y_absorcion_de_nutrientes_del_brocoli/links/0deec525da16a45321000000/Crecimiento-y-absorcion-de-nutrientes-del-brocoli.pdf
54. Humberto R, Soluciones Nutritivas Hidropónicas. Yolasite.com. [citado el 18 de abril 2025]. Disponible en: <https://drcomag.yolasite.com/resources/Solucionesnutritivashidroponicasfactoresycriteriosparasuformulacion.pdf>
55. Cerón T, Conductividad eléctrica acuicultura.mx:8080. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/2982>
56. Rubén D, Oscilación en las concentraciones de oxígeno disuelto Edu.co. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/31186/Oscilacion%20en%20las%20concentraciones%20de%20ox%C3%ADgeno%20disuelto%20%28OD%29%20de%20acuerdo%20a%20diferentes%20frecuencias%20establecidas%20en%20sistemas%20NFT%20%28Nutrient%20Film%20Technique%29%20en%20el%20municipio%20de%20Ch%C3%ADa%20Cundinamarca.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
57. Scaglione MC, G. F, M. B, A. S, Cerutti RD. Acuaponía, nueva tecnología de producción agropecuaria [Internet]. Edu.ar. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: https://www.fcv.unl.edu.ar/investigacion/wp-content/uploads/sites/7/2018/11/PA_SCAGLIONE_C_ACUAPONIA.pdf
58. Villalobos-Reyes S, González-Pérez E. Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en sistema de acuaponía. Rev Mex De Cienc Agric [Internet]. 2017 [citado el 19 de mayo de 2025];7(5): 98392. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016000500983&script=sci_arttext
59. Hernán S, CURVAS DE ABSORCION DE NUTRIENTES: IMPORTANCIA Y USO EN LOS PROGRAMAS DE FERTILIZACION [Internet]. Edu.ar. [citado el 19 de mayo de 2025]. Disponible en: <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/CURVAS%20DE%20ABSORCION%20DE%20NUTRIENTES.pdf>
60. Albuja V, Andrade J, Lucano C, Rodríguez M. Comparativa de las ventajas de los sistemas hidropónicos como alternativas agrícolas en zonas urbanas. Minerva [Internet]. 2021 [citado el 8 de mayo de 2025];2(4):45–54. Disponible en: <https://minerva.autanabooks.com/index.php/Minerva/article/view/26>
61. Rivera E, Sánchez M, Domínguez H. pH como factor de crecimiento en plantas. Revista de Iniciación Científica [Internet]. 2018 [citado el 15 de mayo de 2025]; 4:101–5. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829>

62. Doctoral T. ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES MEDIANTE EL EMPLEO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS [Internet]. Upm.es. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: http://oa.upm.es/39528/1/Susana_Lozita_Theilig.pdf
63. El agua. E la C de OD en. ¿Qué es el oxígeno disuelto? [Internet]. Waterboards.ca.gov. [citado el 19 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110s_p.pdf
64. Mario M, Sistemas de recirculación acuapónicos. [citado el 4 de abril de 2025]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4364577.pdf>
65. Valencia M. Acuaponía: Peces, Plantas y Ecosistemas Productivos [Internet]. Hydro Environment - Inovación Agrícola en un click. 2024 [citado el 19 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>
66. Helen B, Manual de acuaponía Edu.co. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: <https://repository.icesi.edu.co/server/api/core/bitstreams/be952b8c-0d7b-47ee-a89e-157b28733c07/content>
67. Roberto L, Evaluación de dos métodos pasivos de oxigenación radicular en cultivo hidropónico recirculante de tomate y lechuga Ipn.mx:8080. [citado el 18 de abril 2025]. Disponible en: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/jspui/handle/LITER_CIIDIROAX/120
68. Cachama blanca *Piaractus brachypomus* E de PF y. M en A de un SAP la P, Fragaria F. CAMILA ANDREA BENAVIDES CLAROS YUDITH CAROLINA DAZA RODRÍGUEZ [Internet]. Edu.co. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: <https://fupvirtual.edu.co/repositorio/files/original/3ed80254a58a5458d49e587767c60c3362521df9.pdf>
69. Ramírez DF, Sabogal D, Jiménez P, Giraldo H. La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Rev Fac Cienc Básicas [Internet]. 2008 [citado el 27 de abril de 2025]; 4:32–51. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/2230/1937>
70. Prada Román JS, Prada Román JE. LA ACUAPONÍA COMO ALTERNATIVA EN LA PRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO DEL SECTOR AGROPECUARIO PARA UN MEJOR DESARROLLO SOSTENIBLE EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER. 2022 [citado 21 de mayo de 2025]; Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/10431>
71. Sanz R. Plan de negocio para la creación de una empresa de acuaponía. 2018 [citado 21 de mayo de 2025]; Disponible en: <https://agris.fao.org/search/en/providers/125048/records/67488b326b7cc10eeb5ac086>
72. Alfredo L, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México [Internet]. Redalyc.org. [citado 21 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317306.pdf>
73. Gilsanz JC. HIDROPONIA [Internet]. Inia.uy. [citado el 18 de abril de 2025]. Disponible en: <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>
74. Calderón-García DM, Olivas-García JM, Luján-Álvarez C, Ríos-Villagómez SH, Hernández-Salas J. acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México.

lyCUAA [Internet]. 2019 [citado 1 de abril de 2025];(77):5–11. Available from: <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/2086>

ANEXO 1



FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO CENTRO DE BIO-SISTEMAS

Autopista Norte Km. 10 vía Bogotá-Briceño, Chía (Cundinamarca)
Teléfono 2427030 Ext 2430/2431

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS ANÁLISIS DE AGUA PARA RIEGO Y SOLUCIONES NUTRITIVAS

| | | |
|---|--|---|
| Muestra No. Muestra: 000142 Identificación: EL ESTOMA Orden de Trabajo No.: 000807 Fecha de Solicitud : 21-ago.-24 Fecha de Impresión : 05-sept.-24 | Cliente Nombre: EDUAR JOHAN CASTRO CELEITA Dirección: FCA PANAMA Municipio: FACATATIVÁ Teléfono: 3232297954 E-Mail: eduardjhoan.1020@gmail.com | Finca Nombre: PANAMA Municipio: FACATATIVÁ Departamento: Cundinamarca Solicitante: |
|---|--|---|

| ELEMENTO ANALIZADO | pH | C.E. dS/m | Cationes (mg * L ⁻¹ ó ppm) | | | | | Suma de Cationes | Aniones (mg * L ⁻¹ ó ppm) | | | | | Suma de Aniones | Fe Hierro | RAS | Clasificación |
|-------------------------------|-------|-----------|---------------------------------------|-----------|-------------|----------|---------------------------------------|------------------|--|-------------------------|-------------|---|--|-----------------|-----------|-------|---------------|
| | | | K Potasio | Ca Calcio | Mg Magnesio | Na Sodio | N-NH ₄ ⁺ Amonio | | N-NO ₃ ⁻ Nitrito | Cl ⁻ Cloruro | S Azufre | HCO ₃ ⁻ Bicarbonato | CO ₃ ⁻ Carbonato | | | | |
| RESULTADO DEL ANÁLISIS | 6,7 | 0,12 | 0,8 | 16,2 | 0,6 | 2,1 | 2,7 | | 5,4 | 5,8 | 2,0 | 31,1 | 0,0 | | 0,05 | 0,14 | C1 - S1 |
| Resultado en meq/L | | | 0,02 | 0,808 | 0,050 | 0,09 | 0,19 | 1,16 | 0,38 | 0,16 | 0,13 | 0,51 | 0,00 | 1,18 | | | |
| OPTIMO meq/L | 5 - 8 | < 0,7 | 0.13-0.51 | 1 - 3 | 0,8-2,06 | | < 3,0 | | 0,08 - 0,8 | < 3,0 | 0,62 - 1,87 | < 1,5 | | | < 0,3 | < 3,0 | |

Metodología:

pH - pHmetro, C.E. conductivímetro, P método Lactato, N-Mineral (N-NH₄ y N-NO₃) destilación - titulación según Kjeldahl, S turbidimetría BaCl₂, Cationes (K, Ca, Mg y Na) por absorción atómica, Fe por absorción atómica, CO₃, HCO₃ y Cl Método Mohr, titulación ácido-base.

RAS: Relación de adsorción de Sodio

pH y C.E. en dilución: 1:1

Clasificación:

C1 : Agua de salinidad baja: puede usarse para irrigación en la mayoría de los suelos y cultivos con bajo riesgo de generar problemas de salinidad en el suelo.

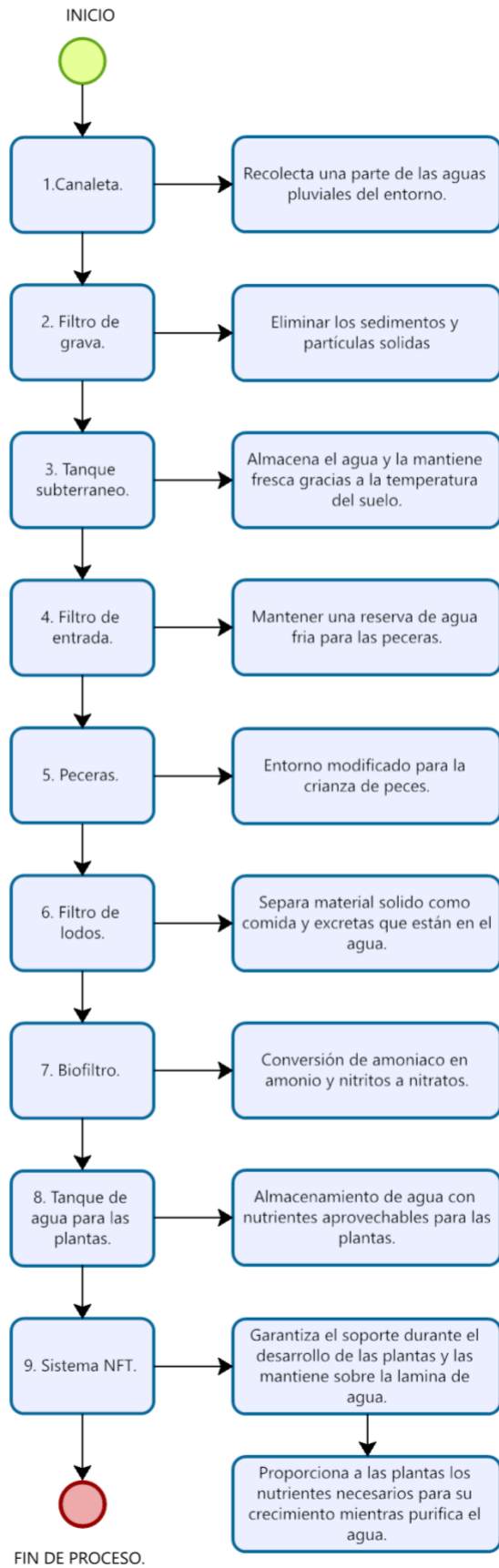
S1 : Agua baja en sodio: puede utilizarse para irrigación, sin riesgo de que se produzcan problemas niveles perjudiciales de sodio intercambiable.

Dureza (mg/L de CaCO₃): 42,8

Observaciones:

Análisis químico del agua del sistema NFT, realizado en el Centro de Investigación de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. LESTOMA, 2024.

ANEXO 2



ANEXO 3

| Tiempo | pH | | | Temperatura (°C) | | | Conductividad eléctrica (ms/cm) | | |
|----------|-------------------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|---------------------------------|-----------|-----------|
| | Siembra 1 | Siembra 2 | Siembra 3 | Siembra 1 | Siembra 2 | Siembra 3 | Siembra 1 | Siembra 2 | Siembra 3 |
| Semana 1 | 7,1 | 7,2 | 5,8 | 21 | 18,9 | 16,3 | 102,3 | 126,4 | 131,8 |
| Semana 2 | 6,9 | 5,5 | 6,9 | 20 | 16,1 | 16,4 | 95,7 | 112,2 | 128,7 |
| Semana 3 | 7,9 | 5,3 | 6,6 | 16 | 17,3 | 16,9 | 199,7 | 119,6 | 123 |
| Semana 4 | 7,8 | 5,2 | 7,3 | 16,7 | 16,3 | 18,5 | 90,8 | 227,2 | 143,6 |
| Semana 5 | 8,1 | 7 | 5,8 | 18,7 | 17,4 | 16,5 | 85,7 | 111,9 | 135,9 |
| Semana 6 | - | 7,5 | 6,8 | - | 16,3 | 15,6 | - | 121,9 | 0,33 |
| Semana 7 | - | 6,8 | | - | 16 | | - | 105,1 | - |
| Tiempo | Oxígeno disuelto (mg/L) | | | Amoniaco (mg/L) | | | Nitritos (mg/L) | | |
| | Siembra 1 | Siembra 2 | Siembra 3 | Siembra 1 | Siembra 2 | Siembra 3 | Siembra 1 | Siembra 2 | Siembra 3 |
| Semana 1 | 42,1 | 50,9 | 22,3 | 0,02 | 2,39 | 0 | 0 | 33 | 7 |
| Semana 2 | 25,2 | 43,9 | 51,6 | 0 | 0,35 | 0,06 | 0 | 0 | 0 |
| Semana 3 | 3,75 | 41,8 | 42,7 | 0 | 0,08 | 0,6 | 0 | 9 | 3 |
| Semana 4 | 52,1 | 84,2 | 44,9 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 0 | 2 | 4 |
| Semana 5 | 37,6 | 3,13 | 52,1 | 0,11 | 1,9 | 10 | 0 | 15 | 0 |
| Semana 6 | - | 3,53 | 2,62 | - | 20,9 | 0,13 | - | 15 | 14,3 |
| Semana 7 | - | 40,8 | - | - | 0 | - | - | 9 | - |

Datos recolectados durante las tres siembras realizadas en el sistema NFT. Autores 2025

ARTÍCULO 46.- OPCIONES DE TRABAJO DE GRADO

MODALIDAD ARTÍCULO PUBLICABLE (INVESTIGACIÓN)

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Programa de Zootecnia (Acreditado Alta Calidad Res. MEN 009412 de 2022)

Evidencia anti-plagio - *Turnitin*

| ARTÍCULO 61.- DEBERES | ARTÍCULO 62.- FALTAS |
|--|---|
| <p>13. No cometer fraude académico o plagio en las pruebas de evaluación, exámenes o trabajos escritos presentados en desarrollo del proceso de aprendizaje y formación, así como el respeto a la propiedad intelectual.</p> | <p>1. El fraude:</p> <p>c. Utilizar citas o referencias falsas o registrar indebidamente referencias que no coincidan con las citas.</p> <p>d. Presentar como de su propia autoría la totalidad o parte de una obra, trabajo, documento o invención realizados por otra persona; incorporar un trabajo ajeno en el propio de tal forma que induzca a error al observador o lector en cuanto a la autoría de este.</p> |

Inserte una evidencia¹ del índice de similitud (%) arrojado por la herramienta *Turnitin* ↓

¹ Procedimiento: tome pantallazo del reporte de originalidad → Guarde el pantallazo como imagen (jpg/jpeg/png) en el PC → seleccione el recuadro o posicione el cursor dentro del recuadro (cuando el texto ya haya sido borrado) → Vaya a la barra de herramientas de Word - pestaña "Insertar" → función "Imágenes" → "Insertar imágenes desde este dispositivo" → seleccione el pantallazo (imagen jpg/jpeg/png) desde la ubicación de guardado en el PC → pique "Insertar".

Química de agua

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

Excluir citas

Apagado

Exclude assignment
template

Activo

Excluir bibliografía

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

0% - 25%

Permitido

El documento se puede entregar y radicar como propuesta (anteproyecto).

>25%

No permitido

El documento no se puede entregar ni radicar como propuesta (anteproyecto). Se hace obligatoria la revisión exhaustiva de este por parte del estudiante y el director para hacer los ajustes pertinentes.