



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Trabajo de Tesis

Calidad y reutilización de agua en cultivos acuapónicos con tilapia (*Oreochromis niloticus*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en la granja acuícola de la Universidad Nacional Agraria en el periodo de julio a octubre del año 2022.

Autores:

Br. Cristofer Antonio Oliva Hernandez

Br. Denis Joel Ruiz Hernández

Asesor:

Lic. Frankling Alexander Calero Montano

Managua, Nicaragua

Julio, 2023



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Trabajo de Tesis

Calidad y reutilización de agua en cultivos acuapónicos con tilapia (*Oreochromis niloticus*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en la granja acuícola de la Universidad Nacional Agraria en el periodo de julio a octubre del año 2022.

Autores:

Br. Cristofer Antonio Oliva Hernandez

Br. Denis Joel Ruiz Hernández

Asesor:

Lic. Frankling Alexander Calero Montano

Managua, Nicaragua

Julio, 2023

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXO	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 ACUAPONÍA	4
3.2 SISTEMA ACUAPÓNICO NFT	4
3.3 ELEMENTOS DEL SISTEMA ACUAPÓNICO	5
3.3.1 <i>Estanque de peces</i>	5
3.3.2 <i>Filtro mecánico</i>	5
3.3.3 <i>Filtro biológico</i>	5
3.3.4 <i>Bacterias nitrificantes</i>	5
3.3.5 <i>Ciclo del nitrógeno</i>	5
3.3.6 <i>Bomba sumergible</i>	6
3.3.7 <i>Plantas de tomate (Solanum lycopersicum)</i>	6
3.3.8 <i>Tilapia gris (Oreochromis niloticus)</i>	8
3.4 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE CALIDAD DE AGUA	8
3.4.1 <i>Calidad de agua</i>	8
3.4.2 <i>Reciclaje de agua</i>	8

3.4.3 <i>Parámetros químicos en sistema acuapónico</i>	9
3.4.4 <i>Parámetros físicos en sistemas acuapónico</i>	10
3.5 MARCO REGULATORIO	11
IV. MATERIALES Y METODOS	12
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	12
4.1.1 <i>Ubicación</i>	12
4.1.2 <i>Condiciones climáticas:</i>	12
4.1.3 <i>Infraestructura</i>	12
4.2. DISEÑO METODOLÓGICO	13
4.2.1 <i>Fase de pre-campo</i>	14
4.2.2 <i>Fase de campo</i>	17
4.2.3 <i>Fase post campo</i>	20
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1 AMONIO (NH ₄ ⁺)	21
5.2 NITRITOS (NO ₂ ⁻)	22
5.3 NITRATOS (NO ₃ ⁻)	23
5.4 OXÍGENO DISUELTO	23
5.5 TEMPERATURA	24
5.6 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	25
5.7 POTENCIAL DE HIDRÓGENO	26
5.8 TURBIDEZ	26
5.9 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	27
5.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	28
<i>Variabilidad entren puntos de muestreo</i>	28
<i>Prueba de correlación</i>	30
VI. CONCLUSIONES	33
VII. RECOMENDACIONES	34
VIII. LITERATURA CITADA	35
IX. ANEXOS	39

DEDICATORIA

Dedico primeramente este trabajo investigativo a Dios al creador de nuestros días, nuestras noches, por siempre mantenerme a salvo de cualquier peligro y por siempre brindarme la sabiduría necesaria para seguir adelante, hasta lograr llegar hasta este punto de mi carrera profesional.

Este proceso de estudio culminado se lo dedico a todos los integrantes de mis familias en especial a mi padre Denis Antonio Ruiz y mi madre Blanca Onelia Hernández que siempre me ayudaron de diversa manera hasta lograr mi objetivo, a mis abuelos: Blanca Nubia Ochoa Martínez, Gregoria Nicolasa Ruiz y Luis Amado Arauz, siendo una base indispensable tanto como en lo moral y económico para cumplir esta meta ayudándome con sus consejos cada día.

Por último, dedico este trabajo al Ing. Ernesto Ramon Gutiérrez Tunnerman (Q.E.P.D), porque siempre me brindó su apoyo incondicional en cualquiera de las circunstancias que se me presentara y por siempre contar conmigo en lo académico, sus consejos hicieron un cambio en mi vida personal y profesional, muchas gracias, amigo saludos hasta el cielo.

Br. Denis Joel Ruiz Hernandez

Con mucho reconocimiento y humildad, dedico estas palabras aquellos que han sido fundamentales en mi vida y en el camino que me ha llevado hasta este momento perdurable. A cada uno de ustedes, mi profunda admiración y agradecimiento por su amor incondicional y apoyo constante.

En primer lugar, dedico mi trabajo a Dios, fuente de sabiduría y guía en cada paso que he dado. A través de los desafíos y las alegrías, me ha fortalecido y ha sido mi refugio seguro.

A mi padre Ramón Oliva, un ejemplo a seguir de tenacidad y sacrificio. Sus palabras de aliento y tus consejos sabios han sido la fuerza impulsora detrás de mí constante búsqueda de superación y conocimiento. Tu amor y apoyo inquebrantable han sido el cimiento sobre el cual he construido mi camino. Esta tesis es un tributo a ti.

A mi amada madre, María Hernández, por ser mi inspiración y mi motivación en los momentos difíciles. Su amor incondicional y su dedicación han sido pilares fundamentales en mi vida. Ha sido mi mayor motivación para superar obstáculos y alcanzar mis sueños. Esta tesis es un homenaje a ella y al amor infinito que me ha dado.

A mis queridas abuelas, Ángela Hernández y María Barahona, agradezco su amor, sabiduría y dulzura. Su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable. A mi abuelo Vivian Oliva, que en paz descansa, le dedico este trabajo con profundo respeto y gratitud por los valores que has transmitido a través de generaciones. Su legado de honradez, humildad y trabajo arduo siempre será una fuente de inspiración para mí. Agradezco haber tenido la oportunidad de conocerlo y honrar su memoria con cada paso que doy.

A mi tía Nery Hernández y mi tía Flavia Rodríguez, mujeres ejemplares y pilares de sabiduría en mi vida. Su dedicación y apoyo inquebrantable han sido fundamentales en mi desarrollo personal y académico, esta tesis es una expresión de mi profundo agradecimiento y respeto hacia ustedes. A mis tíos cuyos nombres no podrían enumerar en este espacio limitado, agradezco su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Su presencia ha sido un pilar de fortaleza y felicidad. Esta tesis es un tributo a cada uno de ustedes y al amor familiar que compartimos.

Br. Cristofer Antonio Oliva Hernandez

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos al Lic. Frankling Calero por brindarnos la oportunidad de trabajar en esta tesis con él y además siempre estar pendiente desde el primer día de la toma de datos hasta el día de hoy revisando nuestro documento con dedicación, amor y esmero. Sin su ayuda no habríamos podido terminar dicha investigación.

Un agradecimiento a mi compañero de tesis, Cristofer Antonio Oliva Hernández, por brindarme la oportunidad de haber realizado dicha investigación, teniendo una constante comunicación para realizar este trabajo y contribuir a mejorar mi forma de actuar.

Agradezco al Lic. Edgar Izaguirre Rayo por ser uno de mis amigos que siempre me apoyaba de todas las maneras posibles brindándome consejos para lograr terminar dicha investigación, apoyándome siempre que tuve alguna necesidad para seguir adelante con mis metas y siempre estar al pendiente de mi familia, muchas gracias, amigo.

De igual forma agradezco al Ing. Yasser Pérez Álvarez y al auxiliar de campo y Holman Ortega por apoyarnos teníamos alguna necesidad que se presentaba en el sistema acuapónico y siempre asesorarnos y aconsejarnos para que nuestra investigación saliera con éxito.

Br. Denis Joel Ruiz Hernandez

Agradezco por el apoyo incondicional y la generosidad que he recibido de parte de este hermoso país y todas sus instituciones. Su hospitalidad y disposición para ayudarme en cada paso del camino han sido fundamentales para el éxito de mi tesis.

A la Universidad Agraria, expreso mi más profundo agradecimiento por brindarme una educación de calidad y abrirme las puertas de sus conocimientos.

A los maestros de FARENA, expreso mi más sincero agradecimiento por su preparación excepcional en sus respectivos campos y por ser personas de buenas intenciones. Su compromiso con la educación y dedicación a cada estudiante han sido una fuente constante de inspiración. Cada lección aprendida, cada consejo brindado y cada momento compartido han contribuido a mi crecimiento personal y profesional.

Agradezco a Janitza Mejía por haberme concebido una maravillosa hija, por haber creído en mí, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio: enseñándome a valorar todo lo que tengo. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y triunfo en la vida, espero contar siempre con su apoyo.

A Frankling Calero, mi más profundo agradecimiento por su paciencia, capacidad profesional y excelente inspiración. Sus orientaciones expertas y su guía a lo largo de este proceso de investigación han sido invaluable. Su liderazgo y apoyo constante me han motivado a superar obstáculos y a alcanzar resultados positivos.

A todas las personas y amigos que he encontrado durante esta etapa tan importante, quiero expresar mi gratitud. Su compañía, las conversaciones amenas y el apoyo emocional han hecho de este viaje académico una experiencia enriquecedora, cada uno de ustedes ha dejado una marca imborrable en mi corazón y les agradezco por todo lo bueno.

Br. Cristofer Antonio Oliva Hernandez

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Características de la Variedad INTA JL-5	7
2. Variables para evaluar calidad y reutilización del agua	14
3. Cuadro comparativo de resultados obtenidos y valores de referencia	28
4. Promedios de los parámetros químicos	28
5. Desviación estándar	28
6. Error estándar	29
7. Media y error estándar de OD	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Técnica película de nutrientes	4
2. Ciclo del nitrógeno en acuaponía	6
3. Tomate INTA JL-5	7
4. <i>Oreochromis niloticus</i>	8
5. Mapa de ubicación del área de estudio	12
6. Diseño del sistema acuapónico NFT	16
7. Puntos de muestreo	17
8. Solución de prueba de amoníaco	19
9. Solución de prueba nitrito	19
10. Solución de prueba de nitrato	19
11. Comportamiento del (NH_4^+) en el sistema NFT	21
12. Comportamiento del (NO_2^-) en el sistema NFT	22
13. Comportamiento del (NO_3^-) en el sistema NFT	23
14. Comportamiento del OD en el sistema NFT	24
15. Comportamiento de T en el sistema NFT	25
16. Comportamiento de DBO5 en el sistema NFT	25
17. Comportamiento de pH en el sistema NFT	26
18. Comportamiento de turbidez en el sistema NFT	27
19. Comportamiento de CE en el sistema NFT	27
20. Variabilidad entre puntos de muestreo	29
21. Correlación por punto de muestreo – Análisis de componentes principales (ACP)	31
22. Correlación por día de muestreo – Análisis de componentes principales (ACP)	31

ÍNDICE DE ANEXO

ANEXO	PÁGINA
1. Matriz de muestreo	39
2. Analizador Pocket Pro+ Multi 2 Tester para pH/conductividad/TDS/salinidad.	40
3. Bolígrafo medidor de oxígeno disuelto.	40
4. Kit de prueba freshwater master	40
5. Carta colimétrica con rangos de los 4 niveles más importantes en acuarios de agua dulce	41
6. Parámetros ideales para la acuaponía tomando en cuenta un punto medio para los tres organismos.	41
7. Tolerancia general de la calidad del agua para peces (de agua fría o caliente), plantas establecidas en sistemas hidropónicos y bacterias nitrificantes. (FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 589).	41
8. Montaje del sistema acuapónico NFT	42
9. Instalación de los filtro mecánico y biológico	42
10. Establecimiento del estanque de peces	43
11. Sistema acuapónico instalado en su totalidad	43
12. Toma de muestra DBO5 del estanque de peces	44
13. Toma de muestra DBO5 salida de cama de siembra	44
14. Floración del cultivo	45
15. Crecimiento de tomate	45
16. Resultados de los análisis de laboratorio para DBO5	46

RESUMEN

El presente estudio evaluó la calidad y reutilización de agua de origen acuícola en cultivos acuapónico con la técnica película de nutriente (NFT- nutrient film technique), con Tilapia en el proceso de remoción de compuestos nitrogenados, por medio de la medición de parámetros fisicoquímicos, en la granja acuícola de la Universidad Nacional Agraria, en el periodo de Julio a octubre del año 2022. Se estableció un sistema acuapónico NFT con una población inicial de 50 tilapias (*Oreochromis niloticus*) y 22 plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) con los siguientes componentes: estanque de peces, filtro mecánico, filtro biológico y cama de siembra. Los parámetros que se evaluaron fueron: NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , OD, pH, CE, DBO₅, Turbidez y Temperatura. Para ello se realizaron monitoreos rutinarios del sistema dos veces por semana en horas matutinas y mediciones con equipos electrónicos de campo (potenciómetro de campo y oxímetro de campo), y reactivos para técnicas colorimétricas (Kit de prueba freshwater master). Se establecieron 4 puntos de muestreo claves para la recopilación de datos que son: agua del estanque de peces (punto 1), salida de filtro mecánico (punto 2), salida de filtro biológico (punto 3) y efluente de cama de siembra de plantas (punto 4). Se seleccionaron estos puntos debido a que teóricamente aquí se realizan las transformaciones de las moléculas químicas nitrogenadas, la incidencia de bacterias y la retención de sustancias, además del intercambio de OD y transformación de la materia orgánica en el agua. Los datos se operativizaron para la generación de gráficas, análisis de variabilidad significativa entre puntos y días, y análisis de componentes principales (ACP) por puntos de muestreo y por días. Se estimó la calidad del agua tomando como referencia el documento técnico de pesca y acuicultura de la FAO de producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala que presenta los valores ideales promedio para la supervivencia de plantas, peces y bacterias en sistema acuapónico. También se proponen rangos para turbidez y CE sin marco de referencia legislativo para este estudio, que se compara con guías técnicas de investigaciones realizadas por otros autores. Todos los resultados obtenidos se aproxima con los valores propuesto por la FAO; Se evidencia la dinámica del ciclo del nitrógeno en la remoción de compuestos nitrogenados demostrado en las gráficas de correlación, indicando correlación negativa y fuerte para nitrato y amonio en los puntos 1 y 4. Se demuestra la eficiencia del sistema NFT como tecnología agropecuaria factible para el reutilización y calidad de agua, en el desarrollo de plantas y peces en un periodo de 4 meses, con alturas de 1 metro para plantas y de 50 g hasta 240 g para peces.

Palabras claves: Acuicultura, Hidroponía, Recirculación, Filtro mecánico, filtro biológico, Remoción.

ABSTRACT

The present study evaluated the quality and reuse of water of aquaculture origin in aquaponic crops with the nutrient film technique (NFT), with Tilapia in the process of removing nitrogenous compounds, through the measurement of physicochemical parameters, in the aquaculture farm. from the National Agrarian University, from July to October 2022. An NFT aquaponic system was established with an initial population of 50 tilapias (*Oreochromis niloticus*) and 22 tomato plants (*Solanum lycopersicum*) with the following components: fish, mechanical filter, biological filter and planting bed. The parameters that were evaluated were: NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , OD, pH, CE, DBO₅, Turbidity and Temperature. For this, routine monitoring of the system was carried out twice a week in the morning hours and measurements with electronic field equipment (field potentiometer and field oximeter), and reagents for colorimetric techniques (freshwater master test kit). Four key sampling points were established for data collection, which are: fish pond water (point 1), mechanical filter outlet (point 2), biological filter outlet (point 3) and effluent from plant seedbeds. (Point 4). These points were selected because theoretically the transformations of the nitrogenous chemical molecules, the incidence of bacteria and the retention of substances are carried out here, in addition to the exchange of DO and transformation of organic matter in the water. The data were operationalized for the generation of graphs, analysis of significant variability between points and days, and principal component analysis (PCA) by sampling points and by days. The water quality was estimated taking as a reference the FAO technical document on fishing and aquaculture on small-scale aquaponics food production, which presents the average ideal values for the survival of plants, fish and bacteria in an aquaponic system. Ranges for turbidity and EC without a legislative reference framework are also proposed for this study, which is compared with technical guidelines from research carried out by other authors. All the results obtained are approximated with the values proposed by the FAO; The dynamics of the nitrogen cycle in the removal of nitrogenous compounds is demonstrated in the correlation graphs, indicating a negative and strong correlation for nitrate and ammonium in points 1 and 4. The efficiency of the NFT system is demonstrated as a feasible agricultural technology for the reuse and quality of water, in the development of plants and fish in a period of 4 months, with heights of 1 meter for plants and from 50 g to 240 g for fish.

Keywords: Aquaculture, Hydroponics, Recirculation, Mechanical filter, Biological filter, Removal.

I. INTRODUCCION

El agua, como recurso vital para la vida, se encuentra actualmente en riesgo debido a una serie de factores, tales como actividades antropogénicas, la crisis climática, el uso inadecuado de los recursos hídricos y la deforestación, entre otros. En los últimos años, la contaminación de fuentes hídricas subterráneas y superficiales ha ido en aumento debido a la falta de conciencia ambiental de la población y la falta de asesoramiento para mejorar la gestión de los recursos hídricos.

Por otro lado, existe la necesidad de producir alimentos de alta calidad a bajo costo para satisfacer las demandas de una población en constante crecimiento. Esto implica el uso eficiente de los recursos ambientales para la producción de alimentos libres de sustancias que puedan causar daños tanto a la sociedad como al medio ambiente.

La acuaponía se presenta como una alternativa de producción especialmente adecuada en áreas donde el suelo y el agua son recursos limitados, al mismo tiempo que promueve una gestión eficiente del agua. La acuaponía es un sistema de producción cerrado que combina la acuicultura y la hidroponía, integrando la cría de peces con el cultivo de plantas. Se trata de una tecnología agropecuaria sostenible que se basa en principios de producción circular sin el uso de suelo (Agro Productividad, 2015).

En este sistema, los desechos metabólicos producidos por los peces son aprovechados como nutrientes por las plantas, lo que reduce la carga química inicial del sistema y elimina compuestos tóxicos como el amonio (NH_4^+) y el nitrito (NO_2^-), equilibrando las sustancias presentes, como el nitrato (NO_3^-) (Agro Productividad, 2015).

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es una especie prolífica que se reproduce en temperaturas entre los 20°C y 25°C, principalmente en áreas subtropicales. Su madurez sexual se alcanza a los 2 o 3 meses. Para favorecer su ciclo reproductivo, se requiere una temperatura de 20°C a 23°C y una iluminación de 8 horas diarias (Martínez, 2018).

Por otra parte, el tomate (*Solanum lycopersicum* - variedad JGL5) es una hortaliza que se adapta a temperaturas entre los 20°C y 28°C, especialmente en áreas subtropicales. Su floración comienza aproximadamente a los 28 días, y la cosecha puede estimarse a partir de

los primeros 72 días. Cada planta produce de 4 a 5 frutos de alta calidad y presenta una buena tolerancia a enfermedades y plagas (OLAS, INTA, 2015).

Bajo este enfoque y en el fortalecimiento de los desafíos de la agenda 2030, en Nicaragua es importante: “Crear capacidades en actividades relativas al agua y el saneamiento por medio del tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización” (ONU, 2018), donde la acuaponía funciona como un sistema productivo sustentable, vinculado al uso de los Recursos suelo y agua.

En este contexto, la finalidad de esta investigación es estudiar y demostrar el comportamiento del agua procedente de la acuicultura en un sistema acuapónico utilizando la técnica de película de nutrientes (NFT), evaluando los parámetros fisicoquímicos del sistema durante el proceso de eliminación de compuestos nitrogenados, con el fin de reutilizar y reciclar el agua.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar los parámetros fisicoquímicos del sistema acuapónico NFT en el proceso de remoción de compuestos nitrogenados para la reutilización de agua del sistema acuapónico.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad de agua de origen acuícola del sistema acuapónico, tomando como referencia el documento técnico de pesca y acuicultura de la FAO.
- Cuantificar la remoción de nitritos, nitratos, amonio, oxígeno disuelto y DBO para comprobar el reciclaje de agua del sistema acuapónico NFT.
- Describir el sistema acuapónico NFT en el ciclo de reutilización del agua, proveniente de la producción de *Oreochromis niloticus* y aprovechada por los filtros biológicos de *Solanum lycopersicum*.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Acuaponía

La acuaponía es un sistema de producción que integra acuicultura e hidroponía en un sistema de recirculación. Según la (FAO, 2011), los nutrientes producidos por los organismos acuáticos son utilizados por las plantas como fuente de alimento y purificación del agua, generando un ambiente equilibrado y productivo.

3.2 Sistema Acuapónico NFT

Según el CAIS/INCAP. 2006, el sistema de cultivo por NFT (técnica película de nutrientes), se basa en la circulación continua o intermitente de una fina lámina de solución nutritiva disuelta en el agua, que circula a través de las raíces del cultivo, sin que éstas se encuentren inmersas en sustrato alguno, sino que simplemente quedan sostenidas por un canal de cultivo, en cuyo interior fluye la solución en donde no existe pérdida o salida al exterior de la solución, por lo que se considera un sistema de tipo cerrado.



Figura 1: Técnica película de nutrientes

3.3 Elementos del sistema acuapónico

3.3.1 Estanque de peces

Es el sitio más importante de un sistema acuapónico NFT, los peces se encuentran dentro de un cuerpo de agua y estos consumen alimento balanceado para peces. Por la digestión del alimento se produce materia orgánica (M.O.) y se genera amonio (NH_4). Altas concentraciones de amonio dentro del estanque interfieren en su ciclo reproductivo.

3.3.2 Filtro mecánico

Combinado con grava que tiene como función retener los sólidos suspendidos dentro del cuerpo de agua. El agua con las rocas interactúa con el principio de cohesión y adhesión. Las fuerzas de cohesión se dan entre moléculas de agua promoviendo el engrosamiento de una película de agua a los sólidos del fondo. En ambos casos el agua se aloja en microporos y macroporos del fondo (Calero, F. 2022). Este principio se usa en la retención de M.O., ya que los poros de las rocas usadas en el filtro mecánico se llenan de la M.O. en suspensión.

3.3.3 Filtro biológico

El filtro biológico en un sistema acuapónico provee un lugar en el que las bacterias tienen la función de transformar el amoníaco (NH_3^+), un compuesto tóxico para los peces, y en nitrato (NO_3^-), el cual es un fertilizante que puede ser fácilmente absorbido por las plantas., este proceso es conocido como nitrificación. (Chavez, L. 2022)

3.3.4 Bacterias nitrificantes

Nitrobacter y *nitrosomas* son bacterias nitrificantes que oxidan ion amonio (NH_4^+) y ion amoníaco (NH_3^+), y convertirlo en NO_3^- (MIMI Acuario, 2023). El NH_3^+ es también uno de los contaminantes más importantes porque es relativamente común y tóxico, disminuyendo la reproducción y el crecimiento, causando la muerte por deficiencias de nitrógeno en plantas. El NH_4 sin ionizar es altamente tóxico para los peces y la vida acuática. (Waterboards, 2022)

3.3.5 Ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno es un proceso biológico. Es uno de los ciclos biogeoquímicos y abióticos más importantes en el que se basa el equilibrio dinámico de la naturaleza. Consta con NO_3 que se descompone en la biomasa dejándolo en la forma reducida de NH_4^+ , el proceso que se llama amonificación; y que luego el amonio sea oxidado a NO_3 , proceso llamado nitrificación (Thunerman, *et al*, 2017). En la siguiente figura se muestra que el ciclo

en el agua se limita solamente a la nitrificación, debido a que en este sistema cerrado su objetivo es la depuración del agua para reutilizarse.

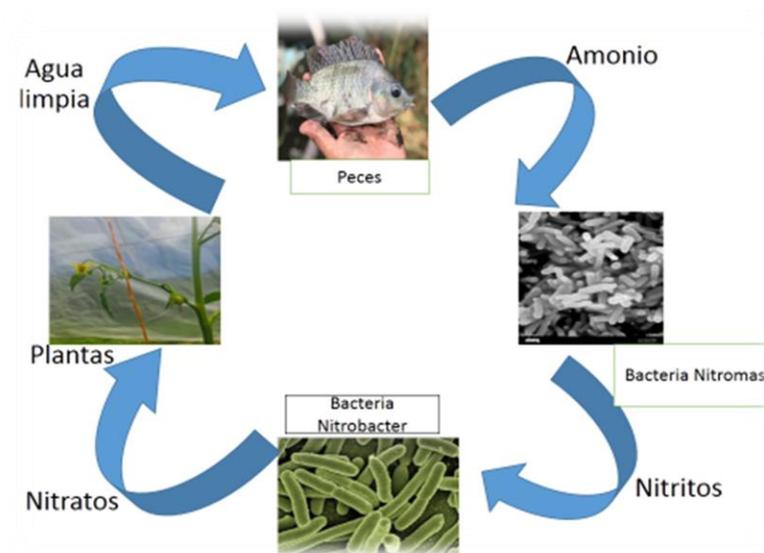


Figura 2: Ciclo del nitrógeno en acuaponía.

3.3.6 Bomba sumergible

Según Juan Izquierdo (2015), la bomba sumergible impulsa permanentemente la solución nutritiva desde el estanque colector, hasta la parte alta de los canales de cultivo.

En el caso de un sistema NFT, dado que en general existe una escasa diferencia de altura entre el nivel mínimo dentro del estanque y el punto más alto que es el filtro biológico de los canales de cultivo, la bomba deberá ser capaz de impulsar eficientemente (a baja altura manométrica) un caudal máximo equivalente al producto del caudal que se maneja para cada canal de cultivo (2 litros por minuto) por el número de canales de cultivo.

3.3.7 Plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*)

En Nicaragua, el cultivo de tomate constituye una actividad de gran importancia económica que representa una fuente básica de empleo en las zonas donde se cultiva. En el país se cuenta con condiciones edafoclimáticas óptimas para el cultivo del tomate (Wilber Gutiérrez, 2009). La variedad *Solanum lycopersicum* (JL5) es un híbrido que requiere poca aplicación de insumos (INTA, 2015).

Cuadro 1: Características de la Variedad INTA JL-5

Descripción	Características
Días a floración	24 días después del trasplante
Inicio de cosecha	67-70 días después del trasplante
Forma predominante del fruto	Ovalado
Color de la flor	Amarillo
Peso promedio del fruto	99 a 105 gramos
Tamaño promedio del fruto	5.77 centímetros de largo por 5.44 centímetros de ancho
Número de frutos por racimo	4 a 5 frutos
Número de racimos por planta	9 racimos
Tolerancia a <i>Gemini virus</i> transmitidos por mosca blanca	Muy buena



Figura 3: Tomate INTA JL-5

3.3.8. Tilapia gris (*Oreochromis niloticus*)



Figura 4: *Oreochromis niloticus*

Las tilapias son de color marrón o grisáceo en general, a menudo con bandas indistintas en su cuerpo y la cola tiene rayas verticales. Cuando se reproducen, los machos se vuelven rojizos, especialmente en sus aletas. Los machos pueden llegar a alcanzar los 60 cm de longitud y logran obtener un peso de 280 gramos. Como es típico de la tilapia, los machos alcanzan un tamaño mayor y crecen más rápido que las hembras se deben que se utilizan para ciclos reproductores su crecimiento y desarrollo es más tardado (FAO, 2023)

3.4 Parámetros fisicoquímicos de calidad de agua

3.4.1 Calidad de agua

La calidad de agua es la evaluación y definición de parámetros para calificar sus características físicas y químicas, para determinar el grado de contaminación que se encuentra en las fuentes hídricas como: Ríos, lagos, etc. (Garcia, 2012).

Para mantener la calidad de agua en las unidades de acuaponía, se recomienda revisar sus parámetros una vez por semana para asegurarse que estos se encuentren en los rangos óptimos. Unidades de acuaponía maduras tendrán una calidad de agua consistente y no necesitan ser revisadas tan a menudo. Somerville, C. 2022.

3.4.2 Reciclaje de agua

Es el proceso en el que convertimos el agua destinada a ser desechada en agua útil, gracias a los diferentes tratamientos que realiza el proceso de depuración. El grado de tratamiento de agua residual depende fundamentalmente de la contaminación en la que se encuentre el agua,

para decidir su finalidad si es apta para la actividad agrícola o consumo Humano (Ecombes, 2020)

3.4.3 Parámetros químicos en sistema acuapónico

Amonio (NH_4)

El NH_4 presente en las aguas residuales es un producto tóxico que procede principalmente de haber sido excretado de forma natural por el metabolismo de los animales (Ángel, Cid, 2014)

El incremento de NH_4 en el sistema puede ocasionar daños en los tejidos de los peces y esto frena primeramente su crecimiento. Altas concentraciones producen toxicidad para el desarrollo de los peces y las plantas, afectando directamente todo el sistema, (Zuluaga-González Néstor Alexander, s.f.).

El amonio puede llegar a ser muy tóxico para los peces solo en concentraciones mayores a 3 mg/l. (FAO, 2022)

Nitrito (NO_2^-)

Los niveles de NO_3^- y NO_2^- en aguas naturales son un indicador importante de la calidad del agua. Ambos se encuentran relacionados con el ciclo del nitrógeno de suelo y plantas superiores, aunque los NO_3^- son añadidos por medio de fertilizantes que puede ocasionar que los niveles de estos aumenten

Los NO_2^- son una forma intermedia de nitrógeno, producidos cuando el NH_3 se convierte en NO_3^- durante el ciclo del nitrógeno, El exceso de comida, la orina/excrementos de los peces, y en general, cualquier M.O. en descomposición, puede generar NH_3 (HANNA, INSTRUMENTS, 2020).

Los nitritos pueden llegar a ser muy toxico para los peces solo en concentraciones mayores a 1 mg/l. (Somerville, C., etc. FAO. 2022).

Nitratos (NO_3^-)

Forma nitrogenada oxidada absorbible por las plantas, que se utiliza como alimento. Debido a que el recurso más importante de estos sistemas es el agua, se hace indispensable controlar su calidad. (Lizcano, A. 2022)

La generación de NO_3^- es importante para mantener nutrientes dentro del sistema acuapónico, principalmente cuando llega a la cama de siembra, donde las plantas lo toman para su

crecimiento y desarrollo, siendo abono orgánico producido por las plantas en el sistema. Al bajar la concentración de NO_3^- en el sistema, aumenta el ciclo de producción vegetal y animal. (BARBIERI, 2018). Los nitratos pueden llegar a ser tóxicos para los peces solo en concentraciones mayores de 150 mg/l

Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. Se conoce también como el porcentaje de saturación. (waterboards, 2020)

Una alta oxigenación en el sistema acuapónico comprende una buena Salud y crecimiento de los peces y las plantas. El oxígeno es uno de los parámetros químicos que incide en la calidad del agua; en bajas concentraciones, puede disminuir considerablemente el proceso de nitrificación, no llegando a completarse. (PROAIN TECNOLOGÍA AGRÍCOLA, 2020)

El Oxígeno Disuelto puede llegar hasta una concentración no mayor a 5 mg/l (FAO, 2022)

Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH es una medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución. Expresa las concentraciones de iones de hidrogeno, en este caso del agua, y su escala esta entre 0 a 14. (Brown Theodore L. y cols. 2004). En acuaponía los valores de pH deben mantenerse en el margen de 6 a 7. (FAO, 2022)

Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅)

El valor DBO₅ es una medida indirecta de las sumas de todas las sustancias orgánicas biodegradables del agua. El valor DBO₅ indica la cantidad de OD en mg/l que se requiere durante un tiempo determinado para la degradación biológica de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual. (Navarro, 2017)

3.4.4 Parámetros físicos en sistemas acuapónico

Temperatura (T)

La temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas de agua en este caso. Se mide en una escala lineal de grados Centígrados o grados Fahrenheit. (Waterboards, 2020)

La temperatura es uno de los parámetros que se tienen que considerar primordiales en el sistema acuapónico, ya que las temperaturas aceptables están entre los 18°C a 30°C (FAO, 2022). Donde las bacterias se reproducen y realizan su función satisfactoriamente produciendo los precursores nutritivos de las plantas. (Agrotendencia, 2019).

Turbidez (Tur)

Es una medida de la dispersión de la luz por el agua como consecuencia de la presencia de materiales suspendidos coloidales y/o particulados. La presencia de materia suspendida en el agua puede indicar un cambio en su calidad (por ejemplo, contaminación por microorganismos) y/o la presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos en los sistemas acuapónicos.

Un agua turbia no solamente tiene un impacto estético negativo para el consumidor, sino que también es un indicativo de una mayor probabilidad de contaminación microbiológica y compuestos tóxicos (Baños, 2018)

Conductividad eléctrica (C.E.)

Es una medida de la capacidad para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. Como la contribución de cada especie iónica a la conductividad es diferente, su medida da un valor que no está relacionado de manera sencilla con el número total de iones en solución. Depende también de la temperatura. (Boyd, Claude E., 2017)

3.5 Marco regulatorio

Por ausencia de marco regulatorio para Potencial de hidrogeno, Amonio, Nitrato, Nitrito, Temperatura y OD, se valoró la guía técnica titulada: Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas – FAO Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2022; donde se muestra el correcto establecimiento de sistemas acuapónicos, proponiendo rangos de tolerancia para cada organismo en sistemas acuapónicos. (anexo 6 y 7).

Un estudio que nos brinda una guía para el cultivo de plantas en sistemas acuapónicos incluyendo los valores de conductividad eléctrica elaborado por (Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. 2006), incluyendo los valores recomendados para diferentes tipos de cultivos.

Finalmente, la guía técnica de Mejora de la calidad de agua en los estanques (FAO, 2023), nos enseña la importancia de las características físicas del agua y menciona valores óptimos de turbidez.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Descripción general del área de estudio

4.1.1 Ubicación

La presente investigación se realizó en la granja acuícola de la facultad de ciencia animal, seleccionando un área donde se estableció el sistema acuapónico NFT, ubicada en la Universidad Nacional Agraria (UNA) en Managua, Nicaragua, en las coordenadas geográficas siguientes: latitud $12^{\circ} 08' 59''$ Norte, longitud $86^{\circ} 09' 44''$ Este. La elevación es de 56 m.s.n.m.

4.1.2 Condiciones climáticas: Managua tiene un clima tropical de sabana. La temperatura media anual en Managua es 31° y la precipitación media anual es 1190 mm. No llueve durante 144 días por año, la humedad media es del 73% y el Índice UV es 7. (INETER, 2023)



Figura 5: Mapa de ubicación del área de estudio

4.1.3 Infraestructura

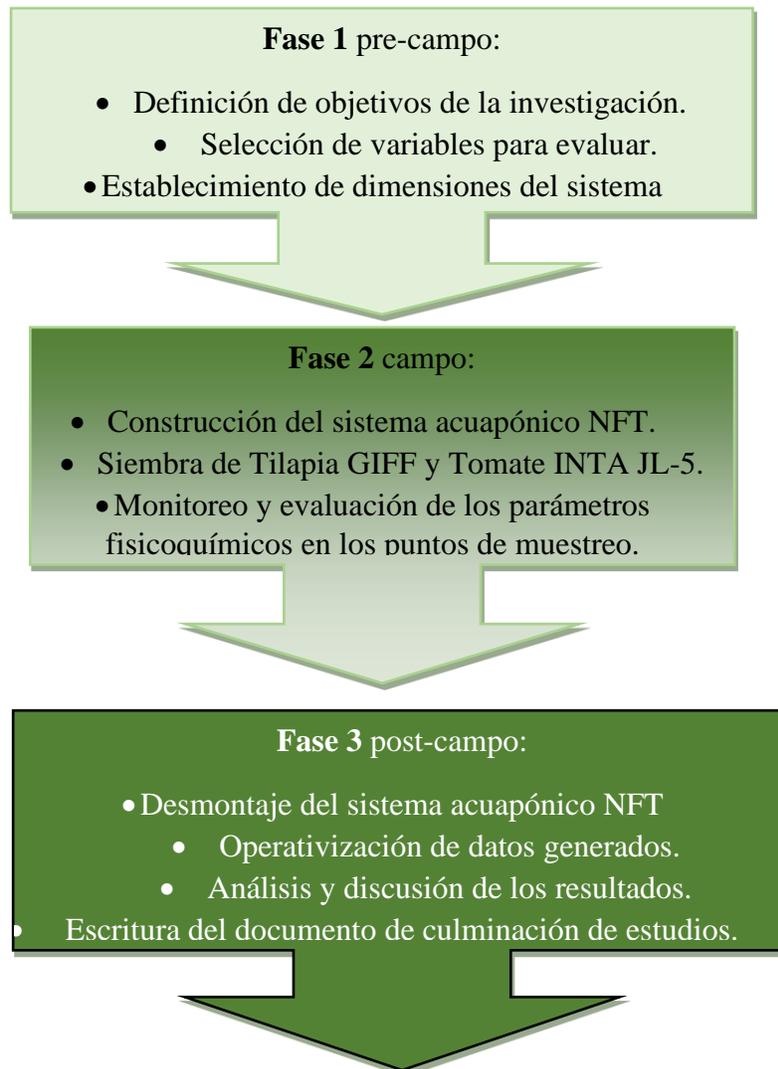
La granja tiene un área de 2.2 ha, en la que se encuentra, un pozo, dos bodegas, un salón de clases, oficinas administrativas, área de los estanques la cual cuenta con 18 estanques de la batería A con 46 m^2 cada uno, 4 estanques de la batería B con área de 96 m^2 , 12 estanques de la batería C con área de 240 m^2 , 12 estanques de la batería D con área s desde 100 hasta

600 m², 2 pilas de 18 m² para un total de espejo de agua de 8000 m². (Castillo Valle, M, C. 2021)

4.2. Diseño metodológico

La investigación es de tipo cuantitativa experimental ya que se examinaron datos de manera científica, precisa y numérica, utilizando herramientas de campo para la toma de parámetros fisicoquímicos y experimental con el fin de comprobar los efectos de una intervención específica, manipulando las condiciones de este.

Este proceso constó de 3 fases de desarrollo, siendo:



4.2.1 Fase de pre-campo

Variables para evaluar la calidad y la reutilización del agua.

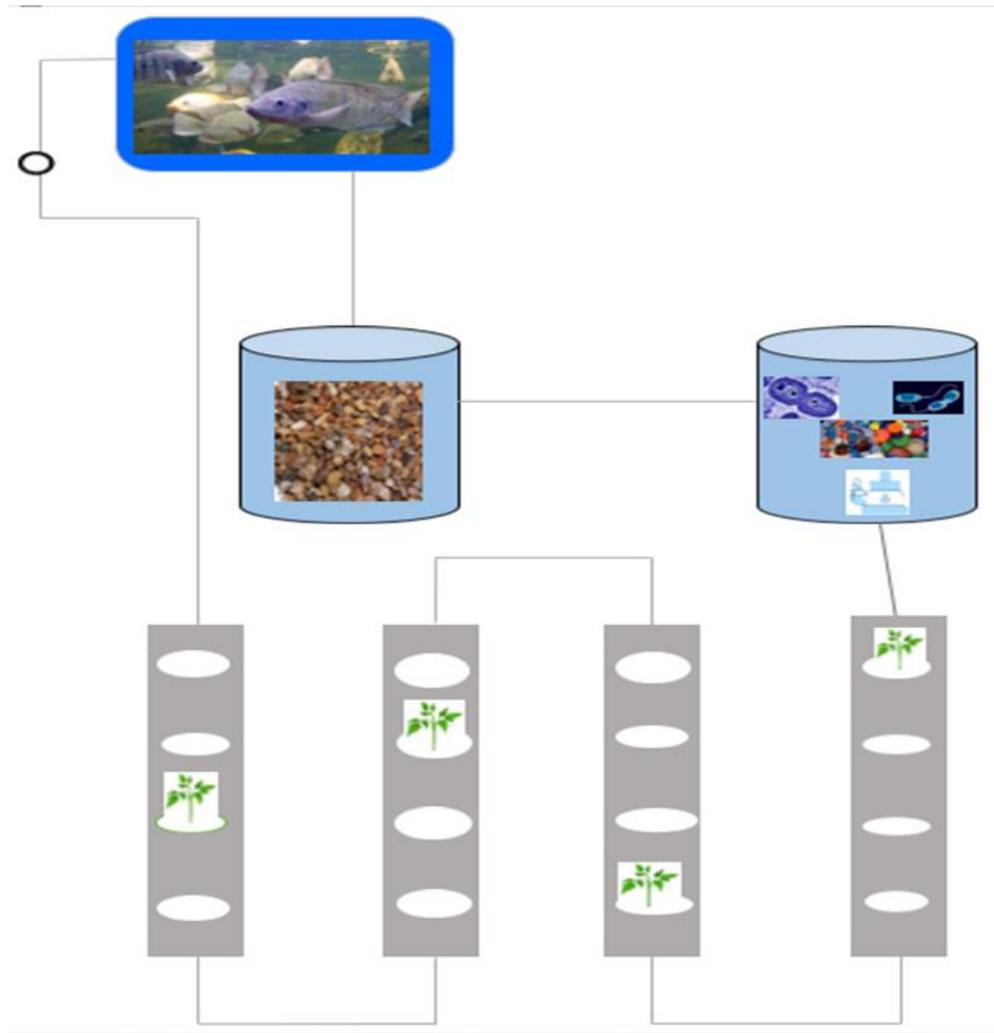
Las variables para evaluar el sistema acuapónico se seleccionaron tomando en cuenta los parámetros que componen la calidad y la reutilización del agua, para lograr buenos resultados y comparar con valores establecidos en leyes internacionales e investigaciones realizadas para acuaponía.

Cuadro 2: Variables para evaluar calidad y reutilización del agua

Variables para evaluar			
Variables	Indicador	Valores esperados y de referencia	Criterios de aceptación
Calidad de agua	1. Parámetros físicos y químicos: Concentraciones de: NO_3^- : ppm NO_2^- : ppm NH_4^+ : ppm DBO: mg/L OD: mg/L CE: $\mu S/cm$ pH: $H +$ T: °C Tur: cm	NO_3^- : 5 – 150 mg/L NO_2^- : <1mg/L NH_4^+ : <3 mg/L OD : >5 mg/L pH : 6-7 T : 18-30 °C (FAO, 2022) Tur : 40-60 cm (FAO, 2023) CE : 800-2000 $\mu S/cm$ (Rakocy, J. E., etc.2006) DBO : --	Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. FAO. (FAO, 2022) Guía técnica de Mejora de la calidad de agua en los estanques (FAO, 2023) Guía para el cultivo de plantas en sistemas acuapónicos, incluyendo los valores de conductividad eléctrica.

<p>Eficiencia del Sistema acuapónico</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parámetros físicos y químicos. 2. Pesaje de peces. 3. Supervivencia de tomate. 	<p>Peso de peces: 270 gramos</p> <p>Desarrollo y producción de tomate</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peces con un peso no menos 270 gramos (peso para consumo) 2. Todas las plantas se desarrollan y producen tomate para consumo.
--	---	---	---

Diseño del sistema acuapónico NFT



Leyenda

					
<p>Tanque de peces</p>	<p>Filtro mecánico con grava</p>	<p>Filtro biológico con tapones plásticos, poroplast y bomba</p>	<p>Cama de siembra NFT</p>	<p>Tubería conductora de agua filtrada por los filtros mecánico y biológico</p>	<p>Tubería conductora de agua filtrada después de haber circulado por la cama de siembra</p>

Figura 6: Diseño del sistema acuapónico NFT

4.2.2 Fase de campo

Puntos de muestreo en el sistema acuapónico:

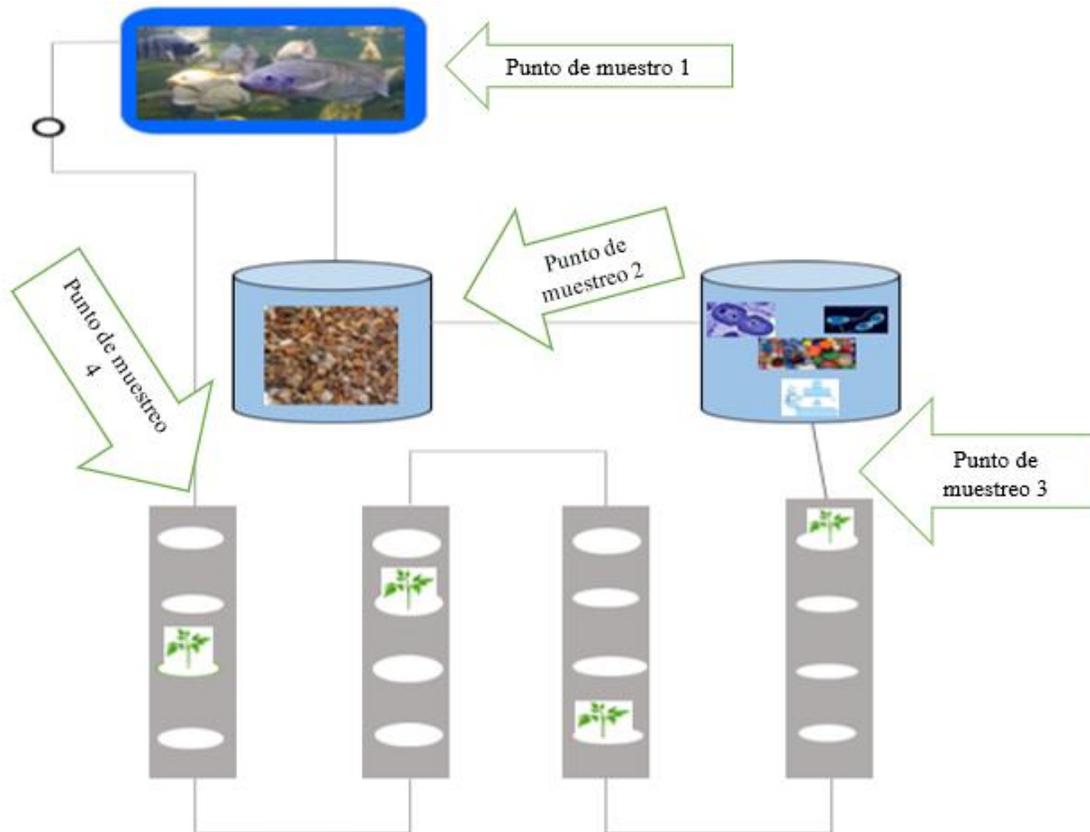


Figura 7: Puntos de muestreo

Leyenda

- Punto de muestro 1: Agua del tanque de peces.
- Punto de muestro 2: Agua filtrada por el filtro mecánico.
- Punto de muestro 3: Agua filtrada por el filtro biológico.
- Punto de muestro 4: Agua filtrada después de circular por la cama de siembra NFT.

La selección de los puntos de muestreo se realizó tomando en cuenta el efecto que posee cada punto en el sistema y que pueda modificar los parámetros evaluados:

- Punto 1: Se tiene en cuenta por la generación de desechos orgánicos derivados por la alimentación de las tilapias del estanque.
- Punto 2: por el proceso de separación y transformación fisicoquímica de la M.O. procedente del estanque de peces.
- Punto 3: por acumulación de material poroplast y tapas plásticas con el objetivo de formar una biopelícula que sirve para degradar y eliminar una gran

parte de la carga contaminante; este también está equipado con un sistema de aireación que favorece la correcta aireación de la biomasa, permitiendo la oxidación de la materia orgánica

- Punto 4: es importante por la capacidad que posee de actuar como filtro natural que se alimentan del agua, este filtro absorbe los nutrientes presentes en el agua, atrapándolos en sus tejidos y utilizándolos para su crecimiento, el agua con menos concentración de nutrientes retorna al estanque con tilapias.

Procedimiento de muestreo

Se planifico un muestreo con las variables de calidad y reutilización del agua. Las mediciones se llevaron a cabo cada cuatro días. A continuación, se describe el proceso realizado:

Parámetros físicos.

- Temperatura.

Se realizo la medición de la temperatura del agua en todos los putos de muestreo utilizando un medidor multiparamétrico de bolsillo (Anexo 3), el cual se encendió y calibró previamente con agua destilada, para ello se sumergió el sensor del medidor a una profundidad de 5 cm e el beaker que contenía la muestra de agua durante 30 segundos: Luego de que el medidor generara automáticamente la lectura de la temperatura, se registró la matriz de muestreo (Anexo 1).

- Turbidez.

Se llevó a cabo el muestreo de turbidez sumergiendo el disco Secchi únicamente en el punto 1 del estanque de peces. Para realizar la medición, se sumergió el disco en el agua y se miró directamente hacia abajo hasta que el disco no fue visible durante 30 segundos. Luego, se jaloneó lentamente el cordón hasta que el disco volvió a ser visible. Se midió la distancia entre la marca de agua y el punto en el que el cordón entró en el agua y se registró el valor en la matriz de muestreo (Anexo 1).

- Conductividad eléctrica.

Se encendió y calibró el conductímetro (Anexo 3) utilizando una solución de referencia, para luego llevar a cabo el muestreo de conductividad eléctrica. Para realizar las mediciones, se sumergió el sensor del conductímetro a una profundidad de 5 cm en el beaker que contenía la muestra de agua, y se mantuvo allí hasta que el medidor generó automáticamente la lectura. Este parámetro se midió únicamente en los puntos 1 y 4. Finalmente, se registraron los valores obtenidos en la matriz de muestreo (Anexo 1)

Parámetros químicos

- ✚ Amonio, nitritos y nitratos.

Se utilizó un kit de prueba (anexo 6) para medir las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos en cada uno de los puntos de muestreo. Cada prueba se llevó a cabo utilizando 5 ml de muestra de agua de cada punto.

Para la medición de amonio, se agregaron 8 gotas de la solución 1 y 8 de la solución 2.



Figura 8: Solución de prueba de amoniaco

Para la medición de nitritos, se utilizó 5 gotas de la solución única.



Figura 9: Solución de prueba nitrito

Y para la medición de nitratos, se agregaron 10 gotas de la solución 1 y 10 de la solución 2.



Figura 10: Solución de prueba de nitrato

Luego, se taparon los tubos de ensayo y se agitaron vigorosamente durante 5 segundos. Se esperó un tiempo de 5 minutos para que el color se desarrolle y finalmente se observó el resultado del análisis comparando el color de la solución con la carta del kit de prueba maestro de agua dulce (Anexo 5). Los resultados se registraron en la matriz de muestreo (Anexo 1).

- pH.

Se encendió y calibró el medidor multiparamétrico de bolsillo (Anexo 3) utilizando las soluciones Buffers para pH. Luego, se introdujo el sensor en cada uno de los beaker que contenía la muestra de agua de los 4 puntos de muestreo a una profundidad de 5 cm, y se esperó hasta que la lectura del equipo se estabilizara. Una vez que la lectura fue estable, se registró el dato correspondiente en la matriz de muestreo (Anexo 1).

- Oxígeno disuelto.

Verificamos que el bolígrafo medidor de oxígeno disuelto (Anexo 3) haya sido previamente calibrado. Luego, para tomar las lecturas de oxígeno disuelto (OD), sumergimos el sensor del bolígrafo en los beaker que contenían la muestra de agua de los puntos 1 y 4, a una profundidad de 5 cm. Mantuvimos el sensor en la muestra hasta que el bolígrafo generara automáticamente la lectura correspondiente, y luego registramos el valor obtenido en la matriz de muestreo (Anexo 1).

- Demanda biológica de oxígeno.

La muestra se preparó para ser analizada en el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA-UNAN), por el método de Electrometría de Standard methods for the examination of water and wastewater.

Muestreo y conservación de las muestras:

1. Se utilizaron recipientes limpios para las muestras, los cuales fueron limpiados con mezcla crómica o detergente y enjuagados cuidadosamente.
2. Se recolectó la muestra de agua de los puntos 1 y 4 con precaución, evitando agitar o burbujear el agua, y se colocó en los recipientes para su preservación y posterior análisis.
3. Las muestras fueron conservadas en la nevera con hielo para mantener una temperatura adecuada hasta el momento del análisis de DBO5.

4.2.3 Fase post campo

Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado se inició con la operativización de datos en el programa Excel, este proceso nos permitió ordenar los datos numéricos y se utilizaron funciones estadísticas que facilitaron la gestión numérica y generación gráficas.

Se utilizó el programa R estudio para el cálculo de variabilidad significativa entre puntos de muestreo, con el fin de generar gráficas que permitan analizar el comportamiento de los parámetros en cada punto.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Amonio (NH_4^+)

Fundamentalmente en los sistemas acuapónicos es permitido la acumulación de NH_4^+ , el cual puede ser toxico para la vida de los peces e influye en su crecimiento. (Lyndsey McDermant).

La producción de NH_4^+ se realiza por medio de las excretas de los peces, por ende, en el estanque la concentración esperada es mayor que en los otros puntos de muestreo. En el punto 2 y 3 se espera la transformación del NH_4^+ en NO_2^- y NO_3^- debido a la intervención de bacterias nitrificantes. Esto debe comprobar que el ciclo del nitrógeno en el sistema se cumple. En la figura 2 se muestra el comportamiento del sistema durante 28 días.

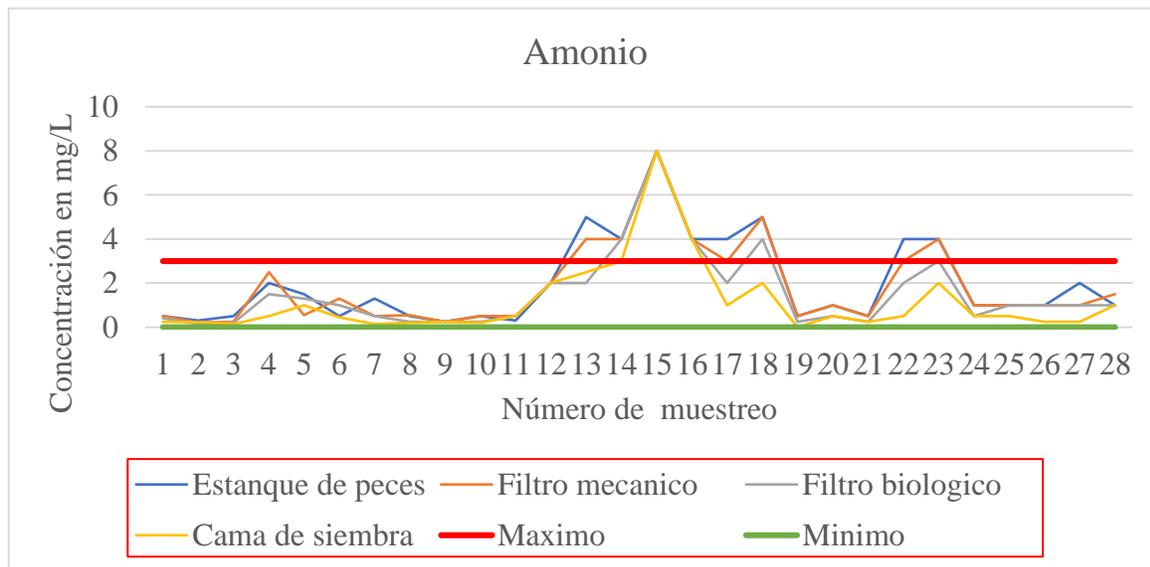


Figura 11: Comportamiento del NH_4^+ en el sistema NFT.

La gráfica expresa un ascenso de las concentraciones en el día 13, 14, 15, 18 de muestreo, sobrepasando los rangos permisibles según las referencias tomadas el Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. FAO. (Ver anexo 4). En estos días se realizó un cambio de alimentación a los peces y por ende mayor producción de M.O, Aunque en los días 22 y 23 muestreado sobre pasan los rangos por exceso de M.O, dentro del estanque y mayor abundancia de sólidos suspendidos en el filtro mecánico y un recambio de agua. Los filtros por su parte no cubrían la capacidad para realizar la oxidación del NH_4^+ poniendo en riesgo la vida de los peces y de las plantas.

El resto de los días siempre estuvieron dentro de lo esperado. En este sentido, se expresa la reutilización en base a los resultados químicos.

5.2 Nitritos (NO_2^-)

Especialmente en los sistemas acuapónicos es permitido la acumulación de NO_2^- , lo cual en altas concentraciones es muy toxico para la vida de los peces e interrumpe su crecimiento. (Backyard Aquaponics, 2011).

Los desechos orgánicos producidos por peces producen NO_2^- . En el Sistema acuapónico NFT intervienen dos bacterias pertenecientes al género Nitrosoma y Nitrobacter. Gracias a la bacteria Nitrosoma, el NH_4^+ proveniente de todos los desechos orgánicos de los peces es convertido a NO_2^- para transformarse a NO_3^- . En los puntos 3 y 4 se espera la transformación del NO_2^- en NO_3^- debido a la intervención de bacterias nitrificantes y se debe de comprobar el ciclo del nitrógeno en el sistema acuapónico.

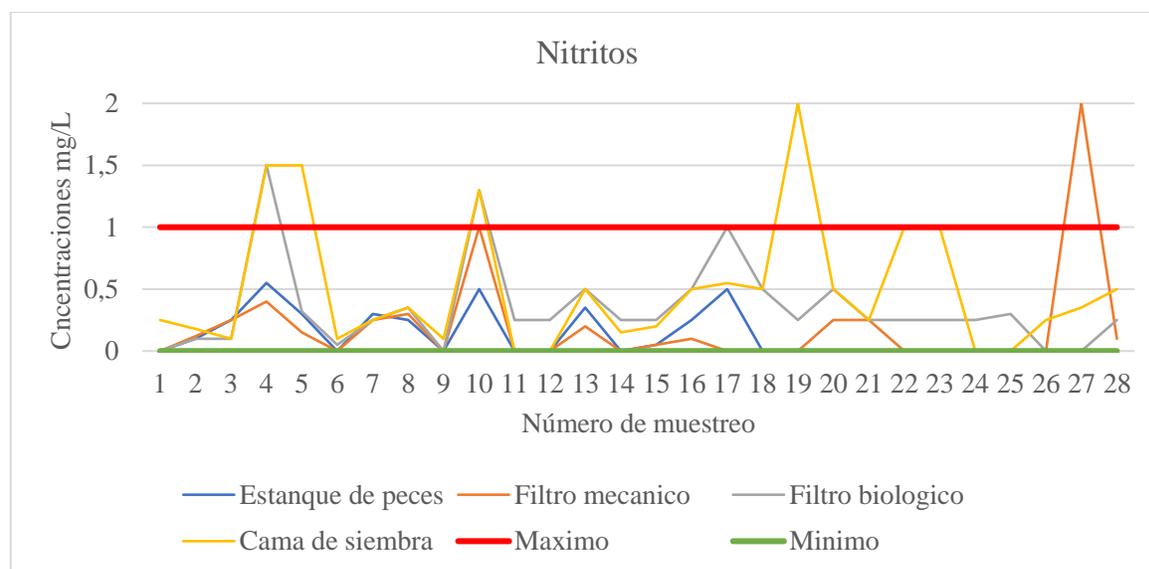


Figura 12: Comportamiento del NO_2^- en el sistema NFT.

La gráfica refleja un asenso NO_2^- en los días 4, 5, 10, 19 y 17, sobrepasando los rangos permisibles según las referencias tomadas para este estudio (Ver cuadro 2) En los días 4, 5, 10 se realizó un cambio de alimentación de los peces, lo cual el nuevo alimento hacia desprender una mayor concentración de M.O. Los días 19 y 27 tienen el mismo comportamiento debido a la saturación de sólidos suspendidos en el filtro mecánico. El resto

de los días las concentraciones fueron estables e indican oxidación total a NO_3^- , oxigenación del sistema y sin toxicidad para los peces.

5.3 Nitratos (NO_3^-)

Especialmente en los sistemas acuapónicos es permitido la acumulación de NO_3^- , lo cual en altas concentraciones es muy toxico para la vida de los peces e interrumpe su crecimiento.

Los NO_3^- en el sistema son generados a partir de la descomposición de la M.O. Inicialmente se genera NO_3^- en el filtro mecánico en distintas cantidades, recorriendo por el filtro biológico para que sus concentraciones sean menores. (Maldonado A., 2018).

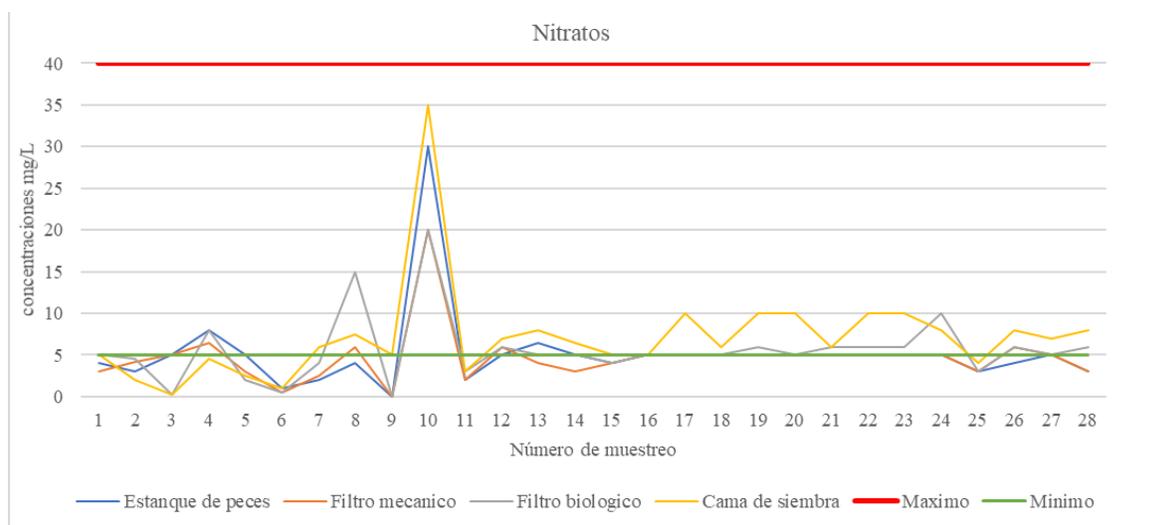


Figura 13: Comportamiento del NO_3^- en el sistema NFT.

La grafica de NO_3^- no refleja aumentos ni disminuciones de NO_3^- en base de la referencia tomada. (Ver cuadro 2). En los días de muestreo se logró a observar producción de NO_3^- en el filtro biológico y la cama de siembra, para corroborar la reutilización y calidad del agua dentro del sistema acuapónico. Se realizó lavado específicamente en los filtro mecánico y biológico para normalizar el proceso.

5.4 Oxígeno Disuelto

En Acuaponía es importante el Oxígeno Disuelto (OD), a baja concentraciones limita la vida acuática.

El OD permitirá evaluar la eficiencia del sistema en base al grado de oxigenación. El OD en este estudio se vincula con la DBO_5 . Ambos son inversamente proporcionales.

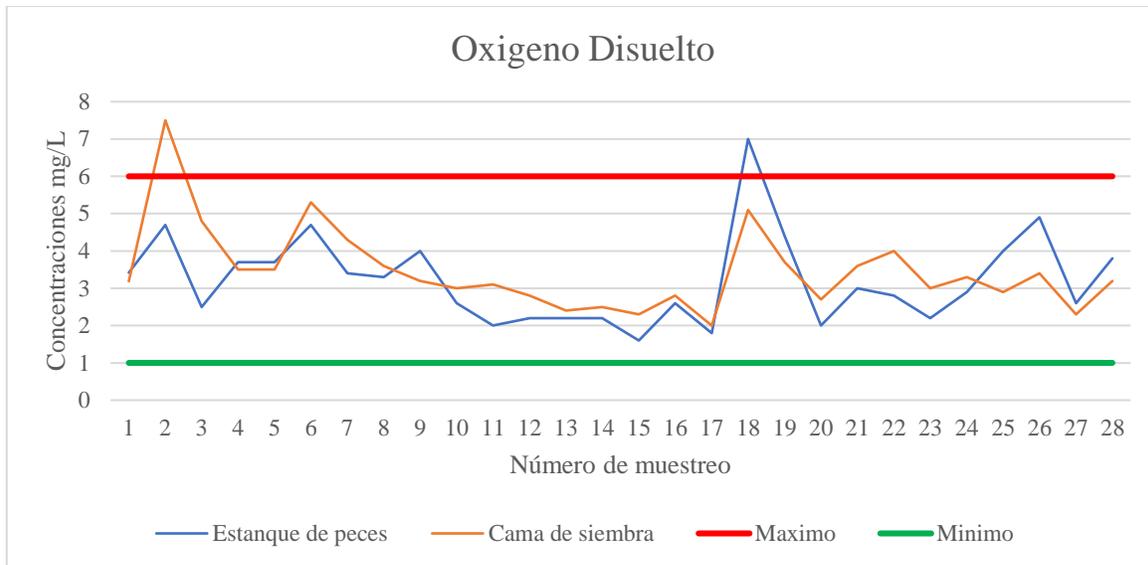


Figura 14: Comportamiento del OD en el sistema NFT.

En este caso el OD se midió entre el punto 1 y punto 4. La grafica demuestra que en la mayoría de los días el oxígeno se mantiene entre 3 y 4.5 e indica oxigenación por parte de las plantas en el intercambio oxígeno - nutriente, aireación natural y mecánica (flujo del agua y vientos). Tomando en cuenta los parámetros de tolerancia general de calidad de agua para los tres organismos se identificó que la cantidad de OD es bajo, pero no afecta el desarrollo de los tres organismos. Estos datos se corroboran con el descenso de la DBO₅ (Ver figura 15)

5.5 Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros que se debe medir constantemente porque regula la descomposición de M.O. y baja la producción de bacterias nitrificantes que la oxidan. (Agropedia, E. 2020)

La temperatura afecta directamente las interacciones que desarrolla el sistema; modifica la disponibilidad de OD y la ionización del amonio.

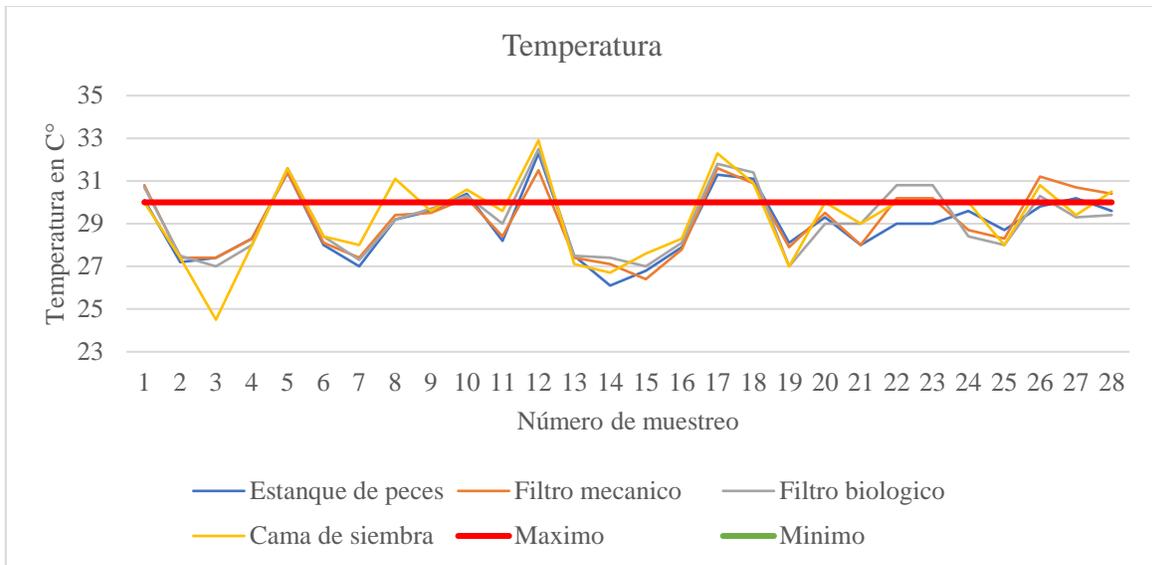


Figura 15: Comportamiento de T en el sistema NFT.

Las altas temperaturas disminuyen el OD y las concentraciones de amonio aumentan según la gráfica, pero no sobrepasan los umbrales. Se debe considerar la variabilidad climática en el desarrollo del estudio, ya que se presentaron eventos ciclónicos que afectaron la temperatura del agua.

5.6 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

La siguiente grafica muestra la variación del punto 1 al punto 4. Se muestreo únicamente el día 1 y el día 28.

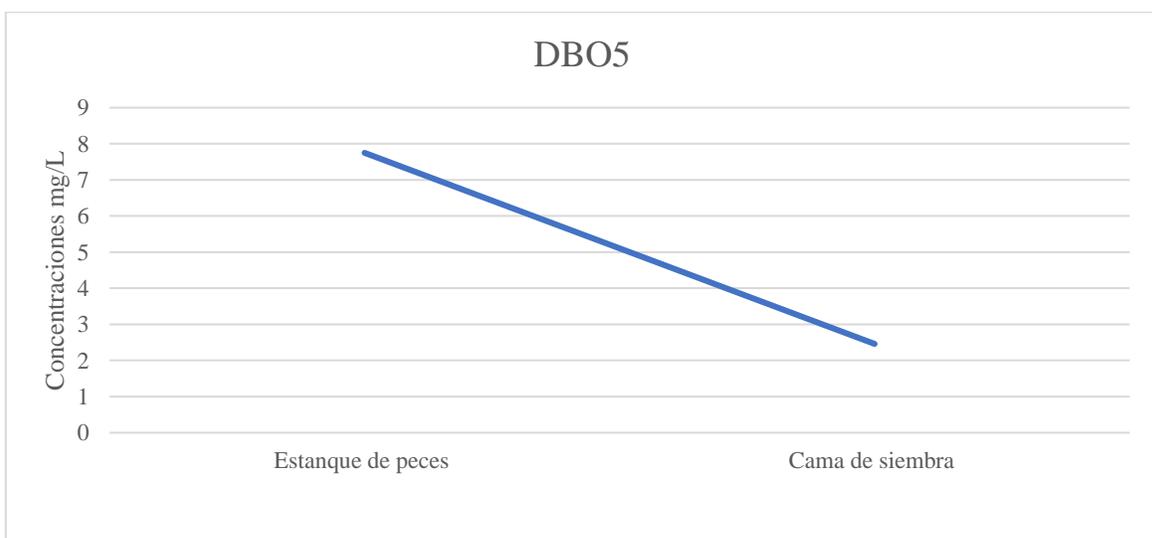


Figura 16: Comportamiento de DBO₅ en el sistema NFT.

La grafica indica descenso de la carga orgánica en todo el proceso de campo. Esto está relacionado al funcionamiento del filtro mecánico en la retención de solidos suspendidos, la cama de siembra (plantas) que también realizo la adsorción de carga orgánica que promueve el crecimiento fisiológico de las plantas y a su vez la depuración del agua. Otra evidencia es que el O.D. Es estable en todos los días.

Cabe mencionar que el consumo de Oxigeno es menor en el estanque debido al tamaño de los peces y la excreta es alta. También la cantidad de alimento es alta.

5.7 Potencial de hidrógeno

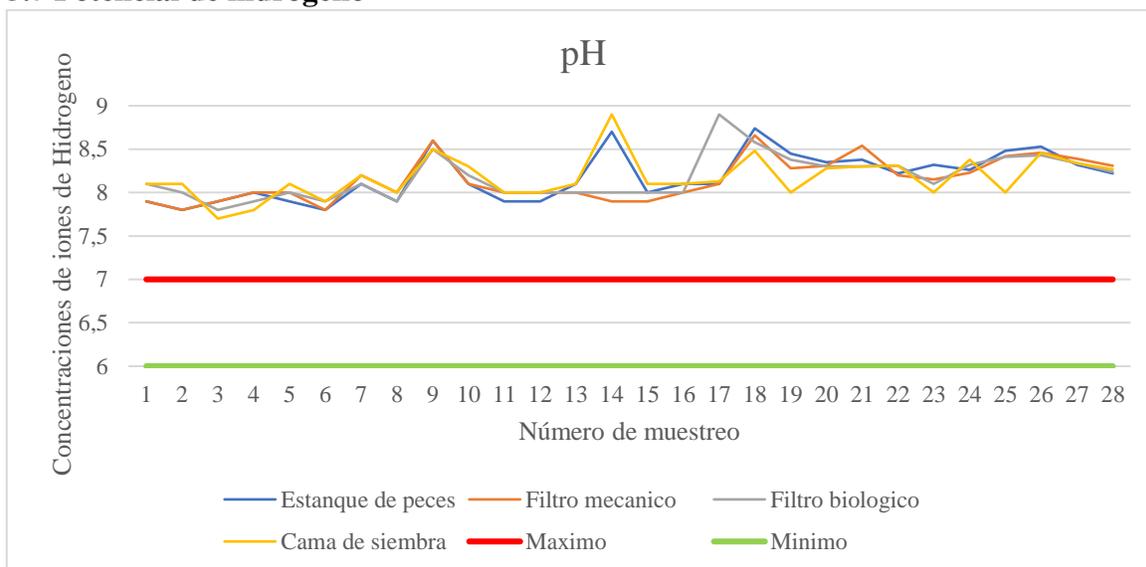


Figura 17: Comportamiento de pH en el sistema NFT.

El documento Técnico de Pesca y Acuicultura (Ver anexo 6), establece un rango de 6 a 7. En este estudio los rangos son estables, aunque no en este rango. El sistema es alcalino desde su instalación y pasa de 7.7 hasta 8.7 como valor máximo indicando alcalinización. Esta tendencia es influenciada por la concentración de las formas químicas del Nitrógeno. El NH_4^+ es una forma reducida del Nitrógeno con aportes de iones hidrógenos, mientras más se oxide el NH_4^+ a NO_3^- el pH aumentara, alcalinizando más el medio, debido a la disminución de iones de hidrogeno.

5.8 Turbidez

No existen valores de turbidez para sistemas acuapónicos NFT en la legislación nacional. Sin embargo, este es un parámetro físico que permite estimar cualitativamente la suspensión de sólidos en el agua atreves de su transparencia. La FAO presenta rangos entre de 40 a 60 cm,

donde la producción de peces es óptima y el sistema es eficiente. Los días que presentan elevaciones de hasta 90 cm indican momentos de recambio de agua y precipitaciones no controlables. Los valores por debajo de 55 cm indican saturación del filtro mecánico y exceso de alimentación.

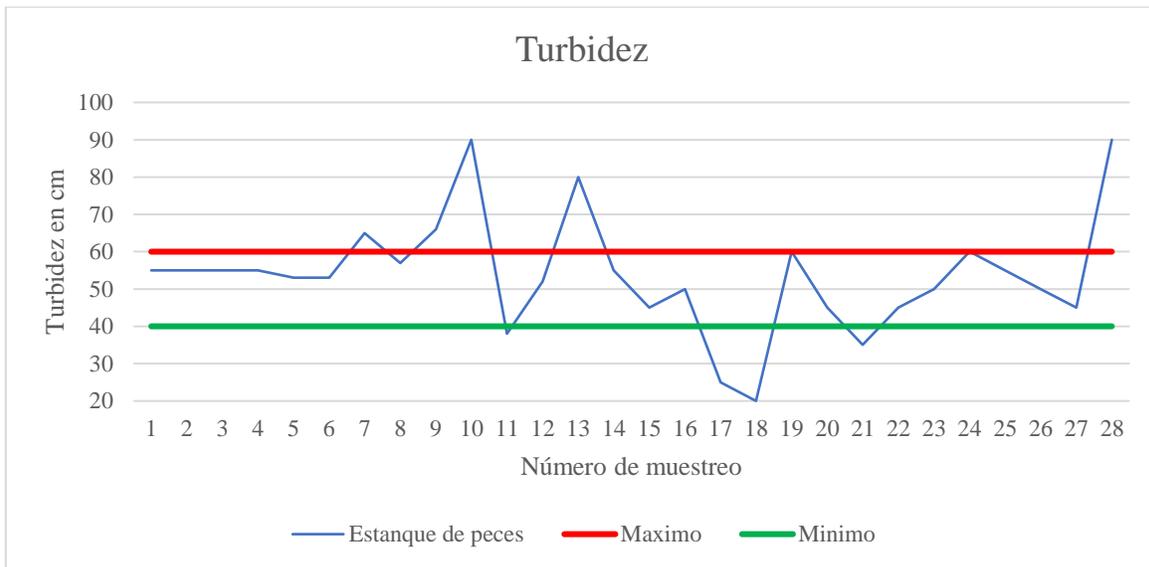


Figura 18: Comportamiento de turbidez en el sistema NFT.

5.9 Conductividad Eléctrica

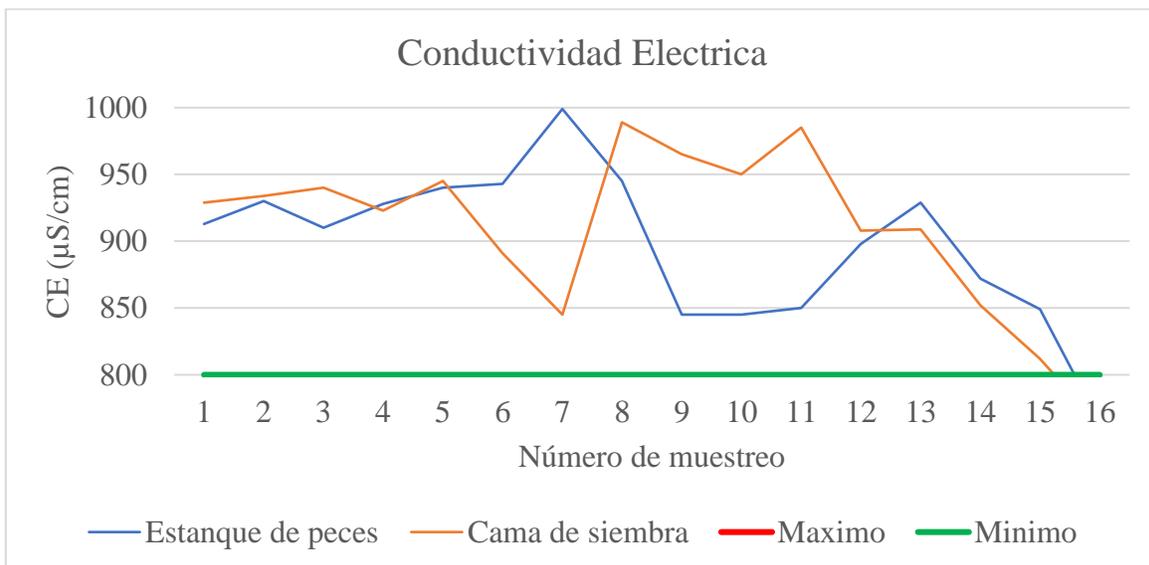


Figura 19: Comportamiento de CE en el sistema NFT.

No existen valores de C.E, para sistemas acuapónicos (NFT) en la legislación nacional. Sin embargo, este es un parámetro físico que permite estimar la carga iónica en el agua

cuantitativamente. Según el documento técnico de Rakocy, J. etc, para algunos cultivos más sensibles, como los tomates, el rango recomendado es de 800 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores no alteran la disponibilidad de nutrientes absorbibles por las plantas ni la interacción de la M.O. con cationes disueltos. Alta concentraciones de M.O pueden fijar cationes diluidos en el sustrato. Esto no sucede en este caso ya que los datos mantienen su comportamiento.

Cuadro 3: Cuadro comparativo de resultados obtenidos y valores de referencia

Parámetros	Resultado Obtenido	Valores de Referencia
NH_4^+	1.7901087 mg/L	<3 mg/L
NO_2^-	0.38554348 mg/L	<1mg/L
NO_3^-	5.33043478 mg/L	5 – 150 mg/L
DBO	5.10 mg/L	-- mg/L
OD	3.34303575 mg/L	>5 mg/L
CE	902.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$	800-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
T	28.64 °C	18-30 °C
pH	8.10434783	6-7
Tur	54 cm	40-60 cm

5.11 Análisis estadístico

Variabilidad entren puntos de muestreo

El siguiente cuadro presenta los promedios de las concentraciones de los parámetros químicos de los 4 puntos de muestreo para estimar la variabilidad significativa entre puntos.

Cuadro 4: Promedios de los parámetros químicos

Punto	T	Amonio	Nitritos	Nitratos	pH
1	28.8130435	2.24565217	0.35217391	4.95652174	8.11043478
2	28.0886957	2.00478261	0.34434783	4.3673913	8.10086957
3	29.3782609	1.62173913	0.30304348	5.06521739	8.09826087
4	28.3130435	1.28826087	0.5426087	6.9326087	8.10782609

El cuadro 5 presenta la desviación estándar de cada uno de los puntos de muestreo del sistema acuapónico.

Cuadro 5: Desviación estándar

Punto	DE_T	DE_Amonio	DE_Nitritos	DE_Nitratos	DE_pH
1	1.73684781	2.18147745	1.02718484	5.80930493	0.25710766
2	4.62367751	2.03964763	1.03796491	3.95714569	0.23204453
3	2.5375286	1.87972593	0.26437636	4.47989029	0.20812261

4 5.91971316 1.80462449 0.60097056 6.97788078 0.1995895

El cuadro 6 muestra el error estándar de cada uno de los puntos muestreado en el sistema acuapónico que se usaran para generar gráficos de variabilidad entre puntos.

Cuadro 6: Error estándar

Punto	EE_T	EE_Amonio	EE_Nitritos	EE_Nitratos	EE_pH
1	0.3621578	0.45486949	0.21418285	1.21132381	0.05361065
2	0.96410341	0.42529593	0.21643064	0.82512191	0.04838463
3	0.52911129	0.39194995	0.05512628	0.9341217	0.04339656
4	1.23434552	0.37629022	0.12531102	1.45498872	0.04161729

El cuadro 7 muestra la media y el error estándar de Oxígeno Disuelto dentro del sistema. Es importante mencionar que para el OD solo se calcularon datos del punto 1 y 4.

Cuadro 7: Media y error estándar de OD

Punto	OD	DE_OD	EE_OD
1	3.50956522	1.75154861	0.37
4	3.67347826	1.1815614	0.25

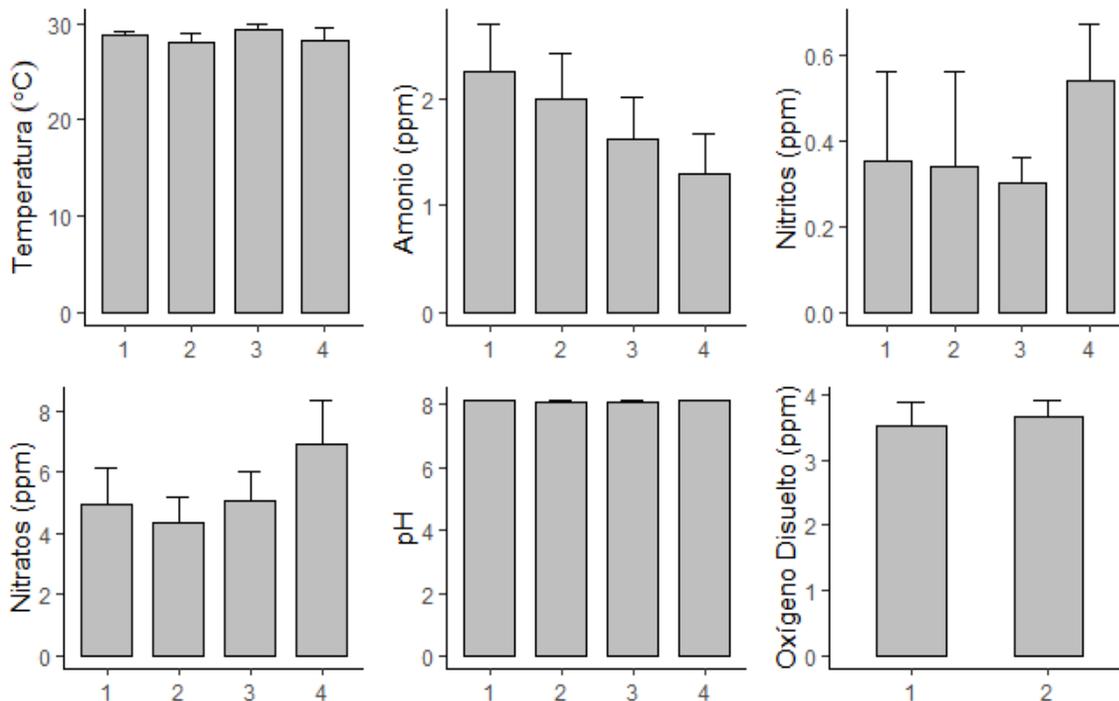


Figura 20: Variabilidad entre puntos de muestreo

Las gráficas muestran la probable variabilidad de los parámetros químicos en los 4 puntos de muestreo. La información del error calculado será más preciso y encontrara diferencias más evidentes entre los puntos, porque los intervalos marcados por las barras de error son menores.

Para el caso de la temperatura, la simetría de las barras y el bajo error indican baja variabilidad entre puntos, en otras palabras, la temperatura no cambia significativamente en los puntos muestreos. De igual forma el pH muestra error casi nulo.

En el caso del OD, las barras también indican poca variabilidad entre puntos, pero no quiere decir que no haya habido oxigenación del sistema. Los datos reflejan concentraciones muy bajas y la escala de cambio se aprecia mejor en la figura 14 que presenta el comportamiento por día.

En la gráfica de barra para el NH_4^+ , se observa variabilidad entre puntos con un error muy marcado para cada uno, esto quiere decir que las concentraciones de NH_4^+ son probablemente cambiantes debido a los procesos que involucra al ciclo del Nitrógeno. Se ratifica el ciclo con el descenso en el punto 4 que implica el efecto de los agentes nitrificante.

En la gráfica de barra para NO_3^- , se aprecia variabilidad entre los puntos 2 y 4 con un error aparentemente mayor en el punto 4, por lo antes mencionado las concentraciones de NO_3^- son cambiantes debido a los procesos involucrados directamente el ciclo del Nitrógeno. En los puntos 1 y 3 las barras se asemejan al igual que el error.

La grafica de barra del NO_2^- se observa un comportamiento casi similar al de NO_3^- Pero con error mayor. Esto puede indicar picos de concentración altos que aumentan el error. Las concentraciones entre los puntos 1 y 2 se aproximan, puesto que en el punto 2 se inicia la nitrificación.

Prueba de correlación

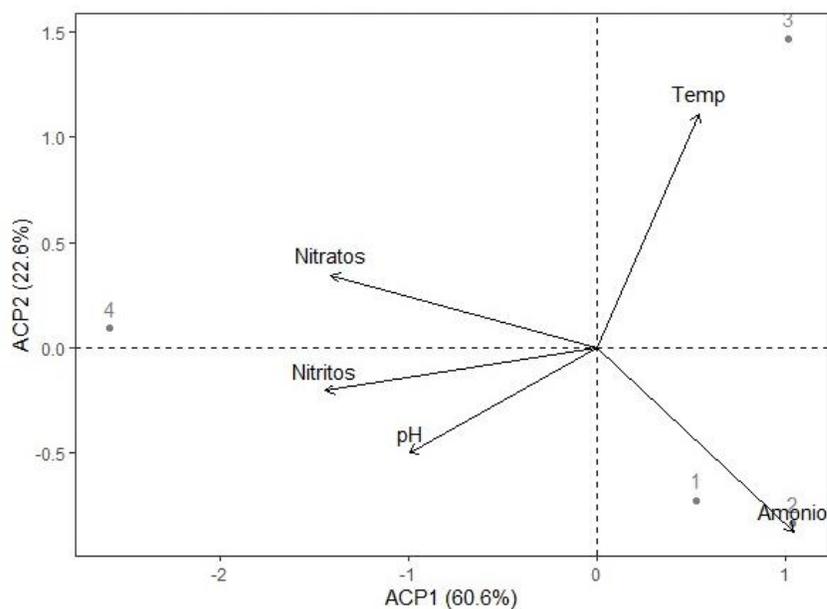


Figura 21: Correlación por punto de muestreo – Análisis de componentes principales (ACP)

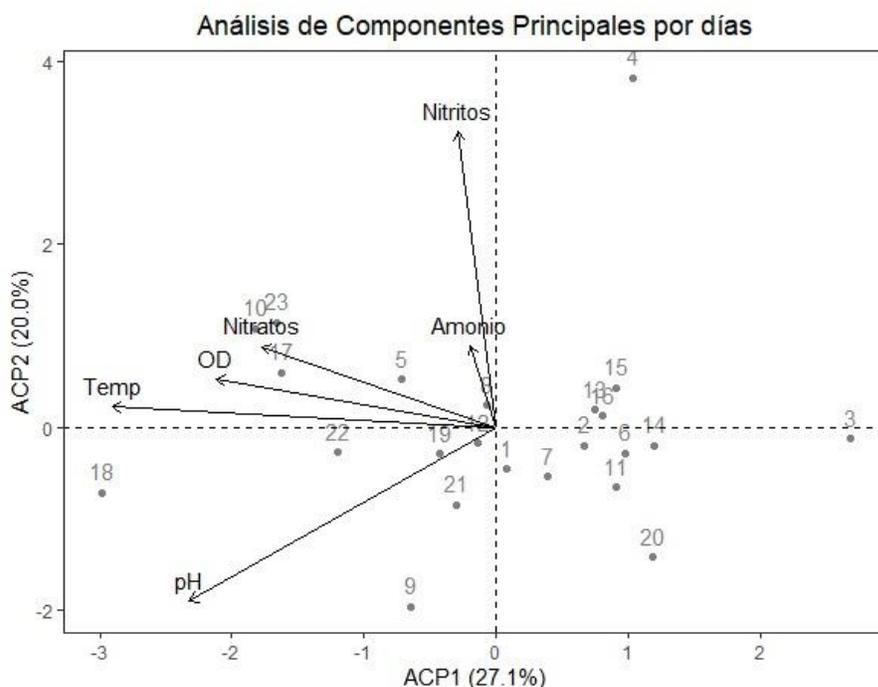


Figura 22: Correlación por día de muestreo – Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componente principales (ACP) permitió correlacionar los parámetros químicos entre los puntos de muestreo, con una expresión del 80% de las observaciones, obteniendo los siguientes resultados:

- NO_3^- y NO_2^- muestran una correlación fuerte y positiva.
- pH y NO_2^- muestran una correlación fuerte y positiva.
- NO_3^- y NH_4^+ muestran una correlación fuerte y negativa relegada con vectores opuesto, asociando en NH_4^+ al punto 1 y 2 y NO_3^- asociados el punto 4.
- Temperatura no muestra correlación en la gráfica (ACP) por punto de muestreo y muestra asociación al punto 3.
- La correlación entre NO_3^- y NH_4^+ evidencian la eficiencia del sistema y cumplimiento del ciclo del Nitrógeno en el agua, debido que según la gráfica (ACP) son inversamente proporcionales, en otras palabras, las concentraciones de NH_4^+ son altas en el estanque y baja en la cama de siembra, mientras que las concentraciones de NO_3^- son altas en el punto 4 y bajas en el punto 1 y 2.

En la gráfica ACP por punto de muestreo, no se observa OD debido a que solamente se midió OD en los puntos 1 y 4, estos al ser ingresados al programa, generan error por falta

de datos en los puntos 2 y 3. Por tanto se generó una gráfica ACP por días de muestreo para visualizar la posible relación del OD con los otros parámetros obteniendo el siguiente resultado: OD tiene posible correlación con temperaturas y NO_3^- la correlación es positiva. Posiblemente mientras más se nitrifique el medio más absorción de Nitrógeno habrá por medio de las raíces de las plantas y por ende más intercambio de OD.

VI. CONCLUSIONES

Los datos fisicoquímicos cuantificados y operativizados (pH, NO_3^- , NH_4^+ , OD, NO_2^- , Temperatura). Demuestran que los valores medidos para estos parámetros se encuentran dentro de los rangos recomendados en la guía técnica de la FAO, lo cual indica que el sistema acuapónico ha logrado mantener una calidad de agua adecuada.

La reutilización del agua es eficiente debido a que existe oxigenación y por ende disminución de la DBO_5 y oxidación de NH_4^+ a nitrato, y no hay acidificación ni alcalinización extrema en el medio. Se evidencia la dinámica del ciclo del nitrógeno en la remoción de compuestos nitrogenados: NO_3^- , NO_2^- , y NH_4^+ .

En el caso del OD; aunque en la mayoría de los días analizados no superan los 5 ppm, se mantiene la producción de oxígeno y el intercambio para la supervivencia de peces y plantas, y se demuestra la eficiencia del sistema puesto que la producción es favorable en las condiciones operadas.

Se obtuvieron plantas de tomate de 20 cm hasta aproximadamente 1 metro del alto y peces de 50 g hasta 240 g, cumpliendo con el criterio de aceptación propuesto en la tabla de variables para demostrar el reciclaje de agua y eficiencia del sistema.

El análisis estadístico comprueba el reciclaje del agua y la eficiencia del sistema, relacionando las variables NH_4^+ y NO_3^- con una correlación negativa y fuerte. Se concluye que el valor generado de DBO entre 7.75 mg/L y 2.46 mg/L para este estudio cumple con la reutilización del agua en el sistema acuapónico NFT. Es el primer aporte medido para sistema acuapónicos NFT en climas tropicales del pacifico nicaragüense.

En conclusión, el monitoreo y control de los parámetros fisicoquímicos en el sistema acuapónico demuestran la capacidad de mantener una calidad de agua óptima para el desarrollo saludable de los organismos acuáticos y el cultivo de plantas. Estos hallazgos respaldan la importancia de la acuaponía como una alternativa viable en la producción sostenible de alimentos, permitiendo la reutilización y reciclaje del agua de origen acuícola de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar cambio de agua y lavado del filtro mecánico si los sólidos totales son extremadamente abundantes por diversos factores como: polvo, exceso de alimentación a los peces o daño de la bomba eléctrica en filtro biológico.

Realizar estudio en sistema acuapónicos con plantas de ciclos reproductivos que puedan facilitar la remoción de compuestos nitrogenados.

VIII. LITERATURA CITADA

- AGRO PRODUCTIVIDAD. (2015). Empoderamiento de las organizaciones sociales en el cultivo de pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) en el sureste de México, p. 18.
- Agropedia, E. (2020, abril 25). Acuaponía: Conoce qué es, para qué sirve y sus ventajas. Agrotendencia.tv. <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/la-acuaponia/>
- Agrotendencia. (2019). Acuaponía: qué es, para qué sirve, ventajas y desventajas. Recuperado de: Acuaponía: conoce qué es, para qué sirve y sus ventajas (agrotendencia.tv)
- Alves, B./O./O.-M. (s. f.). Dics. Recuperado 24 de mayo de 2023, de <https://decs.bvsalud.org/es/ths/resource/?id=54400>
- Amor, Á. C. (Septiembre 2014). Estudio de viabilidad de un. españa : Máster Universitario en Gestión Sostenible y tecnologías de agua .
- Ángel,Cid. (2014). Estudio de viabilidad de un. En C. Ángel, Estudio de viabilidad de un proceso de eliminación de amonio mediante electrooxidación en la EDAR Valle del Vinalopó (Elda) (pág. 11). españa: Máster Universitario en Gestión Sostenible y tecnologías de agua.
- Backyard Aquaponics. (2011). The IBC of aquaponics. Edition 1.0. Backyard Aquaponics, Success Western, Australia. Available at: www.backyardaquaponics.com/Travis/IBCOfAquaponics1.pdf
- Baños, A. (24 de diciembre de 2018). la importancia de la turbidez en la tecnica instumentral . Obtenido de ¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>
- Conductividad eléctrica del agua, parte 1—Responsible Seafood Advocate. (2017, octubre 16). Global Seafood Alliance. <https://www.globalseafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/>
- Bridgewater, L., Asociación, A. P. H., Asociación, A. W. W., & Federación, W. E. (2012). Métodos normalizados para el examen del agua y las aguas residuales. Asociación Americana de Salud Pública.
- Castillo Valle, María Carolina (2021) Manejo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la granja demostrativa de cultivo de peces de la Universidad Nacional Agraria Septiembre, marzo 2019-2020. Universidad Nacional Agraria.
- CENTRO DE APRENDIZAJE E INTERCAMBIO DEL SABER EN SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL DEL INCAP (CASI/INCAP).2006. Recuperado el 9 de marzo de 2023 en:

https://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=medu_94764_2_02062015.pdf

Ecoembes. (s. f.). Reciclar el agua en casa: 9 consejos básicos. Ecoembes. Ecoembes dudas del reciclaje. Recuperado 17 de mayo de 2023, de <https://ecoembesdudasreciclaje.es/como-ahorrar-agua/>

EspeciesPro. (s.f.). Las bacterias en el acuario I: Nitrificantes y desnitrificantes. Acuariofilia - EspeciesPro. Recuperado de <https://especiespro.es/acuariofilia/las-bacterias-en-el-acuario-i-nitrificantes-y-desnitrificantes/>

FAO. (2011). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, y Mundi-Prensa, Madrid.

FAO-Oreochromis niloticus. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2023, de https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletilapia.htm

Foletto informativo 3. 1. Folleto informativo temperatura ¿qué es la temperatura—Studocu. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2023, de <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-politecnica-territorial-del-zulia/matematica/3120sp-apuntes/54573165>

Folleto del agua—Trabajo de investigación—Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (Od) ¿Qué es el—Studocu. (2020.). Recuperado 24 de mayo de 2023, de <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-indigena-boliviana-aymara-tupak-katari/arte-cultura/folleto-del-agua-trabajo-de-investigacion/40139101>

Garcia, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/6E4999FFE5F6B8F005257A920059B3B6/\\$FILE/Art%205.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/6E4999FFE5F6B8F005257A920059B3B6/$FILE/Art%205.pdf).

HANNA, INSTRUMENTS. (2020). La importancia de medir los nitritos en un acuario. Recuperado de <https://www.hannainst.es/blog/1531/importancia-medir-los-nitritos-acuario>

Izquierdo, J. (2015). LA EMPRESA HIDROPONICA DE MEDIANA ESCALA:. chile: Editorial Universidad de Talca.

La calidad del agua en acuaponía. (s. f.). ProainShop. Recuperado 10 de julio de 2023, de <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-calidad-del-agua-en-acuaponia>

La importancia de medir los nitritos en un acuario. (s. f.). Recuperado 17 de mayo de 2023, de <https://www.hannainst.es/blog/1531/>. La importancia de medir y comprobar los nitritos de un acuario marino.

- Calidad de agua en acuaponía | productos para acuicultura hanna instruments. (s. f.). Recuperado 10 de julio de 2023, de <https://www.hannacolombia.com/aqua/blog/item/calidad-de-agua-en-acuaponia>.
- Martínez, S. y Auxiliadora, M. (2018). Manejo del cultivo de tilapia. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1095629MIMI>
- Mejora de la calidad de agua en los estanques. (s. f.). Recuperado 11 de mayo de 2023, de https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm
- NAVARRO, M. O. (2017). DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días, INCUBACIÓN. COLOMBIA. Recuperado 11 de mayo de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- Olas. (s. f.). Recuperado 10 de julio de 2023, de <https://www.olasdata.org/es/>
- Variedad de tomate INTA , pág. 2. Recuperado 10 de julio de 2023, de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/18835>
- Oreochromis niloticus, tilapia del Nilo: Pesca, acuicultura. (s. f.). Recuperado 18 de mayo de 2023, de <https://www.fishbase.se/summary/oreochromis-niloticus.html>
- Rakocy, J. E., Masser, M. P. y Losordo, T. M. (2006). Sistemas de producción de tanques de acuicultura de recirculación: acuaponía: integración de peces y cultivos de plantas.
- Revista Industrial del Campo. (2018). Acuaponía, una alternativa sustentable para la producir plantas y peces. Mexico. Recuperado de Acuaponía, una alternativa sustentable para la producir plantas y peces. Agro Revista Industrial del Campo.
- Secretaria de agricultura y desarrollo rural . (2018). Acuaponía, una alternativa sustentable para la producir plantas y peces.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2022. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 589. FAO, Roma. <https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Tennermann Gutierrez, E. T. etc. (2018) Material educativo, Módulo química aplicada a las ciencias agrarias y ambientales. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua
- Water Boards. (s.f.). Statewide General Waste Discharge Requirements for Composting and Greenwaste Processing Operations (Order No. 2009-0009-DWQ). Recuperado de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf

Wilber Gutiérrez, C. M. (11 de junio de 2009). Evaluación De Cuatro Variedades De Tomate Industrial (*Lycopersicum Mill*) En El Rendimiento Y Tolerancia Al Complejo Mosca Blanca . managua , nicaragua , nicaragua.

«Nitrobacter (Acuario) - Definición - Léxico & Enciclopedia». MiMi , <https://es.mimi.hu/acuario/nitrobacter.html>. Accedido el 24 de mayo de 2023.

INETER. Meteorología. (s. f.). Recuperado 14 de junio de 2023, de <https://www.ineter.gob.ni/met.html>

IX. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de muestreo

Esta matriz fue utilizada para registrar la lectura de cada muestra.

Parámetro	Día	Punto de muestreo y Resultado	Hora de muestreo
pH	03/08/2022	P1:8.07	8:00 am
		P2:7.9	
		P3:8.0	
		P4:8.09	
T	03/08/2022	P1:26.1 °C	8:20 am
		P2:27.1 °C	
		P3:27.4 °C	
		P4:26.7 °C	
Tur	03/08/2022	P1:55 cm	8:35 am
OD	03/08/2022	P1:2.2 mg/L	8:40 am
		P4:2.5 mg/L	
Amonio	03/08/2022	P1:4.0 ppm	9:00 am
		P2:4.0 ppm	
		P3:4.0 ppm	
		P4:3.0 ppm	
Nitrito	03/08/2022	P1:0.0 ppm	9:10 am
		P2:0.0 ppm	
		P3:0.25 ppm	
		P4:0 ppm	
Nitrato	03/08/2022	P1:5.0 ppm	9:20 am
		P2:3.0 ppm	
		P3:5.0 ppm	
		P4:6.5 ppm	
CE	03/08/2022	P1:930 μS/cm	9:30 am
	03/08/2022	P4:934 μS/cm	
DBO	09/01/2022	P1:7.75 mg/L	10:00 am
	10/01/2022	P4:2.46 mg/L	

Anexo 2: Analizador Pocket Pro+ Multi 2 Tester para pH/conductividad/TDS/salinidad.



Anexo 3: Bolígrafo medidor de oxígeno disuelto.



Anexo 4: Kit de prueba freshwater master



El API® FRESHWATER MASTER TEST KIT mide los 4 niveles más importantes en acuarios de agua dulce de forma rápida y precisa, incluyendo pH, pH de alto rango, amoníaco, nitrito y nitrato. Con precisión científica para resultados profesionales, el FRESHWATER MASTER TEST KIT reutilizable viene con 4 tubos de ensayo de vidrio con tapas herméticas y una cómoda tina de sujeción para facilitar el almacenamiento. También incluye un folleto

de instrucciones paso a paso con una tabla de colores que proporciona información sobre cómo corregir las condiciones de agua inseguras.

Anexo 5: Carta colimétrica con rangos de los 4 niveles más importantes en acuarios de agua dulce.



Anexo 6: Parámetros ideales para la acuaponía tomando en cuenta un punto medio para los tres organismos.

	Temp (°C)	pH	Amoniaco (mg/litro)	Nitrito (mg/litro)	Nitrato (mg/litro)	OD
Acuaponía	18-30	6-7	(mg/litro)	< 1	5-150	> 5

Anexo 7: Tolerancia general de la calidad del agua para peces (de agua fría o caliente), plantas establecidas en sistemas hidropónicos y bacterias nitrificantes. (FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 589).

Tipo de organismo	Temp (°C)	pH	Amoniaco (mg/litro)	Nitrito (mg/litro)	Nitrato (mg/litro)	OD (mg/litro)
Peces de agua caliente	22-32	6-8.5	< 3	< 1	< 400	4-6
Peces de agua fría	10-18	6-8.5	< 1	< 0.1	< 400	6-8
Plantas	16-30	5.5-7.5	< 30	< 1	-	> 3
Bacterias	14-34	6-8.5	< 3	< 1	-	4-8

Anexo 8: Montaje del sistema acuapónico NFT



Anexo 9: Instalación de los filtro mecánico y biológico



Anexo 10: Establecimiento del estanque de peces



Anexo 11: Sistema acuapónico instalado en su totalidad



Anexo 12: Toma de muestra DBO5 del estanque de peces



Anexo 13: Toma de muestra DBO5 salida de cama de siembra



Anexo 14: Floración del cultivo



Anexo 15: Crecimiento de tomate



Anexo 16: Resultados de los análisis de laboratorio para DBO5

Punto 1:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA		CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN EN RECURSOS ACUÁTICOS DE MANAGUA		Hospital Monte España 300 m al norte Teléfono: (505) 2278 6981, 2278 6982 Teléfono: (505) 2267 8169 Apartado postal 4938 Correo: ap@cira.unan.edu.ni		FOR-CIRA-ATACC-38 Elaborado por: Grupo de expertos Vigente desde: 2021-07-26 Versión: 3 Página 1 de 1											
INFORME DE ENSAYOS				Código de Referencia: 2022-AR-0510		Orden de Servicio: 13957											
Resultados de Ensayos Físico Químicos																	
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL USUARIO				CÓDIGO DEL LABORATORIO													
USUARIO		MATRIEX DE LA MUESTRA		FECHA DE RECEPCIÓN		AR-0510											
CRISTOFER ANTONIO OLIVAS HERNÁNDEZ Tel: 8564 5430 Managua, Managua		FUENTE		FECHA DE INICIO DEL ENSAYO		2022-09-01											
		IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ENSAYO		2022-09-02											
		LUGAR Y/O COMUNIDAD		PLAN DE MUESTREO		No aplica											
		MUNICIPIO, DEPARTAMENTO		MÉTODO DE MUESTREO		ISO-15493-11											
		COORDENADAS		CONDICIONES AMBIENTALES		Temperatura entre 17°C y 27°C											
		ELEVACIÓN		CONDICIONES DEL ÍTEM DE ENSAYO		Humedad Relativa entre 20% y 79%											
		FECHA DE MUESTREO				Conforme a los criterios establecidos en el PROC-AR-01											
HORA DE MUESTREO		DATOS DE CAMPO															
TIPO DE MUESTREO		No reportados															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayos</th> <th>Método</th> <th>Límite o Rango de Detección</th> <th>Resultados</th> <th>Unidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO</td> <td>5210 B¹</td> <td>1,00</td> <td>7,75</td> <td>mg l⁻¹</td> </tr> </tbody> </table>								Ensayos	Método	Límite o Rango de Detección	Resultados	Unidades	DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO	5210 B ¹	1,00	7,75	mg l ⁻¹
Ensayos	Método	Límite o Rango de Detección	Resultados	Unidades													
DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO	5210 B ¹	1,00	7,75	mg l ⁻¹													
<p>En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN ISO/IEC 17025 Tercera edición 2017-11), el CIRA/UNAN-Managua hace constar que el ítem de ensayo fue captado, preservado, transportado por el Usuario y ha sido procesado en el laboratorio de Aguas Residuales utilizando los Procedimientos Operativos Normalizados que conllevan a la generación de este informe. El CIRA/UNAN-Managua no se responsabiliza por la información proporcionada por el Usuario. Los resultados emitidos se refieren únicamente al ítem sometido a ensayo, tal y como se recibió. No se debe reproducir parcialmente este informe de ensayos sin la aprobación de la Dirección del CIRA/UNAN-Managua, excepto si el Usuario lo reproduce en su totalidad, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar al CIRA/UNAN-Managua bajo expresa y formal autorización de su Dirección. Por su parte, el CIRA/UNAN-Managua mantendrá copia de los registros generados durante el ensayo por un tiempo de 5 años y se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de ensayos, salvo expreso y formal consentimiento del Usuario.</p> <p>Se emite este informe de ensayos a los veintisiete días del mes de octubre del año dos mil veintidós.</p>																	
<p>Observaciones: Ninguna</p>				<p>Fin del Informe de Ensayos</p>													
<p>Referencias: ¹ American Public Health Association-American Water Works Association Water Environment Federation (APHA-AWWA-WEF), 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd, ed. Washington. (Edición no correspondiente a la última versión publicada).</p>																	

Punto 2:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA		CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN EN RECURSOS ACUÁTICOS DE MANAGUA		Hospital Monte España 300 m al norte Teléfono: (505) 2278 6981, 2278 6982 Teléfono: (505) 2267 8169 Apartado postal 4938 Correo: ap@cira.unan.edu.ni		FOR-CIRA-ATACC-38 Elaborado por: Grupo de expertos Vigente desde: 2021-07-26 Versión: 3 Página 1 de 1											
INFORME DE ENSAYOS				Código de Referencia: 2022-AR-0576		Orden de Servicio: 14038											
Resultados de Ensayos Físico Químicos																	
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL USUARIO				CÓDIGO DEL LABORATORIO													
USUARIO		MATRIEX DE LA MUESTRA		FECHA DE RECEPCIÓN		AR-0576											
CRISTOFER ANTONIO OLIVAS HERNÁNDEZ Tel: 8564 5430 Managua, Managua		FUENTE		FECHA DE INICIO DEL ENSAYO		2022-10-04											
		IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ENSAYO		2022-10-04											
		LUGAR Y/O COMUNIDAD		PLAN DE MUESTREO		No aplica											
		MUNICIPIO, DEPARTAMENTO		MÉTODO DE MUESTREO		ISO-15493-11											
		COORDENADAS		CONDICIONES AMBIENTALES		Temperatura entre 17°C y 27°C											
		ELEVACIÓN		CONDICIONES DEL ÍTEM DE ENSAYO		Humedad Relativa entre 20% y 79%											
		FECHA DE MUESTREO				Conforme a los criterios establecidos en el PROC-AR-01											
HORA DE MUESTREO		DATOS DE CAMPO															
TIPO DE MUESTREO		No reportados															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ensayos</th> <th>Método</th> <th>Límite o Rango de Detección</th> <th>Resultados</th> <th>Unidades</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO</td> <td>5210 B¹</td> <td>1,00</td> <td>2,46</td> <td>mg l⁻¹</td> </tr> </tbody> </table>								Ensayos	Método	Límite o Rango de Detección	Resultados	Unidades	DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO	5210 B ¹	1,00	2,46	mg l ⁻¹
Ensayos	Método	Límite o Rango de Detección	Resultados	Unidades													
DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO	5210 B ¹	1,00	2,46	mg l ⁻¹													
<p>En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN ISO/IEC 17025 Tercera edición 2017-11), el CIRA/UNAN-Managua hace constar que el ítem de ensayo fue captado, preservado, transportado por el Usuario y ha sido procesado en el laboratorio de Aguas Residuales utilizando los Procedimientos Operativos Normalizados que conllevan a la generación de este informe. El CIRA/UNAN-Managua no se responsabiliza por la información proporcionada por el Usuario. Los resultados emitidos se refieren únicamente al ítem sometido a ensayo, tal y como se recibió. No se debe reproducir parcialmente este informe de ensayos sin la aprobación de la Dirección del CIRA/UNAN-Managua, excepto si el Usuario lo reproduce en su totalidad, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar al CIRA/UNAN-Managua bajo expresa y formal autorización de su Dirección. Por su parte, el CIRA/UNAN-Managua mantendrá copia de los registros generados durante el ensayo por un tiempo de 5 años y se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de ensayos, salvo expreso y formal consentimiento del Usuario.</p> <p>Se emite este informe de ensayos a los veintidós días del mes de octubre del año dos mil veintidós.</p>																	
<p>Observaciones: Ninguna</p>				<p>Fin del Informe de Ensayos</p>													
<p>Referencias: ¹ American Public Health Association-American Water Works Association Water Environment Federation (APHA-AWWA-WEF), 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd, ed. Washington. (Edición no correspondiente a la última versión publicada).</p>																	