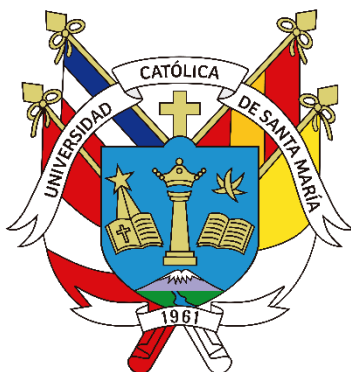


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO
COMO UNA ALTERNATIVA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES ACUÍCOLAS Y PRODUCCIÓN EN EL VIVERO DE LA
UCSM - AREQUIPA 2022**

Tesis presentada por la Bachiller:

Mejia Mamani, Grace Kely

Para optar el Título Profesional de

Ingeniera Ambiental

Asesor:

Dr. Gonzales Medina, Ronny Iván

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 02 de Diciembre del 2023

Dictamen: 008338-C-EPIA-2023

Visto el borrador del expediente 008338, presentado por:

2015800102 - MEJIA MAMANI GRACE KELY

Titulado:

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO COMO UNA ALTERNATIVA DEL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACUÍCOLAS Y PRODUCCIÓN EN EL VIVERO DE LA
UCSM - AREQUIPA 2022**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR**



EVALUACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO COMO UNA ALTERNATIVA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACUÍCOLAS Y PRODUCCIÓN EN EL VIVERO DE LA UCSM - AREQUIPA 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.americanaquariumproducts.com

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to Fundacion Universitaria Juan de Castellanos

Trabajo del estudiante

1%

3

idus.us.es

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Europea de Madrid

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.uisek.edu.ec

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.uta.cl

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.cuc.edu.co

Fuente de Internet

1%

www.scielo.org.co

DEDICATORIAS

A mi madre Mary que con todo su esfuerzo y dedicación ha logrado formar la persona que soy ahora, todos mis logros se los debo a ella, incluso este.

A mis tías Julia y Rosario que con su amor incondicional siempre me han guiado y apoyado en todas las decisiones a lo largo de mi vida.

A mi Ña Catita por cuidarme y encomendarme siempre a Jehová para que guie mi camino. Las amo.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Jehová por siempre cuidarme y guiar mi camino, por darme fortaleza para seguir adelante a pesar de todas las adversidades y por darme una familia que me apoya en todo momento.

A mi familia por su comprensión, estímulo constante y su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

Además, un especial agradecimiento al Dr. Ronny Iván Gonzales Medina, por su compromiso, disposición, paciencia, conocimientos y consejos que han sido cruciales durante toda la investigación.

Todos sus esfuerzos han sido significativos en este proyecto y en mi crecimiento personal.

RESUMEN

La presente investigación examinó la practicidad y sostenibilidad de un sistema acuapónico automatizado como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales acuícolas, las cuales son descargadas en cuerpos de agua, modificando su calidad, contaminándola y generando una degradación ambiental, es por ello que se propone un modelo donde se diseñó e implemento un sistema sustentable cuyas aguas residuales sean útiles para la agricultura, particularmente en áreas donde el impacto ambiental y el suministro confiable de agua son un problema. Además, se analizó la eficacia del sistema propuesto por medio de monitoreo y análisis de calidad de agua. El sistema cíclico trabajo en la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* W.) y tres variedades de *Lactuca sativa* L. Se analizaron parámetros donde se comprobó la calidad del agua residual apta para uso agrícola; además se evaluó el crecimiento de los peces y la biometría de la planta registrando la altura, largo de raíz y numero de hojas, los cuales cumplieron los estándares de mercado. Con la investigación se pudo concluir que el sistema acuapónico es una alternativa para el tratamiento de aguas residuales acuícolas, en donde también se puede obtener un crecimiento significativo de peces y plantas, además, se obtuvo un subproducto el cual se puede utilizar como biofertilizante.

Palabras clave: Acuaponía, Aguas residuales acuícolas, Calidad de agua.

ABSTRACT

The present investigation examined the practicality and sustainability of an automated aquaponic system as an alternative for the treatment of aquaculture wastewater, which is discharged into bodies of water, modifying its quality, contaminating it and generating environmental degradation, which is why it is proposed a model where a sustainable system was designed and implemented whose wastewater is useful for agriculture, particularly in areas where environmental impact and reliable water supply are a problem. In addition, the effectiveness of the proposed system was analyzed through monitoring and analysis of water quality. The cyclical system worked in the production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) and three varieties of *Lactuca sativa* L. Parameters were analyzed where the quality of residual water suitable for agricultural use was verified; In addition, the growth of the fish and the biometrics of the plant were evaluated, registering the height, root length and number of leaves, which met the market standards. With the investigation it was possible to conclude that the aquaponic system is an alternative for the treatment of aquaculture wastewater, where a significant growth of fish and plants can also be obtained, in addition, a by-product was obtained which can be used as a biofertilizer.

Keywords: Aquaponics, Aquaculture wastewater, Water quality.

INDICE

DEDICATORIAS

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Diagnostico Situacional.....	4
1.2. Formulación del Problema	5
1.3. Hipótesis.....	5
1.4. Objetivos de la Investigación	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
1.5. Justificación de la Investigación	6
1.5.1. Ambiental.....	6
1.5.2. Social.....	7
1.5.3. Económica.....	8

1.5.4. Tecnológica.....	8
1.5.5. Institucional.....	8
CAPITULO II	10
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
2.1. Antecedentes de la Investigación	11
2.2. Marco Teórico.....	17
2.2.1. Acuaponía	17
2.2.2. Acuicultura.....	17
2.2.3. Hidroponía	18
2.2.4. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala	18
2.2.5. Filtración Mecánica	18
2.2.6. Filtración Biológica	19
2.2.7. Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).....	19
2.2.8. Sistema Nutrient Film Technique (NFT).....	20
2.2.9. Sistema de Raíz Flotante o Cultivo de Agua Profunda (DWC).....	20
2.2.10. Parámetros de Calidad de Agua	20
2.2.10.1. pH	20
2.2.10.2. Temperatura.....	21
2.2.10.3. Oxígeno Disuelto	21
2.2.10.4. Amonio	22

2.2.10.5. Nitrito.....	22
2.2.10.6. Nitrato	23
2.2.11. Trucha Arcoíris (Oncorhynchus mykiss W.)	23
2.2.12. Lechuga (Lactuca sativa L.)	24
2.3. Marco Legal	24
2.3.1. Ley N°28611 - Ley General del Ambiente	24
2.3.2. Decreto Legislativo N° 1195 - Decreto Legislativo que aprueba la Ley General de Acuicultura.	25
2.3.3. Resolución Ministerial N° 019-2019 PRODUCE - Protocolo para el Monitoreo de efluentes de los establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto.....	25
2.3.4. Decreto Supremo N° 010-2018-MINAM. - Aprueban Límites Máximos Permisibles para Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto.....	26
2.3.5. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.....	26
2.3.6. Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos	26
CAPITULO III.....	28
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION.....	29
3.1. Tipo y Nivel de la Investigación	29
3.1.1. Tipo de la Investigación.....	29

3.1.2. Nivel de la Investigación	29
3.2. Diseño de investigación	30
3.3. Método de Análisis Estadístico	32
3.4. Área de estudio	32
3.5. Materiales y Equipos	34
3.5.1. Materiales	34
3.5.2. Equipos y Herramientas	35
3.5.3. Insumos	35
3.6. Recolección de Datos	36
3.7. Descripción Operacional	36
3.7.1. Implementación de los componentes del sistema acuapónico automatizado	36
3.7.1.1. Acondicionamiento del Terreno.	36
3.7.1.2. Implementación del Sistema Acuapónico.	38
3.7.1.2.1. Geotanque de Peces.	39
3.7.1.2.2. Sedimentador.	41
3.7.1.2.3. Biofiltros.	44
3.7.1.2.4. Sistema Hidropónico.	47
3.7.1.2.5. Sumidero.	50
3.7.1.3. Tratamiento de Agua Potable	51
3.7.1.4. Automatización del Sistema Acuapónico	51

3.7.2.	Evaluación de la calidad de agua, organismos vegetales e ictiológicos	55
3.7.2.1.	Calidad de Agua	55
3.7.2.2.	Especies Animales y Vegetales	59
3.7.2.3.	Crecimiento de peces, alimentación y composición de los alimentos.....	59
3.7.3.	Análisis Exploratorio de Datos (EDA)	62
CAPITULO IV.....		63
4.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	64
4.1.	Implementación de los componentes del sistema acuapónico automatizado.....	64
4.2.	Evaluación de la calidad de agua, organismos vegetales e ictiológicos a través de un programa de monitoreo.	65
4.2.1.	Especie Animal	65
4.2.2.	Especie vegetal.....	66
4.2.3.	Otros productos.....	74
4.3.	Análisis Exploratorio de Datos (EDA) para la interpretación de los parámetros monitoreados.....	75
4.3.1.	Calidad de Agua.....	75
CAPITULO V.....		100
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
5.1.	Conclusiones	101
5.2.	Recomendaciones.....	102

CAPITULO VI.....	103
6. REFERENCIAS	104
ANEXOS	113



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Diseño del Sistema Acuapónico para la Línea 1 y Línea 2</i>	30
Figura 2 <i>Diagrama de bloques del Sistema Acuapónico automatizado para la Línea 1 y Línea 2</i>	31
Figura 3 <i>Ubicación del Sistema Acuapónico</i>	33
Figura 4 <i>Terreno donde se construyó el Sistema Acuapónico</i>	36
Figura 5 <i>Malla Raschel al 65% negro/verde para el Sistema Acuapónico</i>	37
Figura 6 <i>Cerco de Metal para delimitar el Sistema Acuapónico</i>	38
Figura 7 <i>Componentes del Sistema Acuapónico</i>	38
Figura 8 <i>Geotanque de HDPE</i>	39
Figura 9 <i>Colocación del Geotanque en base de metal</i>	40
Figura 10 <i>Bomba Sumergible de 0.75 HP</i>	41
Figura 11 <i>Cilindro de amortiguación de turbulencias del Sedimentador</i>	42
Figura 12 <i>Sedimentador de Flujo Radial</i>	44
Figura 13 <i>Filtro Biológico Tradicional conformado por piedras</i>	45
Figura 14 <i>Contenedores de plástico que actuaron como biofiltros</i>	45
Figura 15 <i>Calas (Zantedeschia aethiopica)</i>	46
Figura 16 <i>Sistema NFT y Sistema Raíz Flotante</i>	47
Figura 17 <i>Germinación de la lechuga</i>	48
Figura 18 <i>Plántula de Lechuga</i>	48
Figura 19 <i>Canastillas de hidroponía</i>	49
Figura 20 <i>Lechugas trasplantadas al Sistema NFT y Raíz Flotante</i>	49
Figura 21 <i>Sumidero del Sistema Acuapónico</i>	50

Figura 22 <i>Contenedor de agua potable</i>	51
Figura 23 <i>Tablero Eléctrico</i>	52
Figura 24 <i>Bomba de pecera en el Sistema Raíz Flotante</i>	53
Figura 25 <i>Soporte del Ing. Electrónico Eduardo Z. para la instalación de bombas</i>	53
Figura 26 <i>Multiparámetro HANNA HI98194</i>	57
Figura 27 <i>Medición de Parámetros con Multiparámetro HANNA HI98194</i>	57
Figura 28 <i>Medición de Parámetros con el Kit API Freshwater Master Test</i>	58
Figura 29 <i>Kit API Freshwater Master Test</i>	58
Figura 30 <i>Materiales del Kit API Freshwater Master Test</i>	59
Figura 31 <i>Sistema Acuapónico Automatizado</i>	64
Figura 32 <i>Truchas en etapa juvenil en el geotank</i>	65
Figura 33 <i>Pesado de las truchas</i>	66
Figura 34 <i>Longitud de raíz de las lechugas a los 7 días</i>	67
Figura 35 <i>Número de hojas de las lechugas a los 7 días</i>	68
Figura 36 <i>Altura de las lechugas a los 7 días</i>	69
Figura 37 <i>Longitud de raíz de las lechugas a los 45 días</i>	70
Figura 38 <i>Número de hojas de las lechugas a los 45 días</i>	71
Figura 39 <i>Altura de las lechugas a los 45 días</i>	72
Figura 40 <i>Peso fresco de las lechugas</i>	73
Figura 41 <i>Lodos extraídos del Sedimentador</i>	75
Figura 42 <i>pH en el geotank: Línea 1 y Línea 2</i>	77
Figura 43 <i>Oxígeno Disuelto en el Geotank: Línea 1 y Línea 2</i>	78
Figura 44 <i>Temperatura en el Geotank: Línea 1 y Línea 2</i>	79

Figura 45 Diagrama boxplot para el pH en el Geotanque de la Línea 1 y Línea 2	80
Figura 46 Diagrama boxplot para el Oxígeno Disuelto en el Geotanque de la Línea 1 y Línea 2	81
Figura 47 Diagrama boxplot para la Temperatura en el Geotanque de la Línea 1 y Línea 2	82
Figura 48 pH en el Geotanque con el Kit Api Fresh Water: Línea 1 y Línea 2	84
Figura 49 Diagrama bloxplot del pH en el Geotanque de la Línea 1	85
Figura 50 Diagrama bloxplot del pH en el Geotanque de la Línea 2	86
Figura 51 Amonio en el Geotanque con el Kit Api Fresh Water: Línea 1 y Línea 2.....	87
Figura 52 Nitrito en el Geotanque con el Kit Api Fresh Water: Línea 1 y Línea 2.....	88
Figura 53 Nitrato en el Geotanque con el Kit Api Fresh Water: Línea 1 y Línea 2.....	89
Figura 54 pH en el Sumidero: Línea 1 y Línea 2.....	91
Figura 55 Oxígeno Disuelto en el Sumidero: Línea 1 y Línea 2.....	92
Figura 56 Temperatura en el Sumidero: Línea 1 y Línea 2.....	93
Figura 57 Diagrama boxplot para el pH en el Sumidero de la Línea 1 y Línea 2	94
Figura 58 Diagrama boxplot para el Oxígeno Disuelto en el Sumidero de la Línea 1 y Línea 295	
Figura 59 Diagrama boxplot para la Temperatura en el Sumidero de la Línea 1 y Línea 2	96
Figura 60 Pasos para la medición de pH	127
Figura 61 Pasos para la medición de Amonio	128
Figura 62 Pasos para la medición de Nitrito.....	129
Figura 63 Pasos para la medición de Nitrato.....	130

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Variables de la investigación</i>	32
Tabla 2 <i>Especificaciones del Multiparámetro HANNA HI98194</i>	56
Tabla 3 <i>Tabla de alimentación para truchas</i>	60
Tabla 4 <i>Características nutricionales del Alimento CHALLWA FEED</i>	62
Tabla 5 <i>Resumen de los datos obtenidos del geotank en la Línea 1 y Línea 2 con el multiparámetro HANNA HI98194</i>	76
Tabla 6 <i>Resumen de los datos obtenidos del geotank en la Línea 1 y Línea 2 con el Kit Api Fresh Water</i>	83
Tabla 7 <i>Resumen de los datos obtenidos del sumidero en la Línea 1 y Línea 2 con el multiparámetro HANNA HI98194</i>	90
Tabla 8 <i>Valores resultantes del análisis de agua en el Laboratorio de la Línea 1 y ECA</i>	97
Tabla 9 <i>Valores resultantes del análisis de agua en el Laboratorio de la Línea 2 y ECA</i>	98

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I: Programa de Monitoreo del Sistema Acuapónico	114
ANEXO II: Cronograma de alimentación de la Trucha Arcoíris	115
ANEXO III: Peso y Longitud final de la Trucha Arcoíris de la Línea 1 y Línea 2	116
ANEXO IV: Informe de ensayo de laboratorio de la Línea 1.....	118
ANEXO V: Informe de ensayo de laboratorio de la Línea 2	122
ANEXO VI: Decreto Supremo 004-2017-MINAM: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	126
ANEXO VII: Pasos para la medición de parámetros con el Kit Api Freshwater.....	127



INTRODUCCION

A nivel mundial la FAO (2022) indica que durante el 2019 el consumo de alimentos acuáticos fue de 20.5 Kg. Entre 1961 y el 2019 este consumo aumentó anualmente en un 3 %, a diferencia del crecimiento demográfico mundial anual, el cual fue 1,6% durante el mismo período.

En el 2020, a pesar de la propagación de la pandemia de COVID-19, La producción acuícola mundial mantuvo su tendencia de crecimiento por todo el mundo, con diferencias entre regiones y entre países productores. La producción acuícola total comprendió 87,5 millones de toneladas de animales acuáticos destinados al consumo humano (FAO, 2022).

El desarrollo intensivo de la industria de la acuicultura ha ido acompañado de un aumento del impacto al medio ambiente. Esta técnica de crianza de peces genera grandes cantidades de contaminantes que contienen alimento no consumido y heces de los peces. Los efluentes de la acuicultura que son vertidos al medio acuático contienen nutrientes, compuestos orgánicos e inorgánicos como amonio, fósforo, etc.

Las aguas residuales acuícolas cargadas de nutrientes, agentes patógenos y gran cantidad de contaminantes orgánicos, son descargadas en cuerpos de agua, modificando su calidad, contaminándola y generando una degradación ambiental.

La acuaponía es un sistema que genera grandes beneficios, puede definirse como el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación cerrado y en un ambiente controlado (Hernández et al., 2009). En términos generales, Ramírez et al. (2008) nos dice que es un sistema donde los desechos orgánicos producidos por los peces son convertidos, a través de la acción bacteriana, en nitratos, que sirven como fuente de alimento para plantas.

La acuaponía es una alternativa idónea para ayudar a los acuicultores a eliminar el agua cargada de nitrógeno y también da soporte a los agricultores ya que es una forma fácil de conseguir el nitrógeno para sus plantas (Mateus, 2009).

Entonces, si se sabe que la descarga de aguas residuales acuícolas en cuerpos de agua naturales genera una contaminación en dicho medio, debido a la alta cantidad de nutrientes, será posible que, con la implementación de un sistema acuapónico automatizado, los efluentes acuícolas sean aprovechados para la producción de diversos productos y asimismo el agua tratada sea utilizada para otros fines, para el riego de plantas o bebida de animales.

El objetivo principal de la investigación fue evaluar un sistema acuapónico automatizado como una alternativa de tratamiento de aguas residuales acuícolas y de producción, cumpliendo con el objetivo principal se tuvieron resultados favorables como un crecimiento óptimo de peces y plantas, acorde al mercado, la trucha arcoíris en la línea 1 tuvo un peso promedio de 160.75 gramos y una longitud 25.54 cm, mientras que en la línea 2 el peso promedio fue de 292.38 gramos y la longitud de 26.88 cm. Las lechugas en la Línea 1 tuvieron un peso fresco promedio en el Sistema NFT de 179.3 gramos y en el Sistema Raíz Flotante 133.1 gramos, mientras que en la Línea 2, se tuvo un peso fresco promedio en el Sistema NFT de 168.3 gramos y en el Sistema Raíz Flotante 183.9 gramos.



CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Diagnostico Situacional

La rápida expansión de la acuicultura en los últimos años ha generado una gran preocupación por lo que esta actividad puede provocar en el medio ambiente. La FAO (2020) menciona que en el 2018 la producción acuícola mundial alcanzó otro récord histórico de 114,5 millones de toneladas de peso vivo.

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* W.) es una especie que se ha adaptado eficientemente a las zonas alto andinas y se viene criando a nivel comercial en toda la sierra peruana, su producción predomina en las regiones de Puno, Arequipa y Junín, se comercializa en el mercado nacional e internacional gracias a la calidad de la trucha que se produce en nuestro país (SINACUI, 2022).

El Ministerio de la Producción proyectó que en el 2022 la acuicultura aumentaría en 4% con relación al 2021, debido a que se recuperaran en el cultivo de langostinos y truchas afectados por factores climatológicos (La República, 2022).

En América Latina, la acuicultura ha reemplazado la pesca artesanal debido a su gran crecimiento, sin embargo, esta actividad también trae desventajas, como la degradación de cuerpos de agua debido a la gran cantidad de desechos que contienen sus efluentes, como el alimento no consumido por los peces y las heces de los mismos (Muñoz y Paco, 2020).

Según Chatla et al. (2020) el incremento de la acuicultura genera contaminantes orgánicos en exceso, que podrían causar efectos tóxicos y agudos, así como daños a los organismos cultivados o a las especies que se encuentran en los cuerpos de agua en donde se descargan los efluentes.

Los efluentes vertidos pueden causar la eutrofización en las aguas receptoras debido a que contienen gran cantidad de nutrientes, como fósforo y nitrógeno, lo cual, puede llegar a ser tóxico para los organismos acuáticos, generar el crecimiento de algas, alterar el hábitat natural y provocar la eliminación de ciertas especies (AquaHoy, 2022).

En el Perú, la acuicultura es una actividad económica promisorio y rentable, en donde la calidad del recurso hídrico para el cultivo de peces es un factor determinante, como se mencionó párrafos arriba, la práctica de esta actividad tiene como problemática la contaminación de los ecosistemas acuáticos, debido a que se utilizan grandes volúmenes de agua y se generan diversos residuos como, el alimento no consumido de los peces (Guevara y Salas, 2022).

1.2. Formulación del Problema

Las aguas residuales acuícolas cargadas de nutrientes, agentes patógenos y gran cantidad de contaminantes orgánicos, producidos por las heces de los peces y el alimento no consumido, son descargadas en cuerpos de agua, modificando su calidad, contaminándola y generando una degradación ambiental.

1.3. Hipótesis

Si se sabe que la descarga de aguas residuales acuícolas en cuerpos de agua naturales genera una contaminación en dicho medio, debido a la alta cantidad de nutrientes, será posible que, con la implementación de un sistema acuapónico automatizado, los efluentes acuícolas sean aprovechados para la producción de diversos productos y a su vez el agua tratada sea utilizada para otros fines, para el riego de plantas o para la bebida de animales.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. *Objetivo General*

Evaluar un sistema acuapónico automatizado como una alternativa de tratamiento de aguas residuales acuícolas y de producción en el Vivero de la UCSM.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Implementar los componentes del sistema acuapónico automatizado: geotank, sedimentador, biofiltros, sistema hidropónico, sumidero, bombas y tablero eléctrico.
- Evaluar la calidad del agua, organismos vegetales e ictiológicos a través de un programa de monitoreo.
- Realizar un Análisis Exploratorio de Datos (EDA) para la interpretación de los parámetros monitoreados.

1.5. Justificación de la Investigación

1.5.1. *Ambiental*

Implementar un sistema acuapónico permite la producción de animales acuáticos y vegetales de forma conjunta. Además, es una alternativa para reutilizar las aguas residuales acuícolas las cuales contienen gran cantidad de alimento no consumido, heces de los peces, nitrógeno y fósforo; y al ser vertidas muestra un impacto potencial sobre la calidad del agua y sobre el ecosistema.

Según Torres y Grandas (2017) el alimento no consumido y las heces producidas por los peces hacen que el fósforo se acumule, principalmente, en los sedimentos y su acumulación se utiliza como indicador de contaminación. Además, afirman que las concentraciones de amonio (compuesto nitrogenado producto de la

excreción de los peces), da lugar al crecimiento de microalgas. Estos compuestos se convierten en nutrientes del medio y generan el fenómeno de eutrofización, el cual causa cambios en la diversidad del ecosistema, desequilibrio de las relaciones tróficas por pérdida del control por parte de los organismos consumidores, incremento en la intensidad y frecuencia de floraciones algales.

Del mismo modo, los diferentes químicos y antibióticos que se utilizan para combatir las enfermedades que afectan a los peces se acumulan en el fondo y podrían favorecer las condiciones anaeróbicas y el crecimiento de bacterias más resistentes (Torres y Grandas, 2017).

Con la acuaponía estas aguas residuales pueden ser tratadas y utilizadas en el riego de especies vegetales, así evitamos la contaminación de fuentes hídricas u otro ecosistema.

1.5.2. Social

La acuaponía, al ser una actividad de producción primaria ofrece oportunidades de inclusión laboral y social a personas con menos oportunidades, ya sea por razones económicas, de edad, sexo, discapacidad, o por residir en zonas rurales (López et al., 2019).

Así es el caso del proyecto social “Hortalizas del Colca” el cual busca garantizar la seguridad alimentaria de niños y ancianos del centro poblado Lago del Colca Chichas en el distrito de Callalli, provincia del Caylloma, región Arequipa, y crear puestos de trabajo dignos para las madres, alrededor de 40 mujeres han creado su autoempleo a través de la instalación de sus propios módulos acuapónicos,

además permite mejorar sus dietas alimentarias, por lo tanto disminuye los niveles de anemia en los miembros de sus familias (Red de Comunicación Regional, 2023).

1.5.3. Económica

La acuaponía al ser un sistema simbiótico es una alternativa factible para ser utilizada en los domicilios de zonas urbanas o rurales, ya sea en espacios amplios o reducidos, lo que garantiza la seguridad alimentaria ya que es una fuente de alimentos de alta calidad y también, puede ser una fuente de ingreso económico generando oportunidades para el ser humano para que puedan mejorar sus condiciones de vida, debido a que los peces y vegetales tienen gran demanda económica (Jiménez y Pérez, 2022).

1.5.4. Tecnológica

En la acuaponía el sistema de recirculación acuícola (RAS) es el método más utilizado para tratar aguas residuales acuícolas, en el cual se pueden hacer diferentes innovaciones: de diseño, en la automatización del sistema, en programación de sensores para medición de parámetros de monitoreo, automatización de la ración de alimento diario de los peces, entre otros.

1.5.5. Institucional

La investigación sirve como una base para aquellos estudiantes, docentes u autoridades que deseen replicar o extender la propuesta de este diseño ya que la acuaponía no solo se puede utilizar como tratamiento de aguas, también, es un campo en el cual se puede hacer bastantes modificaciones y mejoras en cuanto a diseño, componentes, alimentación, variedad de especies, entre otros, y así poder obtener diversos resultados en cuanto a peces, vegetales, calidad de agua,

biofertilizantes y demás. Asimismo, los componentes del Sistema Acuapónico pueden ser utilizados en otros proyectos de investigación.

La investigación también busca ser publicada en una revista indexada, siendo una base y un aporte científico para otras investigaciones relacionados al tema.





CAPITULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

La acuaponía tiene sus principios desde tiempos antiguos, los Aztecas utilizaban islas llamadas chinampas para cultivar peces, las cuales se ubicaban dentro de lagunas, algunas islas se encontraban fijas en el fondo y otras eran móviles, la vegetación de la isla crecía gracias a los nutrientes disponibles en la laguna y esta vegetación servía como alimento para los Aztecas (Jiménez y Pérez, 2022).

En la actualidad Velichkova et al. (2019) estudiaron la influencia del agua utilizada para el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* W.) sobre la biomasa de lechuga (*Lactuca sativa* L.) entre dos tipos de sistemas hidropónicos: sistema de camas y sistema raíz flotante. En la sección hidropónica de camas de cultivo se plantaron 16 organismos con agregado de arcilla expandida de peso ligero (LECA) y otras 16 que se plantaron en la sección hidropónica de raíz flotante. El contenido de oxígeno (mg/L), el pH y la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^3$) se midieron diariamente mientras que los compuestos de nitrógeno (amonio y nitrato) (mg/L) y fósforo (ortofosfato-fósforo) (mg/L) se midió cada diez días. En la sección LECA se observó una mejor capacidad de remoción de amonio, nitrato y ortofosfato en comparación con la capacidad de limpieza en la sección de raíz flotante. Por otro lado, la tecnología de lecho LECA mostró una mejor producción de biomasa vegetal, pero en la tecnología de raíz flotante, la longitud de la raíz fue mayor.

Lozada (2019) tuvo como finalidad generar tecnologías para la crianza de tilapia (*Oreochromis niloticus*), para economizar el uso de agua y producir en pequeñas áreas, mediante un sistema acuapónico, evaluó la crianza de tilapias, la calidad del agua y el comportamiento productivo en un sistema abierto (SA) contra un sistema de recirculación

de agua (RAS), tuvo tres módulos de evaluación, uno de SA y dos de RAS. Los resultados que se obtuvieron en los 60 días de evaluación, en cuanto a calidad de agua en el sistema abierto (SA), tuvo un nivel óptimo de nitritos, 0.03 mg/L, significativamente diferente a los dos sistemas de recirculación de agua (RAS) tanto de 5 kg/m³ como de 10 kg/m³; donde solo el primero es aceptable (0.09 mg/L) a diferencia del segundo (0.13 mg/L), que supera el límite de 0.10 mg/L, para ganancia de peso: SA (77.97 g), RAS 5 (72.40 g) y RAS 10 (41.70 g), consumo de alimento: SA (193.16 g), RAS 5 (263.45 g) y RAS 10 (218.22g) y conversión alimenticia: SA (2.40 g), RAS 5 (3.20 g) y RAS 10 (5.32 g).

Morales (2019) tuvo como objetivo diseñar y construir un sistema acuapónico prototipo utilizando tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) para poder evaluar su funcionamiento en base a ambas especies. El diseño fue empírico, inicialmente se analizó dos diseños artesanales contruidos in situ, para mejorar su operatividad se rediseñó y construyo un tercer sistema. Se inicio construyendo un sistema piloto para evaluar la productividad de la tilapia, la albahaca y la calidad del agua, dando como resultados: peso inicial de la tilapia 3.88g, peso final 10.69g, sin mortandad, peso inicial de la albahaca 1.2g, peso final 245.3g y la calidad de agua (Amonio/amoniaco, Nitritos, Nitratos, dureza de carbonato, dureza total, pH y T°) se estabilizo al final del cultivo. En el segundo cultivo, el cual fue el experimento en sí, duplicaron la producción de albahaca, dos corridas de albahacas por una de tilapias dando como resultados: peso inicial de la tilapia 6.08g, peso final 21.57g. Primera corrida de albahacas: peso inicial 3.0g, peso final 106.05g. Segunda corrida de albahacas: peso inicial 4.38g, peso final 158.33g y la calidad de agua tuvo un descenso significativo y se mejoró la concentración de nitratos (NO₃⁻) de 80 mg/L a 20 mg/L la cual se mantuvo constante.

Su et al. (2020) examinaron un enfoque acuapónico de agua circulante que contiene excreciones de amoníaco del bagre africano cultivado en un tanque de acuicultura para la conversión bacteriana en nitratos, que luego actuó como una sustancia nutritiva para cultivar lechuga en un tanque hidropónico. Encontraron que el biochar de pirolisis por microondas (450 g) tiene una superficie micro porosa (1.803 nm) y fue adecuado para su uso como portador biológico para cultivar bacterias nitrificantes (63 g de masa de biopelícula) que trataron la calidad del agua mediante la eliminación del amoníaco (67%) y los sólidos suspendidos totales (68%), lo que resultó en una baja concentración de amoníaco restante (0,42 mg / L) y sólido suspendido total (59,40 mg / L). También aumentó el pH (6.8), convirtió el amoníaco en nitrato (29.7 mg / L) y aumentó la absorción de nitrógeno por la lechuga (110 mg de nitrógeno por planta), lo que resultó en un mayor crecimiento en la lechuga (0.0562 % / día) mientras se mantiene la DBO₅ (3,94 mg/L) a un nivel aceptable y 100% de la tasa de supervivencia del bagre. Los resultados mostraron que el biochar de pirolisis por microondas es una solución factible para el cultivo de bacterias nitrificantes en un sistema acuapónico para reducir el amoníaco y generar nitrato para el cultivo de vegetales.

Delgado y Tapia (2018) propusieron una alternativa para producir alimentos frescos, saludables y libres de químicos por medio de un rediseño de sistemas acuapónicos unifamiliares para centros urbanos como el Distrito Metropolitano de Quito, mediante la producción de tilapias rojas (*Oreochromis niloticus*), y lechugas (*Lactuca Sativa*), en 60 días producción los resultados mostraron que los peces alcanzaron un peso de 1,24 gr/día, en el segundo mes de cultivo, llegando a un promedio de peso de 75,76 gr por tilapia. El pH se mantuvo en (7±0.6) en el sistema acuapónico y (6,5± 0,5) en el

hidropónico a lo largo de los 60 días. Las lechugas tuvieron una talla optima de mercado (Hidroponía = 26,56 cm, Acuaponía = 31,91 cm) no se utilizaron pesticidas ni fertilizantes químicos, concluyendo que el sistema acuapónico desarrollado es viable para producir proteína vegetal y animal, además menciona que es de fácil instalación en espacios urbanos reducidos.

Culcos y Tucto (2019) determinaron y compararon la producción de *Oreochromis niloticus* var. Chitralada “tilapia gris” y *Lactuca sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico utilizando diferentes densidades de peces. Aplicaron el Diseño Experimental de Estímulo Creciente con tres tratamientos, utilizando las siguientes densidades de peces: 167 peces/m³ (T1), 250 peces/m³ (T2) y 333 peces/m³ (T3). El crecimiento de los peces y las características fisicoquímicas fueron evaluados mensualmente, y cada tres meses el crecimiento de las lechugas. El crecimiento de *O. niloticus* var. Chitralada fue afectado por la densidad de peces en relación indirecta, siendo mayor en 167 peces/m³ (T1): 222,90 mm y 205,58 g; pero en relación directa con *L. sativa* que en ambas campañas mostró mejor crecimiento en el T3 (333 peces/m³) con promedios de: 203,50 mm (longitud de raíz), 306,00 mm (longitud de hoja) y 198,15 g (peso fresco), en conclusión las densidades superiores a 167 peces/m³ afectaron el crecimiento de los peces al haber una mayor competencia por espacio; y en el caso de las lechugas, como hubo una mayor cantidad de peces hubo una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas las cuales tuvieron un mejor desarrollo.

Alcarraz et al. (2018) compararon el rendimiento, concentración de nitrato, calidad microbiológica y funcional en lechugas (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en un sistema acuapónico y en un hidropónico, también se evaluó la masa fresca de las lechugas

y el factor de conversión alimentaria (FCA) de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Como resultados obtuvieron una masa fresca de lechugas acuapónicas de 6,73% superior al de lechugas hidropónicas y se tuvo una concentración menor de nitratos en las lechugas hidropónicas. Además, las lechugas en ambos sistemas no presentaron diferencias significativas en su calidad microbiológica y funcional. El sistema acuapónico inició con una masa fresca promedio de $27,1 \pm 0,8$ g de truchas arcoíris, y durante el tiempo de experimentación los peces crecieron 13,6 g, obteniendo un FCA de 0,74. Los resultados indicarían que el sistema acuapónico es una opción sostenible para la producción de lechugas con alta calidad, teniendo un buen rendimiento, una menor concentración de nitratos y una similar calidad microbiológica y funcional con respecto a los sistemas hidropónicos.

Alcocer (2017) tuvo como objetivo diseñar y construir dos sistemas utilizando pez dorado (goldfish) (*Carassius auratus*) y lechugas (*Lactuca sativa*) dentro de un invernadero. Uno fue un sistema mixto con dos camas flotantes y una cama de sustrato de arlita que actuó como filtro biológico, otro fue un sistema NFT con circulación continua proveniente de un decantador y un filtro biológico con bacterias nitrificantes, para la proliferación de bacterias se añadió una ampolla de cultivo bacteriano concentrado “Biodigest”, de la marca Prodibio, se obtuvo como resultado que los dos prototipos acuapónicos propuestos son viables, respecto a las lechugas, consiguieron completar su ciclo en más de un 85% en ambos sistemas teniendo un tamaño comercial aceptable, incluso en el NFT llegaron a florecer en un 25% de las plantas. Asimismo, recomienda que en futuras investigaciones con estos prototipos el tiempo de funcionamiento debe ser mayor y en condiciones climáticas menos severas.

González (2017) tuvo como objetivo diseñar, construir y analizar el funcionamiento inicial de un sistema acuapónico que combinó un estanque ornamental con un jardín vertical exterior. Los peces que estaban en el estanque fueron: Carpa dorada (*Carassius auratus*) ‘Cometa’ y ‘Shubunkin’, y guppies (*Poecilia reticulata*). Para la medir el pH, CE y contenido de nitratos en el agua se utilizó un pH-metro de sobremesa, un medidor de sobremesa y un medidor de nitratos portátil junto con tiras reactivas. El jardín vertical tuvo una superficie de 6 m², una forma rectangular de 3 m de altura y 2 m de anchura, teniendo distintas especies vegetales: carex (*Carex flacca* y *Carex oshimensis*), soleirolia (*Soleirolia soleirolii*), esparraguera (*Asparagus sprengero*), ficus (*Ficus pumila*), helecho (*Phlebodium aureum*) y cinta (*Chlorophytum comosum*), utilizando un sistema Fytotextile, desarrollado y patentado por la Universidad de Sevilla, se obtuvo como resultado que la combinación del jardín vertical con el estanque mediante el sistema acuapónico ha tenido una influencia positiva en la calidad del agua, el desarrollo de la vegetación ha sido adecuado, alcanzándose una cobertura del 56.37 % a los 112 días de la plantación.

Silvera y Cantero (2022) implementaron un sistema acuapónico híbrido para garantizar la seguridad alimentaria en el municipio de Polo Nuevo, Atlántico. Se realizó una evaluación de riegos para detectar y minimizar los peligros que podrían ocurrir en el cultivo y la hidroponía. El prototipo del sistema acuapónico implementado contó con (4) tanques para peces de 13.000 litros cada uno, dos (2) filtros mecánicos, biofiltros, cuatro (4) camas de crecimiento para plantas con las técnicas NFT y raíz flotante, dos (2) estructuras con un total de diez (10) bandejas para el cultivo de FVH, un (1) tanque recolector y sistemas de bombeo y aireación. Las pruebas piloto evidenciaron resultados

esperados como el cumplimiento de las estimaciones en cuanto peso y longitud realizada de las biometrías en los peces. Así mismo, los animales bovinos en la finca aceptaron el forraje verde hidropónico como alimento. Durante el desarrollo del proyecto se verificó que toda ejecución o actividad cumpliera con los lineamientos de la producción más limpia.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. *Acuaponía*

La acuaponía es la integración de la acuicultura y la hidroponía en un sistema de producción, en donde el agua de la pecera pasa por filtros, lechos de cultivo de plantas y luego regresa a la pecera. Este proceso debidamente equilibrado permite que los peces, las plantas y las bacterias trabajen simbióticamente. La acuaponía trabaja de forma sostenible, ya que el efluente de la acuicultura se desvía a través de los lechos de las plantas y no se libera al medio ambiente, mientras que al mismo tiempo los nutrientes para las plantas se suministran de una fuente sostenible, rentable y no química (Somerville et al., 2022).

2.2.2. *Acuicultura*

Según FAO (2003) la acuicultura consiste en la cría de organismos acuáticos como peces, moluscos, crustáceos y plantas. La crianza necesita de la intervención humana para incrementar la producción; por ejemplo: concentrar poblaciones de peces, alimentarlos o protegerlos de los depredadores.

El desarrollo de la acuicultura en el Perú es de carácter incipiente y está orientada principalmente en la producción de Langostinos (*Litopenaeus spp*), Concha de Abanico "scallops", Trucha (*Oncorhynchus spp*), Tilapia (*Oreochromis*

spp) y algunos peces amazónicos. Sin embargo, las posibilidades para su desarrollo son muy grandes por la gran variedad de especies con potencial acuícola (FAO, 2005).

2.2.3. Hidroponía

La hidroponía es un método para realizar cultivos utilizando soluciones minerales o nutritivas en lugar del suelo agrícola. Las raíces reciben una solución nutritiva y equilibrada disuelta en agua con los elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas, pueden crecer en una solución acuosa únicamente, o bien en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita, entre muchas otras (Beltrano y Gimenez, 2015).

2.2.4. Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala

Este documento técnico inicia introduciendo conceptos de acuaponía, una breve historia de su desarrollo y su posición en la amplia categoría de cultivos sin suelo. Incluye también el ciclo del nitrógeno y el rol de las bacterias. Muestra aspectos importantes de los parámetros de calidad de agua, y de dónde obtener el agua para la acuaponía, así como, el diseño del sistema y los métodos hidropónicos. Se explica la simbiosis de los tres tipos de organismos (bacterias, plantas y peces) presente en el sistema de acuaponía. También presenta estrategias de manejo y solución de problemas (Somerville et al., 2022).

2.2.5. Filtración Mecánica

La filtración mecánica consiste en una barrera física que sea eficiente para la retención de sólidos de grandes caudales de agua con un bajo costo de fabricación con la finalidad de asegurar la limpieza de tanques, permitiendo que no se

concentren nutrientes que puedan ser perjudiciales para la vida de los peces (Huerta, 2017).

Para la selección del filtro mecánico a implementar en el sistema acuapónico, se toma en cuenta los siguientes criterios:

- Capacidad de remover sólidos
- Construcción de bajo costo y con materiales de fácil acceso.
- Mínima pérdida de carga
- Fácil limpieza

2.2.6. Filtración Biológica

Los procesos de tratamiento biológico del agua se basan en el crecimiento de comunidades microbianas que tengan la capacidad de metabolizar contaminantes a través de reacciones de oxidación-reducción mediadoras (Zhu et al., 2010).

Hammes et al. (2019) define a la biofiltración como un proceso en el que el medio filtrante comprende un material poroso como, por ejemplo: arena, carbón activo granulado o un material portador sintético, que este colonizado por comunidades microbianas y donde los microorganismos realizan al menos una de las funciones esenciales del tratamiento durante el proceso.

2.2.7. Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica está relacionado con la actividad que realizan las bacterias, por lo tanto, se define como el tiempo necesario para que los microorganismos realicen la conversión de amonio a nitrato en los biofiltros (Alcívar y Alvia, 2019).

2.2.8. Sistema Nutrient Film Technique (NFT)

En el mundo, el sistema hidropónico recirculante más popular para la producción de cultivos es el sistema NFT, es un sistema de tuberías por donde pasa continuamente una capa fina de agua de alimentación que humedecen las raíces, el alimento que sale del medio radicular se recoge en un depósito de alimentación y se administra nuevamente a la planta (Cussi, 2018).

2.2.9. Sistema de Raíz Flotante o Cultivo de Agua Profunda (DWC)

El método DWC implica colocar las plantas en láminas de poliestireno, con sus raíces colgando hacia el agua. A diferencia del método NFT, donde los nutrientes se agotan rápidamente debido a que la pequeña película de agua que fluye a nivel de las raíces, el gran volumen de agua contenida en los canales DWC permite que las plantas utilicen cantidades considerables de nutrientes. Este método es el más común para cultivar una sola especie (Somerville et al., 2022).

2.2.10. Parámetros de Calidad de Agua

2.2.10.1. pH

El pH es una medida de cuán ácida o básica es la solución en una escala que va de 1 a 14. Un pH de 7 es neutro; cualquier cosa por debajo de 7 es ácida, mientras que cualquier cosa por encima de 7 es básica.

Según Somerville et al. (2022) el pH del agua es un parámetro importante en la acuaponía, especialmente en las plantas y bacterias. El acceso de las plantas a micro y macronutrientes, está disponible con un pH de 6.0 - 6.5, pero un pH de 7,5 puede conducir a deficiencias de nutrientes de hierro, fósforo y manganeso. Además, indican que por debajo de un pH de 6

las bacterias nitrificantes reducen su capacidad para convertir el amoníaco en nitrato y los niveles de amoníaco pueden comenzar a aumentar, lo que conduce a un sistema desequilibrado estresante para los otros organismos. Los peces también tienen rangos de tolerancia específicos para el pH, de 6.0–8.5. Sin embargo, el pH afecta la toxicidad del amoníaco, con un pH más alto conduce a una mayor toxicidad. En conclusión, el agua acuapónica ideal es ligeramente ácida, con un rango óptimo de pH de 6-7.

2.2.10.2. Temperatura

Según Somerville et al. (2022) la temperatura del agua es determinante ya que afecta todos los aspectos de los sistemas acuapónicos, un rango general es de 18 a 30° C. La temperatura tiene un efecto sobre el OD, mientras más temperatura menos OD. La lechuga, la acelga y los pepinos crecen mejor a temperaturas más frías de 18 a 26° C, y los peces de agua fría como la trucha no toleran temperaturas superiores a 18° C.

2.2.10.3. Oxígeno Disuelto

El nivel de OD describe la cantidad de oxígeno molecular dentro del agua, y se mide en miligramos por litro. Es el parámetro de calidad del agua que tiene el efecto más inmediato y drástico sobre la acuaponía. El oxígeno disuelto es primordial para los tres organismos involucrados en la acuaponía ya que lo necesitan para vivir. De hecho, puede haber mortandad de peces en cuestión de horas cuando el OD es bajo. Los niveles óptimos de OD para que cada organismo prospere son de 5-8 mg/litro (Somerville et al., 2022).

2.2.10.4. Amonio

Somerville et al. (2022) explica como el nitrógeno ingresa a un sistema acuapónico a partir del alimento para peces, parte del alimento es utilizado por los peces para su crecimiento y el resto es liberado como desecho. Estos desechos se encuentran principalmente en forma de amoníaco (NH_3) y se liberan a través de las branquias y como orina o como desechos sólidos. La toxicidad del amoníaco depende del pH y de la temperatura, mientras estos dos parámetros sean más altos el amoníaco será más tóxico. En condiciones ácidas, el amoníaco se une al exceso de iones de hidrógeno y se vuelve menos tóxico, esta forma ionizada se llama amonio. Sin embargo, en condiciones básicas, no hay suficientes iones de hidrógeno y el amoníaco permanece en su estado más tóxico. Adicionalmente, recomienda que para sistemas acuapónicos que utilicen trucha se debe mantener concentraciones inferiores a 0.5 mg/litro.

2.2.10.5. Nitrito

El nitrito es tóxico para los peces del sistema acuapónico, los altos niveles de NO_2^- pueden conducir a muertes rápidas de peces incluso los niveles bajos durante un período prolongado pueden resultar en un aumento del estrés de los peces, enfermedad y muerte. Las bacterias presentes en el biofiltro deben convertir el amoníaco y el nitrito en nitrato para que pueda ser absorbido por las plantas (Somerville et al., 2022).

2.2.10.6. Nitrato

Según Somerville et al. (2022) el nitrato es menos tóxico que las otras formas de nitrógeno, los biofiltros tienen como objetivo la producción del nitrato el cual es más accesible para las plantas. Los peces pueden tolerar hasta 300 mg/litro, a diferencia de las plantas que a niveles altos (> 250 mg/litro), puede provocar un crecimiento vegetativo excesivo y una acumulación de nitratos en las hojas, lo cual sería peligroso para la salud humana. Se recomienda mantener los niveles de nitrato entre 5 y 150 mg/ litro y hacer recambios de agua cuando los niveles sean más altos.

2.2.11. Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* W.)

Desde 1874 la trucha arcoíris fue introducida en las aguas de todos los continentes para pesca deportiva y para acuicultura. En 1950 la producción creció con el desarrollo de los alimentos peletizados (FAO, 2009).

Según Pedini (1984) la introducción de la trucha arcoíris en Perú se realizó en 1925 cuando se importaron 50000 ovas embrionadas procedentes de Estados Unidos, las cuales eclosionaron en un criadero particular a orillas del río Mantaro, en la Oroya, en donde se realizaron las primeras siembras de esta especie en los ríos andinos.

La trucha tiene características particulares, tiene el cuerpo cubierto de escamas y de forma fusiforme, es ligeramente aplanada lateralmente. Es un pez carnívoro, se alimenta de presas vivas. Los ríos, lagos y lagunas de aguas frías, limpias y cristalinas son el hábitat natural de la trucha, son peces de aguas frías, pero toleran variaciones de temperaturas, pueden sobrevivir hasta los 25°C durante

varios días y también toleran límites cercanos a la congelación (Mendoza y Palomino, 2006).

2.2.12. Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

La lechuga pertenece a la familia dicotiledónea más grande del reino vegetal, Asteraceae, conocida anteriormente como Compositae, esta planta presenta una gran diversidad, destacada principalmente por sus hábitos de crecimiento, tipo de hojas y porque es de gran importancia comercial (Saavedra et al., 2017).

La Lechuga (*Lactuca sativa* L.), es una especie con mayor crecimiento anual, 4.1 %. Es una hortaliza muy consumida a nivel mundial en cualquiera de sus variedades. Se produce en las zonas más templadas y subtropicales, puede ser cultivada al aire libre, en condiciones de invernadero o en hidroponía (Saavedra et al., 2017).

2.3. Marco Legal

2.3.1. Ley N°28611 - Ley General del Ambiente

Indica que toda persona tiene derecho a un ambiente saludable y equilibrado, pero también tienen el deber de protegerlo. En el Artículo 1, Del derecho y deber fundamental, indica lo siguiente: Toda persona tiene el derecho a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; también establece el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país (MINAM, 2005).

En el Artículo VI, Del principio de prevención, nos dice: La gestión ambiental tiene como objetivos prevenir, vigilar y evitar la degradación ambiental. Cuando no se pueda eliminar las causas que la originan, se adoptan las medidas de mitigación, recuperación, restauración o eventual compensación, que correspondan país (MINAM, 2005).

2.3.2. Decreto Legislativo N° 1195 - Decreto Legislativo que aprueba la Ley General de Acuicultura.

En el Artículo 3.- En el principio de Sostenibilidad establece que: El Estado fomenta el crecimiento sostenible de la acuicultura, en armonía con la conservación de los recursos y del medio ambiente teniendo en cuenta la satisfacción de las necesidades sociales y económicas de la población promoviendo una actividad acuícola rentable y competitiva (El Peruano, 2015).

2.3.3. Resolución Ministerial N° 019-2019 PRODUCE - Protocolo para el Monitoreo de efluentes de los establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto

Busca establecer el Protocolo para el Monitoreo de Efluentes de las actividades industriales de procesamiento con destino al consumo humano directo (CHD) y al consumo humano indirecto (CHI), con la finalidad de estandarizar una metodología para realizar monitoreos de efluentes, que permita a la autoridad competente evaluar el nivel de tratamiento alcanzado de los efluentes vertidos durante el desarrollo de dichas actividades, para la vigilancia y control del cumplimiento de los LMP para efluentes, de los programas de monitoreo ambiental

aprobados y los que se actualicen en los instrumentos de gestión ambiental (PRODUCE, 2020).

2.3.4. Decreto Supremo N° 010-2018-MINAM. - Aprueban Límites Máximos Permisibles para Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto

En su Artículo 4.- Disposición de los efluentes de establecimientos industriales pesqueros, nos dice: La disposición de efluentes, se debe realizar fuera de las áreas que la Autoridad Nacional del Agua haya restringido para el establecimiento de zonas de mezcla, por sus características y fragilidad ambiental, como son ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas, áreas acuáticas destinadas a la acuicultura, áreas recreativas o de contacto primario, entre otras, con la finalidad de proteger los ecosistemas acuáticos y la salud de la población (MINAM, 2018).

2.3.5. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

En el cual se fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en el agua, que buscan garantizar la salud humana y la conservación de la calidad ambiental (MINAM, 2017).

2.3.6. Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos

La cual establece normas para el uso y manejo de los recursos hídricos, en su Artículo 79.- Vertimiento de agua residual. La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua teniendo la aprobación previa de las Autoridades Ambiental y de Salud; y cumpliendo los

Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP), está prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin previa autorización (MINAM, 2009).





CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo y Nivel de la Investigación

3.1.1. *Tipo de la Investigación*

La investigación es de tipo experimental ya que se obtuvieron datos por medio de un experimento; tiene un enfoque cuantitativo, porque se basa en muestras representativas de una determinada población, y se utiliza como herramienta estadística para analizar datos. También es una investigación aplicada, ya que busca conocer para hacer, actuar, construir y modificar; esta investigación presenta en su título una idea para responder a la problemática detectada (Valderrama, 2013).

3.1.2. *Nivel de la Investigación*

Según su naturaleza o profundidad, el nivel de la investigación es: Correlacional, ya que Hernández et al. (2010) en su libro *Metodología de la Investigación*, afirma lo siguiente:

“Los estudios correlacionales pretenden responder a preguntas de investigación, es decir, este tipo de investigaciones tiene por finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables, en un contexto particular. (p. 81)”

Los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas, y después cuantifican y analizan la relación, tales correlaciones se sustentan con hipótesis sometidas a pruebas (Valderrama, 2013).

3.2. Diseño de investigación

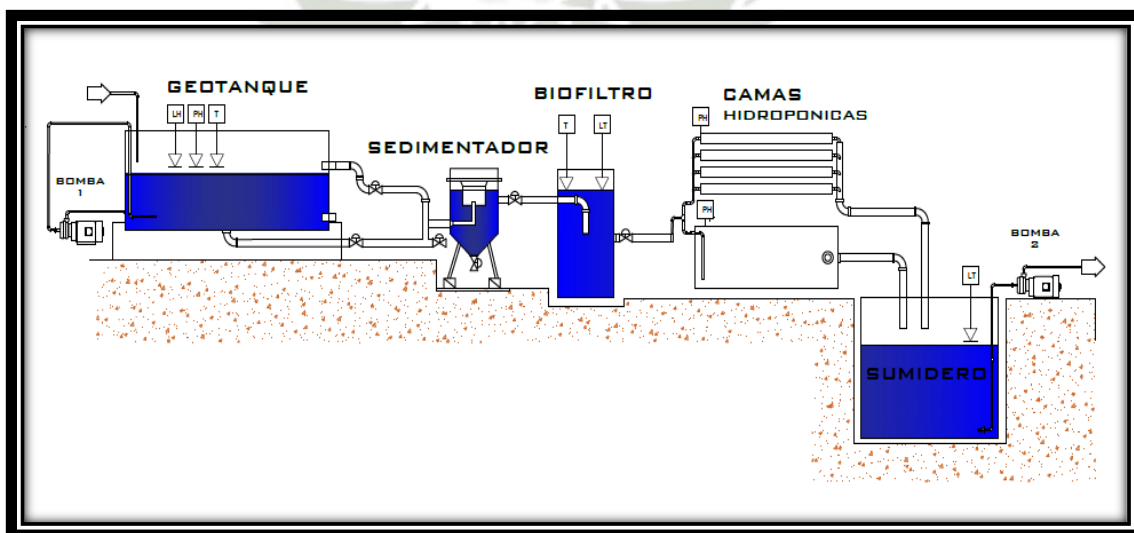
El diseño de la investigación planteo un tratamiento de aguas residuales acuícolas por medio de un sistema acuapónico, el cual es la unión de la acuicultura con la hidroponía, utilizando dos líneas: Línea 1 y Línea 2 las cuales tuvieron componentes iguales a excepción de la cantidad de peces y la forma en la que se cultivaron las bacterias nitrificantes.

Para esto, se utilizó como referencia el Manual de la FAO “Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala Cultivo integral de peces y plantas” (2022), el cual brinda una descripción exhaustiva de la acuaponía, sus componentes, métodos de cultivo, beneficios y sus principales aplicaciones.

Describiendo el comportamiento de la unidad acuapónica, el agua del geotanque de peces circula a través del sedimentador, pasa por los biofiltros, luego por el sistema hidropónico y llega al sumidero, luego el agua regresa al geotanque de peces, como se muestra en la Figura 1:

Figura 1

Diseño del Sistema Acuapónico para la Línea 1 y Línea 2



El geotankue almacena los peces, el sedimentador se encarga de la separación de sólidos sedimentables y sólidos suspendidos, los biofiltros proveen un lugar donde las bacterias convierten amoníaco en nitratos que asimilan las plantas y el sumidero sirve como contenedor de agua para tener referencia del nivel de este.

El balance adecuado del sistema permite que los peces, plantas y bacterias vivan simbióticamente y tengan un crecimiento saludable (Somerville et al., 2022).

Para la circulación del agua, se utilizó dos bombas, una bomba de oxigenación sumergible en el geotankue de peces y una bomba después del sumidero, para la recirculación del agua, adicionalmente una bomba de pecera que oxigeno el sistema hidropónico Raíz Flotante.

También se colocó un tablero de control donde se automatizo el tiempo de recirculación del agua y el tiempo de descanso de cada bomba, en la Figura 2, se muestra la distribución de cada bomba y del tablero de control; y en la tabla 1 se observa las variables de estudio y sus indicadores.

Figura 2

Diagrama de bloques del Sistema Acuapónico automatizado para la Línea 1 y Línea 2

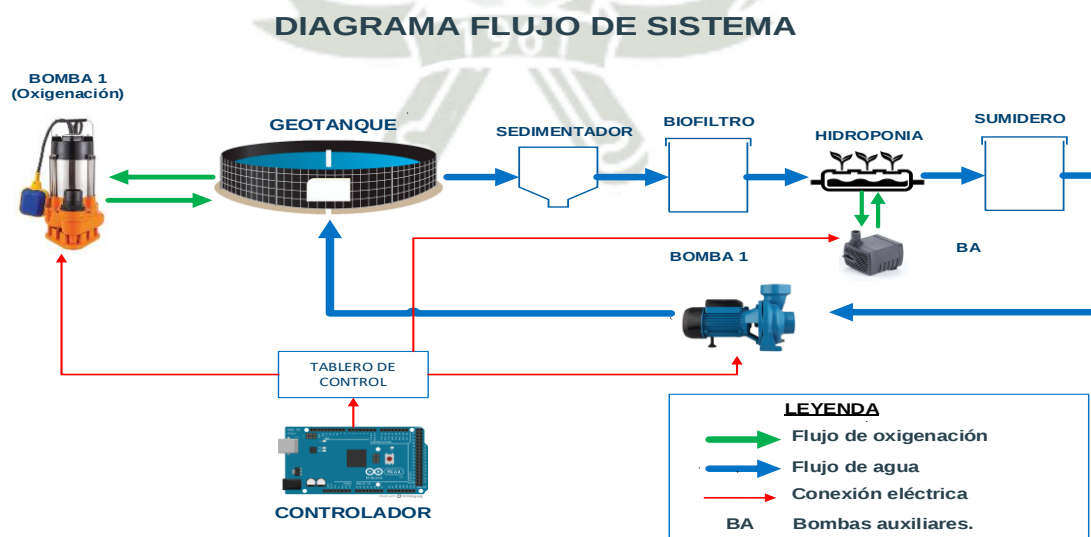


Tabla 1
Variables de la investigación

	VARIABLES	INDICADORES	UNIDADES
INDEPENDIENTE	Especie animal utilizada en el sistema acuapónico	Trucha Arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i> W.)	# de individuos
	Especie vegetal utilizada en el sistema hidropónico	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	# de individuos
	Especie vegetal utilizada en los biofiltros	Cala (<i>Zantedeschia aethiopica</i>)	# de individuos
	Materia Orgánica introducida en los biofiltros	Estiércol de Vaca	L
DEPENDIENTE		Concentración de amonio	mg/L
		Concentración de Nitritos	mg/L
		Concentración de Nitratos	mg/L
	Calidad del agua tratada	Concentración de Oxígeno Disuelto	mg/L
		DBO	mg/L
		pH	-
		Temperatura	°C

3.3. Método de Análisis Estadístico

Se realizará un Análisis Exploratorio de Datos (EDA), viendo el comportamiento de los siguientes parámetros antes mencionados, el EDA es una forma de analizar datos observando números y gráficos, en donde se puede obtener un patrón a través del tratamiento de las muestras recogidas en la investigación (Grande, 2021).

3.4. Área de estudio

La presente investigación, Evaluación de un Sistema Acuapónico automatizado como una alternativa del tratamiento de aguas residuales acuícolas y producción, se llevó a cabo en un espacio del Vivero de la Universidad Católica de Santa María, a una elevación de 2255 m.s.n.m., ubicado en la Av. Fernandini 123 – Sachaca, en esta zona se

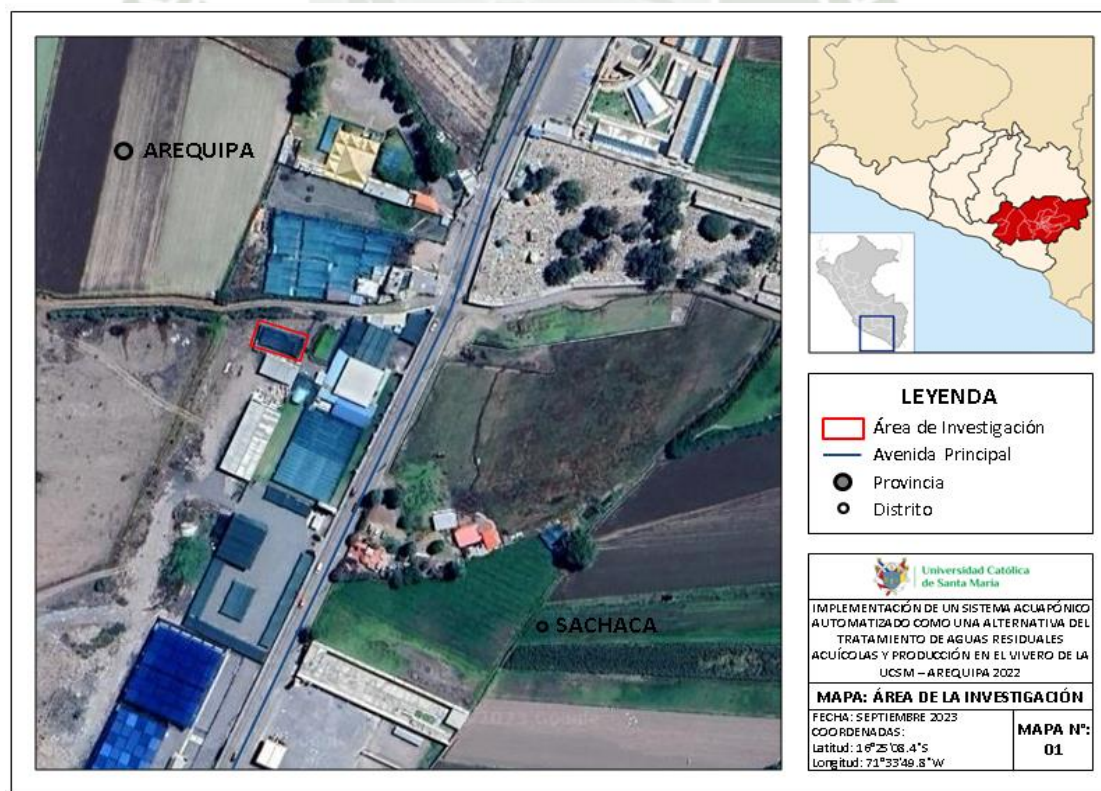
llevó a cabo la construcción, montaje, crianza, cultivo, cosecha, toma de muestra y monitoreo de parámetros de la unidad acuapónica.

Ubicación Política:

- Departamento: Arequipa
- Región: Arequipa
- Provincia: Arequipa
- Distrito: Sachaca
- Ubicación Geográfica:
 - Latitud: 16°25'08.4"S
 - Longitud: 71°33'49.8"W

Figura 3

Ubicación del Sistema Acuapónico



3.5. Materiales y Equipos

3.5.1. *Materiales*

- Malla Raschel
- Puntales de madera
- Dos tanques de Geo membrana de 1mm de espesor
- Dos sedimentadores de flujo radial de fibra de vidrio
- Seis bidones de plástico de 120L
- Tubos de ½”, 1”, 2” y 3”
- Conectores de PVC en T
- Codos de 2” y ½”
- Llaves de paso de PVC para irrigación
- Dos camas de madera para el sistema raíz flotante de 2.85m de largo y 1.30m de ancho
- Seis planchas de poliestireno de 0.80cm X 1.20cm
- Canastillas para hidroponía de 2”
- Vasos de plástico
- Dos Sistema de tuberías NFT de 2”
- Dos bombas autocebantes de 1HP
- Dos bombas sumergibles para pozo séptico de 0.75 HP
- Dos recipientes de plástico de 1000 L (chavos de agua)
- Mangueras de ½”
- Uniones de ½”
- Dos bases para Tanque de Agua (plataformas de metal para geotanques)

- Piedras canto rodado de 5 a 10cm, de 3 a 5cm y de 1 a 2cm
- Rollo de manguera de polietileno de 18mm,
- Cinta teflón.

3.5.2. *Equipos y Herramientas*

- Multiparámetro HANNA HI98194
- Kit API Freshwater Master Test
- Balanza electrónica
- Taladro Atornillador Profesional 12 V, marca Bosch
- Herramientas Manuales: Alicates, Destornilladores, Llave francesa, Llave Stilson, Martillo de goma, Cierre, Flexómetro.
- Sierra de Calar
- Esmeril Angular
- Tablero eléctrico: RTC ds3231, Shield ethernet W5100, Arduino MEGA 2560 y MPX5010DP sensor de presión diferencial
- Generador eléctrico

3.5.3. *Insumos*

- Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* W.)
- Lechuga (*Lactuca sativa* L.)
- Cala (*Zantedeschia aethiopica*)
- Estiércol de vaca
- Alimento para trucha: Crecimiento 1, crecimiento 2 y engorde.

3.6. Recolección de Datos

La recolección de datos de calidad de agua inicio cuando los peces ingresaron al sistema, ya que ellos influyen de forma directa en la concentración de la gran mayoría de los parámetros del agua.

Las mediciones de OD, pH y T° se realizaron en el Geotanque, a la salida de los biofiltros y en el sumidero dos veces al día de forma diaria con ayuda del Multiparámetro HANNA HI98194.

El Amonio, Nitrito, Nitrato se midieron en el Geotanque y a la salida de los biofiltros de forma interdiaria con el Kit API Freshwater Master Test; estos datos se colocaron en una hoja de Excel para su análisis e interpretación.

3.7. Descripción Operacional

3.7.1. Implementación de los componentes del sistema acuapónico automatizado

3.7.1.1. Acondicionamiento del Terreno.

En la Figura 4 se muestra el terreno en el cual se construyó el Sistema Acuapónico, inicialmente se encontraba lleno de hojarasca y vegetación.

Figura 4

Terreno donde se construyó el Sistema Acuapónico



Se inició con la medición del terreno y la delimitación de este, se tomó un área de 6m de ancho por 16m de largo, al cual se le colocó malla Raschel al 65% de color negro/verde para controlar la cantidad de luz en los cultivos, proteger el sistema contra cierto tipo de insectos, lluvias, viento, polvo, etc.

Además, según el estudio de Pérez (2018) la malla raschel negro/verde de 65% de porosidad, provoca los mayores incrementos de peso total, peso foliar, peso radicular, número de hojas y área foliar de las plantas de *Lactuca sativa. L.* durante la estación de verano.

Figura 5

Malla Raschel al 65% negro/verde para el Sistema Acuapónico



Asimismo, se construyó un cerco de metal alrededor de todo el sistema acuapónico, para tener mayor seguridad y control.

Figura 6

Cerco de Metal para delimitar el Sistema Acuapónico

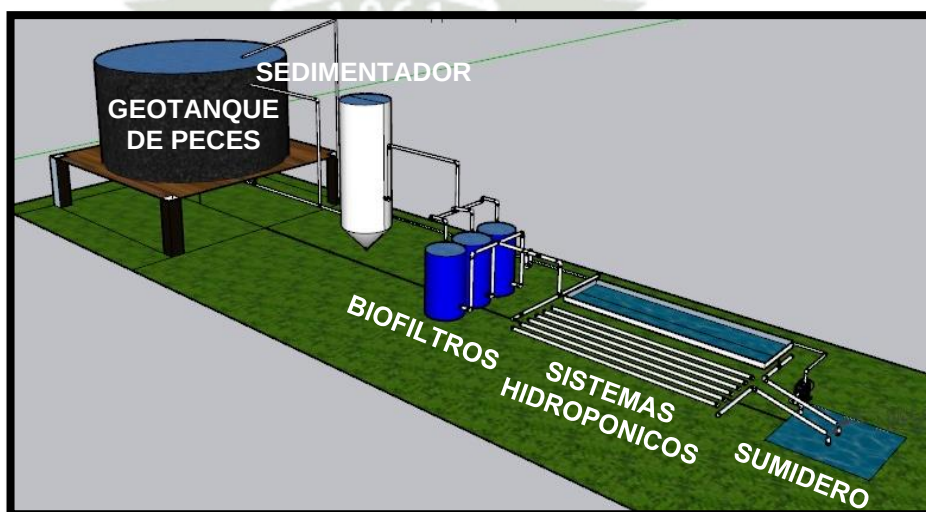


3.7.1.2. Implementación del Sistema Acuapónico.

Para la implementación y montaje de los componentes del Sistema Acuapónico se realizó los cálculos con ayuda del Manual de la FAO “Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala Cultivo integral de peces y plantas” (2022), bajo este criterio la conformación del sistema se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Componentes del Sistema Acuapónico



3.7.1.2.1. *Geotanque de Peces.*

Los geotanques están fabricados con geomembrana de HDPE, lo que evita la acción de los rayos UV sobre estos, fueron fabricados mediante el proceso de extrusión por soplado y se utilizó una malla galvanizada para darle soporte a los geotanques.

Figura 8

Geotanque de HDPE



Tienen 1mm de espesor, una altura de 1m, un diámetro de 1.5m y en el fondo un orificio con una contratuerca de 2" para trasladar el agua a los demás componentes, tiene un volumen de agua de:

$$V_{geo} = \pi \times R^2 \times h$$

$$V_{geo} = \pi \times 0.75^2 \times 1$$

$$V_{geo} = 1.7671m^3$$

Para lo cual tenemos 1.7671 metros cúbicos de agua.

Los geotanques se colocaron sobre una superficie de metal de 0.80m de alto, esto para que el agua caiga por gravedad a los demás componentes, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Colocación del Geotanque en base de metal



Dentro de los Geotanques se colocó una bomba sumergible de 0.75HP como oxigenador, estas adaptadas a un tablero eléctrico. Junto con las bombas se colocaron en la Línea 1: 60 individuos de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* W.) de Ovas Españolas y en la Línea 2: 25 individuos de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* W.) de Ovas Americanas.

Figura 10

Bomba Sumergible de 0.75 HP



3.7.1.2.2. Sedimentador.

El sedimentador es una tecnología diseñada para eliminar sólidos suspendidos, el flujo bajo en un sedimentador permite que las partículas sedimentables se hundan, mientras que las partículas con menos peso floten hacia la superficie (Tilley et al., 2018).

El sedimentador fue tomado de la siguiente investigación: “Eliminación de sólidos de un sistema de recirculación de agua fría: comparación de un separador de remolino y un sedimentador de flujo radial” en el cual se determina que el sedimentador de flujo radial es más eficiente para la remoción de los Sólidos sedimentables (Davidson y Summerfelt, 2005).

Dentro de cada sedimentador está un cilindro de "amortiguación de turbulencias", el agua que ingresa al centro del sedimentador fluye hacia afuera (en la dirección radial del recipiente). El flujo radial que se aleja del centro del sedimentador produce una velocidad del agua que disminuye progresivamente a lo largo de la trayectoria de sedimentación. Además, la circunferencia de los recipientes produce una longitud de vertedero de salida sustancial, que puede proporcionar una tasa de carga del vertedero relativamente baja, el diseño del punto de inyección de flujo dentro del centro del sedimentador de flujo radial es fundamental para amortiguar la turbulencia creada por la inyección de flujo en el centro del sedimentador (Davidson & Summerfelt, 2005).

Figura 11

Cilindro de amortiguación de turbulencias del Sedimentador



Las dimensiones de los sedimentadores son: 60cm de diámetro, una altura de 1m en la parte cilíndrica y 34.53cm de altura en la parte cónica y un diámetro en la parte cónica de 2", estas medidas están de acuerdo a las demás medidas del sistema acuapónico.

$$H_{se1} = 1m ; H_{se2} = 0.3453m ; R_{se2} = 0.3m$$

$$V_{se} = \pi \times H_{se1} + \frac{1}{3} \pi \times R_{se2}^2 \times H_{se} = 0.377m^3$$

$$V_{se} = 376.991 L$$

$$Q = \frac{V_{se} \times 1hr}{0.422 \times hr \times 3600 \times s} = (2.482 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Caudal de diseño: } Q = 14.889 \frac{L}{min}$$

Viscosidad Cinematica (η)

$$= 1.023 \times 10^{-2}, \text{ para caudal de diseño } 20 \text{ lpm}$$

$$\eta = 1.0105 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s}$$

Figura 12

Sedimentador de Flujo Radial



3.7.1.2.3. Biofiltros.

Se utilizó 3 bidones de plástico en paralelo por cada Línea que actuaron como filtros biológicos tradicionales, conformados por piedra canto rodado de diferentes tamaños, se colocaron 3 capas: la primera capa con una altura de 0.1 m con piedra de entre 50-100 mm, la segunda capa con una altura de 0.4 m llevo piedras de entre 30-50 mm y por último la tercera capa de 0.2 m de altura que llevo piedras entre 10-20 mm. Entre cada capa se colocó una malla la cual evito que se mezclen las capas (Konnerup et al., 2011).

Figura 13

Filtro Biológico Tradicional conformado por piedras

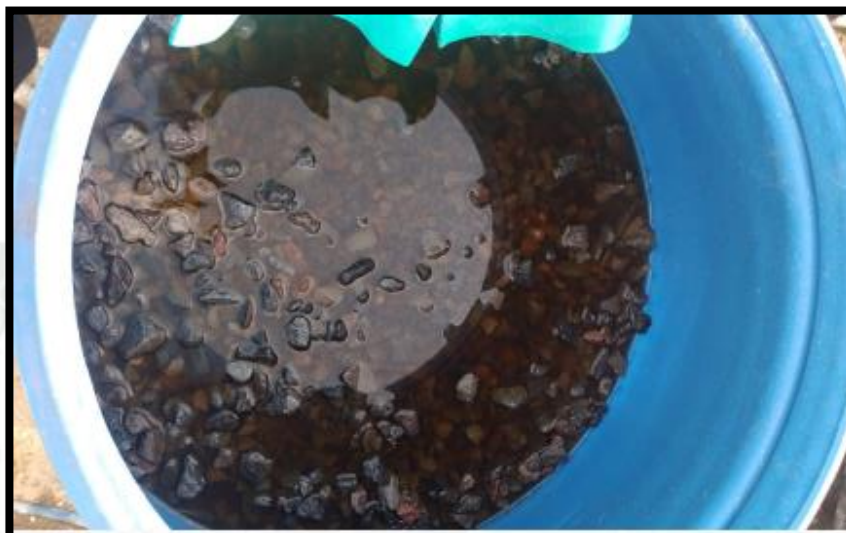


Figura 14

Contenedores de plástico que actuaron como biofiltros



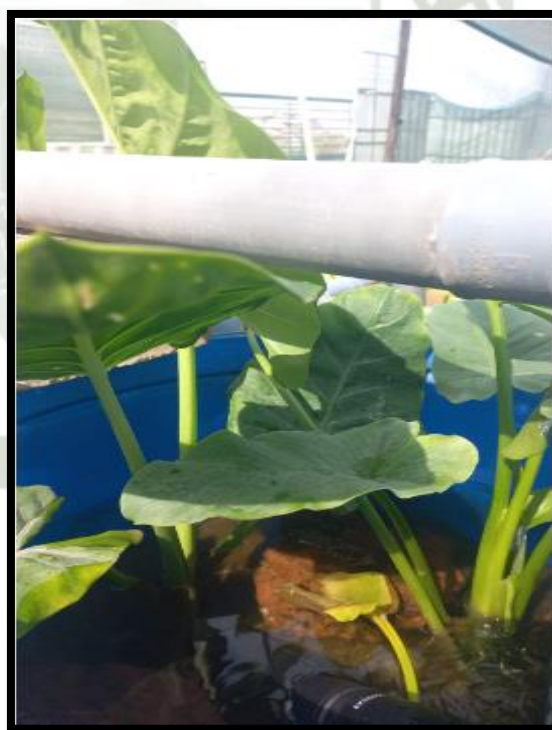
Los biofiltros contenían bacterias nitrificantes las cuales transformaron el amonio en nitrito, NO_2^- , y luego en nitrato, NO_3^- , en la Línea 1, se cultivaron las bacterias por medio de la adición de estiércol de

vaca cernido disuelto en agua durante 15 días, mientras que en la Línea 2, las bacterias se cultivaron de forma natural.

Asimismo, en cada biofiltro se colocó de 3 a 5 calas (*Zantedeschia aethiopica*), las cuales han sido utilizadas en su mayoría en sistemas subsuperficiales acuáticos por lo que es considerada una buena especie como planta emergente en pantanos de flujo horizontal, pues mejora la eficiencia de remoción de contaminantes y es estéticamente más agradable como método de fitorremediación (Gualli & Mena, 2017).

Figura 15

Calas (Zantedeschia aethiopica)



3.7.1.2.4. Sistema Hidropónico.

Se desarrolló el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) utilizando la metodología de raíz flotante y NFT en cada Línea.

Figura 16

Sistema NFT y Sistema Raíz Flotante



Se utilizaron tres variedades de lechuga: *Lactuca sativa* var. *Dancing*, *Lactuca sativa* var. *Caipira* y *Lactuca sativa* var. *Lollo Rossa*, las cuales fueron distribuidas de forma aleatoria.

Se inició con la germinación de las lechugas en bandejas de germinación que contenían 200 celdas, se utilizó 50% de fibra de coco y 50% de turba para obtener un mejor desarrollo de las raíces, se abrieron pequeños orificios en el sustrato de cada celda y se depositó una semilla en cada celda, posterior a esto las lechugas fueron instaladas durante 30 días en un invernadero ubicado dentro del Vivero de la UCSM y regadas de forma interdiaria lo cual garantizo un óptimo desarrollo de la plántula. Cuando las lechugas tuvieron entre 4 o 5 hojas verdaderas, fueron trasplantadas de forma aleatoria a los sistemas hidropónicos, se utilizaron canastillas de hidroponía

y vasos de plástico sin base para colocar las plántulas de las lechugas las cuales estuvieron con las raíces envueltas en esponja y dejándola expuesta en la parte inferior, luego se ubicaron en cada orificio de los tubos del Sistema NFT y en cada orificio del poliestireno del Sistema Raíz Flotante, de modo que el agua de los geotanques humedezca la raíz constantemente.

Figura 17

Germinación de la lechuga



Figura 18

Plántula de Lechuga



Figura 19

Canastillas de hidroponía



Figura 20

Lechugas trasplantadas al Sistema NFT y Raíz Flotante



Se colocaron 72 plántulas de lechuga en el sistema NFT y 72 plántulas de lechuga en el sistema raíz flotante por cada Línea según el dimensionamiento de este sistema (Somerville et al., 2022). La biometría de *L. sativa* “lechuga” se realizó quincenalmente, registrando la altura de la planta, número de hojas y longitud de raíz usando una cinta métrica (Moreno y Zafra, 2014).

3.7.1.2.5. Sumidero.

Al ser un sistema en gravedad por naturaleza, se instaló un sumidero como una zona de almacenamiento de agua residual del sistema que luego del tratamiento volvió a recircular con ayuda de las bombas.

Figura 21

Sumidero del Sistema Acuapónico



3.7.1.3. Tratamiento de Agua Potable

El agua utilizada para el sistema fue agua potable del Vivero de la UCSM, la cual fue declorada naturalmente, se colocó el agua en un recipiente de 1000 Litros (chavo) y se dejó durante 24 horas para que el cloro pueda evaporarse y tengamos un agua libre de cloro, mientras más tiempo se deja reposar el agua menos cloro tendrá, todo esto para no generar mortandad en el geotanque de peces.

Figura 22

Contenedor de agua potable



3.7.1.4. Automatización del Sistema Acuapónico

Para que el sistema recircule constantemente se realizó una programación de las bombas desarrolladas entorno a micro controladores de bajo costo como es el Arduino Mega como eje principal del sistema y la tarjeta STM32 que es una placa desarrollo llamada Blue Pill (Gómez, 2019).

Figura 23

Tablero Eléctrico



Parte de la automatización fue la colocación de bombas de oxigenación y bombas de recirculación en cada Línea. El uso de bombas de agua es determinante para este sistema puesto que el oxígeno que contiene el agua es impulsado a través de ella.

Por ello se colocó una bomba sumergible de 0.7HP dentro de cada geotanque para que esta brinde el oxígeno necesario a los peces como se muestra en la Figura 10.

En el sistema hidropónico Raíz Flotante de la Línea 1 y Línea 2 se automatizo una bomba de pecera la cual ayudo a la aireación del sistema permitiendo la mejor redistribución de los elementos nutritivos.

Figura 24

Bomba de pecera en el Sistema Raíz Flotante



También se colocó al final de los sistemas hidropónicos de cada Línea, una bomba periférica, la cual se encargó de la recirculación del sistema.

Figura 25

Soporte del Ing. Electrónico Eduardo Z. para la instalación de bombas



Las cuatro bombas, dos de oxigenación y dos de recirculación estuvieron programadas para que se apaguen por 1 hora y 15 minutos respectivamente, con el fin de alargar su tiempo de vida.

Después de realizar la automatización se probó la recirculación del sistema sin peces, para poder calcular el tiempo de retención hidráulica de los 3 biofiltros por Línea, se utilizó la siguiente formula:

$$TRH = \frac{V \times 3}{\frac{Q}{3}}$$

Dónde: V: Volumen de agua

Q: Caudal

Cálculo del Caudal (Q):

Dónde: Tiempo de caída = 2.91s

$$Q = \frac{1L}{Tcaida}$$

$$Q = \frac{1L}{2.91s} \times \frac{60s}{1min}$$

$$Q = 20.619 \frac{L}{min}$$

Volumen de Agua (Biofiltro) (V):

Dónde: Radio (R): 27 cm

Altura (H): 68cm

$$V = \pi \times R^2 \times H$$

$$V = 3.1415 \times 27^2 \times 68$$

$$V = 155.735 L$$

Reemplazamos:

$$TRH = \frac{V \times 3}{\frac{Q}{3}}$$

$$TRH = \frac{155.735L \times 3}{\frac{20.619 \frac{L}{min}}{3} \times \frac{60min}{1hr}}$$

$$TRH = 1.133hr$$

Cuando el sistema recirculo correctamente y se obtuvo el TRH se ingresaron los peces y lechugas a cada Línea, con el fin de monitorear la calidad de agua desde el inicio hasta el final de la investigación.

3.7.2. *Evaluación de la calidad de agua, organismos vegetales e ictiológicos*

3.7.2.1. **Calidad de Agua**

Para poder controlar la calidad de agua de cada Línea se realizó un programa de monitoreo por semana con distintos puntos de monitoreo el cual se detalla en el Anexo I, en el cual se monitorearon los siguientes parámetros: Amonio, Nitrito, Nitrato. pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto; para esto se utilizó un equipo multiparámetro y un Kit de reactivos.

El equipo para monitorear el Oxígeno Disuelto, Temperatura y pH fue el multiparámetro HI98194 el cual es portátil y su registro es a prueba de agua, monitorea hasta 12 parámetros diferentes, tiene una sonda multisensor basada en microprocesador que permite la medición de los parámetros (Hanna Instruments, 2020).

Las especificaciones de los parámetros monitoreados según el multiparámetro HI98194 se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Especificaciones del Multiparámetro HANNA HI98194

TEMPERATURA	
Rango	-5.00 a 55.00 °C; 23.00 a 131.00 °F; 268.15 a 328.15 K
Resolución	0.01 °C; 0.01 °F; 0.01 K
Precisión	± 0.15 °C; ± 0.27 °F; ± 0.15 K
Calibración	Automática en 1 punto
pH/mV	
Rango	0.00 a 14.00 pH; ± 600.0 mV
Resolución	0.01 pH; 0.1 mV
Precisión	± 0.02 pH; ± 0.5mV
Calibración	Automática en 1, 2 o 3 puntos con reconocimiento automático de 5 soluciones buffer (pH 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01) y 1 buffer personalizado
OXIGENO DISUELTO	
Rango	0.0 a 500.0 %; 0.00 a 50.00 ppm (mg/L)
Resolución	0.1 %; 0.01 ppm (mg/L)
Precisión	0.0 a 300.0 %: ± 1.5 % de lectura ± 1.0 % cualquiera sea mayor;
	300.0 a 500.0 %: ± 3 % de la lectura
Precisión	0.00 a 30.00 ppm (mg/L): ± 1.5 % de la lectura o ± 0.10 ppm (mg/L) cualquiera sea mayor;
	30.00 ppm (mg/L) a 50.00 ppm (mg/L): ± 3 % de la lectura
Calibración	Automática en 1 o 2 puntos a 0.100 % o 1 punto personalizado

Nota. Adaptado de *Manual de Instrucciones HI98194, HI98195, HI98196* (p.11), por Hanna Instruments, 2020.

Figura 26

Multiparámetro HANNA HI98194



Figura 27

Medición de Parámetros con Multiparámetro HANNA HI98194



Con el Kit API Freshwater Master Test se monitorearon los siguientes parámetros: pH, Amonio, Nitrito y Nitrato, en diferentes puntos de monitoreo.

Figura 28

Medición de Parámetros con el Kit API Freshwater Master Test



El Kit API Freshwater Master Test ayuda a controlar la calidad del agua y a prevenir problemas de agua invisibles que pueden ser perjudiciales para los peces y puedan provocar su pérdida.

Figura 29

Kit API Freshwater Master Test



En la Figura 30 se muestra el contenido del Kit, contiene 800 pruebas e incluye 7 soluciones de prueba, 4 tubos de ensayo con tapas herméticas y un folleto de instrucciones paso a paso con una tabla de colores que brinda información sobre cada parámetro.

Figura 30
Materiales del Kit API Freshwater Master Test


De acuerdo al manual, cada parámetro tiene sus instrucciones de uso, las cuales se detallan en el Anexo VII.

Para determinar el valor de cada parámetro se comparó el color obtenido en la prueba con los colores de la tarjeta de referencia que contiene en el Kit.

3.7.2.2. Especies Animales y Vegetales

Los sistemas acuapónicos tienen la facilidad de poder utilizar diversas especies de plantas y de peces, pero, si se desea lograr un correcto funcionamiento de dicho sistema se debe conocer y determinar a las especies adecuadas que puedan sobrevivir en espacios cerrados. Adicionalmente, se debe priorizar factores como la alimentación, producción, crecimiento, calidad de agua y que sea auto sostenible en el tiempo; por último, se debe buscar que haya una interrelación entre pez - planta y considerar que tengan requerimientos similares en cuanto a calidad de agua, lo cual permite obtener mejores resultados (Callejas y Pulgarín, 2021).

3.7.2.3. Crecimiento de peces, alimentación y composición de los alimentos

Los peces se insertaron al sistema cuando se encontraban en etapa juvenil, cuando median entre 12 cm a 17 cm y pesaban en promedio 68g, es por eso que se les suministro el alimento balanceado tipo Crecimiento 1 y 2 durante 2 meses 4 veces al día de la marca Challwa Feed. Pasados 2 meses los peces estaban en la

etapa adulta por ello se les suministro el alimento balanceado tipo Engorde, 2 veces al día, igualmente de la marca Challwa Feed.

Para calcular la ración diaria se utilizó la tabla 3 y se siguieron los siguientes pasos en la etapa juvenil y en la etapa adulta.

Tabla 3

Tabla de alimentación para truchas

TIPO DE ALIMENTO	PESO UNITARIO (g)	TALLA (cm)	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)					
			8	10	12	14	16	18
Crecimiento 1 (3 mm)	29	13	1.30	1.86	2.37	2.90	3.00	2.68
	35	14	1.29	1.80	2.31	2.82	2.92	2.61
	43	15	1.20	1.68	2.16	2.93	2.73	2.43
	50	16	1.13	1.57	2.02	2.46	2.56	2.28
	62	17	1.06	1.48	1.89	2.32	2.40	2.15
Crecimiento 2 (4 mm)	72	18	0.90	1.39	1.78	2.18	2.26	2.02
	92	19	0.94	1.32	1.69	2.07	2.14	1.90
	100	20	0.89	1.25	1.60	1.96	2.03	1.81
	124	21	0.85	1.19	1.53	1.86	1.93	1.72
	143	22	0.81	1.13	1.46	1.78	1.84	1.65
Engorde (6, 8, 12 mm)	153	23	0.78	1.08	1.46	1.70	1.76	1.57
	172	24	0.75	1.04	1.34	1.63	1.69	1.51
	200	25	0.62	1.00	1.28	1.56	1.62	1.45
	231	26	0.69	0.96	1.24	1.50	1.56	1.39
	261	27	0.66	0.92	1.19	1.45	1.50	1.34
	307	28	0.64	0.89	1.15	1.40	1.45	1.30
	333	29	0.62	0.86	1.10	1.35	1.40	1.25
	355	30	0.60	0.83	1.06	1.30	1.35	1.21
	382	31	0.58	0.80	1.03	1.26	1.31	1.16
	417	32	0.56	0.78	1.00	1.22	1.27	1.12

Nota. Adaptado de *Alimento balanceado para animales CHALLWA FEED*, por Avikaman, 2020.

Paso 1: Calcular Biomasa

Peso Promedio de peces = 68 g = 0.068 Kg

Cantidad de Peces = 60 peces

$$60 \text{ peces} \times 0.068 \text{ Kg} = 4.08 \text{ Kg}$$

La cantidad de peces de cultivo inicial es de 4.08 Kg

Paso 2: Escoger el alimento correcto

Para peces de 68 gramos según la Tabla de Alimentación se debe emplear el alimento Crecimiento 1.

Paso 3: Encontrar la dosificación de alimento

La temperatura del agua es un factor importante para el cálculo de la alimentación y debe controlarse frecuentemente. Se tuvo una temperatura inicial de 18°C, para esta se obtiene un porcentaje de dosificación de alimento de 2.15 %.

Paso 4: Calcular la cantidad de alimento diario

$$4.08 \text{ Kg} \times 2.15\%$$

$$0.08772 \text{ Kg} = 87.72 \text{ g}$$

Esta es la cantidad de alimento que deben recibir los peces de cultivo en un día. Esta ración debe ser dividida, en 3 o 4 para el caso de Crecimiento, en 2 raciones para el caso de Engorde.

Estos cálculos se hicieron para ambas líneas y de acuerdo a los resultados se elaboró un Cronograma de alimentación, el cual se detalla en el Anexo II.

Las características nutricionales del alimento Challwa Feed se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Características nutricionales del Alimento CHALLWA FEED.

NUTRIENTES	CRECIMIENTO 1 Y 2	ENGORDE
% Proteína, min.	42	40
% Grasa, min.	10	14
%Fibra, min.	3.5	3.5
% Calcio, min.	1.5	1.5
% Fosforo, min.	1.0	1.0
% Ceniza, máx.	12	12
% Humedad, máx.	10.0	10.0
Energía Digestible (Mal/Kg), min.	3,400	3,400

Nota. Adaptado de *Alimento balanceado para animales CHALLWA FEED*, por Avikaman, 2020.

3.7.3. *Análisis Exploratorio de Datos (EDA)*

Durante la investigación, los datos obtenidos en el monitoreo se colocaron en una hoja de Excel, al culminar la investigación se limpiaron los datos para realizar de forma correcta el análisis.

Al tener los datos limpios, se utilizó el programa RStudio para realizar el Análisis Exploratorio de Datos (EDA) y luego su interpretación por medio de diagramas.



CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Implementación de los componentes del sistema acuapónico automatizado

Gracias al Manual de la FAO “Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala Cultivo integral de peces y plantas” y demás estado del arte, se logró diseñar e implementar todos los componentes del Sistema Acuapónico, los cuales funcionaron correctamente y gracias a ello se obtuvieron resultados favorables en cuanto a calidad de agua, peces y vegetales para el dimensionamiento del sistema.

Figura 31

Sistema Acuapónico Automatizado



Asimismo, la Automatización del Sistema acuapónico se comportó según lo esperado, las cuatro bombas, dos de oxigenación y dos de recirculación estuvieron programadas para que se apaguen por 1 hora y 15 minutos respectivamente, con la finalidad de alargar su tiempo de vida y de que el TRH de los biofiltros sea el correcto para que las bacterias nitrificantes realicen la conversión óptima de amoníaco a nitratos.

4.2. Evaluación de la calidad de agua, organismos vegetales e ictiológicos a través de un programa de monitoreo.

4.2.1. *Especie Animal*

Inicialmente la trucha arcoíris ingreso al sistema en una etapa juvenil, teniendo un peso promedio de 68 gramos y una longitud de 12 a 17 cm, de acuerdo a la Tabla de Alimentación del alimento Challwa Feed se le suministro en esa etapa 87.72 g del alimento Crecimiento 1 de 3 o 4 raciones diarias.

Figura 32

Truchas en etapa juvenil en el geotanque



Al finalizar la investigación se realizó la biometría de la trucha arcoíris en cada Línea, se midió la longitud y el peso, los resultados de las medidas se muestran en el Anexo III.

En la Línea 1, las truchas alcanzaron un peso promedio de 160.72 gramos y una longitud de 25.54 cm a diferencia de la Línea 2, la cual tuvo un peso promedio de 292.38 gramos y una longitud de 26.88 cm de acuerdo al dimensionamiento del sistema.

Según Álvarez et al. (2016) la etapa de cosecha de la trucha arcoíris es a partir de 26,0 cm. y entre 250 g. a 350 g. de peso unitario, según esta información los peces de la Línea 2 estuvieron listos para la cosecha a diferencia de los peces de la Línea 1, los cuales no tenían el peso ideal para la cosecha.

Figura 33

Pesado de las truchas



4.2.2. Especie vegetal

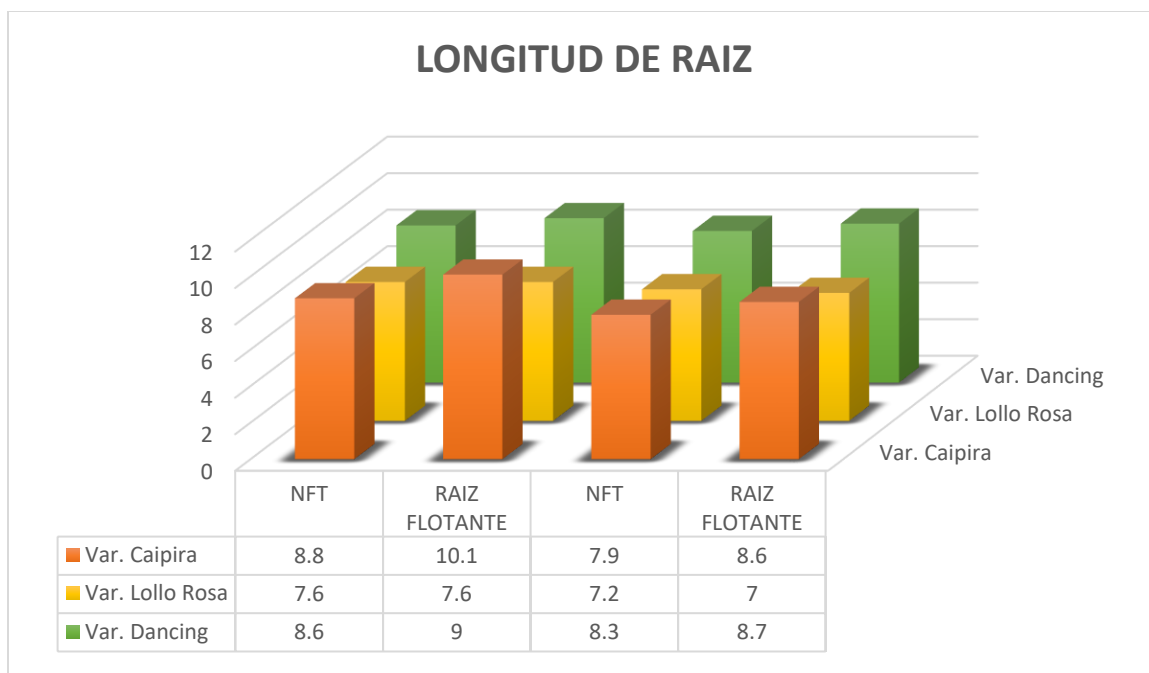
Al tener tres variedades de lechuga, se realizaron las evaluaciones quincenalmente, registrando la altura de la planta, número de hojas y longitud de raíz utilizando una cinta métrica, se realizó una comparación de medias a nivel de la Línea 1 y la Línea 2, también del Sistema NFT y del Sistema Raíz Flotante, se muestran en las

siguientes figuras los datos obtenidos a los 7 días del trasplante y en la cosecha de las lechugas.

A los 7 días:

Figura 34

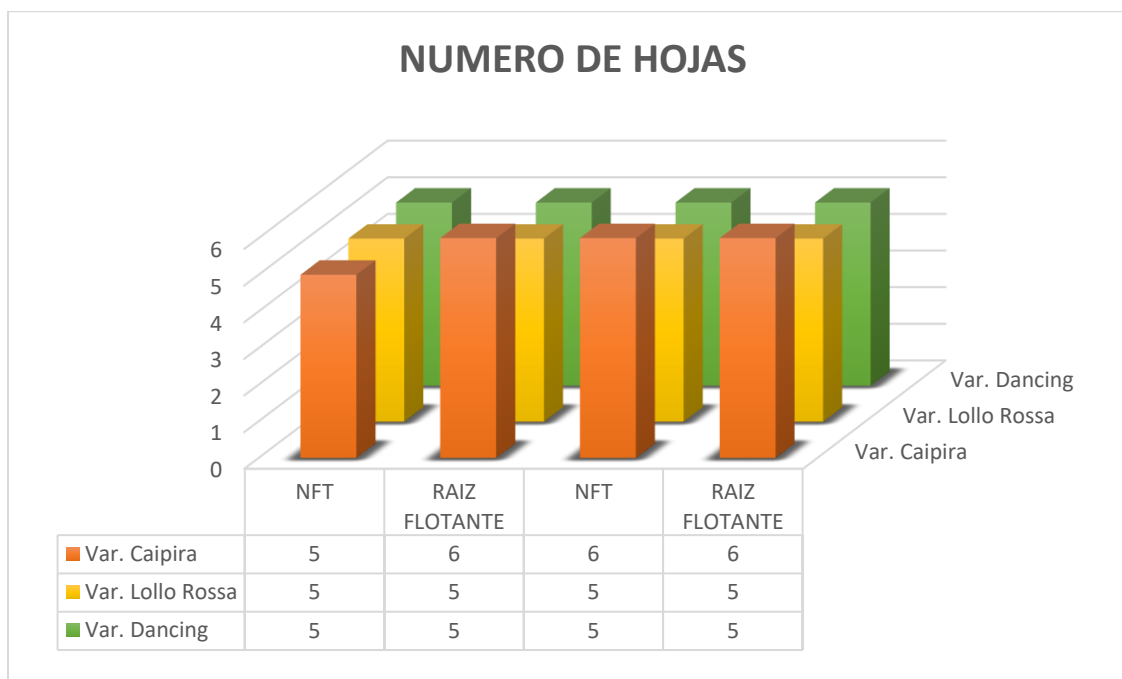
Longitud de raíz de las lechugas a los 7 días



A los 7 días, las lechugas estaban aclimatándose al agua proveniente del geotanque de peces y a la temperatura del ambiente, en los Sistemas NFT y Raíz Flotante de la Línea 1, la Var. Caipira tuvo en promedio mayor longitud de raíz a diferencia de la Var. Lollo Rosa y la Var. Dancing tal como se muestra en la figura. La Var. Lollo Rosa en el Sistema NFT y en el Sistema Raíz Flotante de ambas líneas tuvo en promedio 7.6 cm de longitud de raíz, siendo las de menor longitud. En cuanto a la Var. Dancing fue en promedio la que tuvo mayor longitud de raíz en la línea 2.

Figura 35

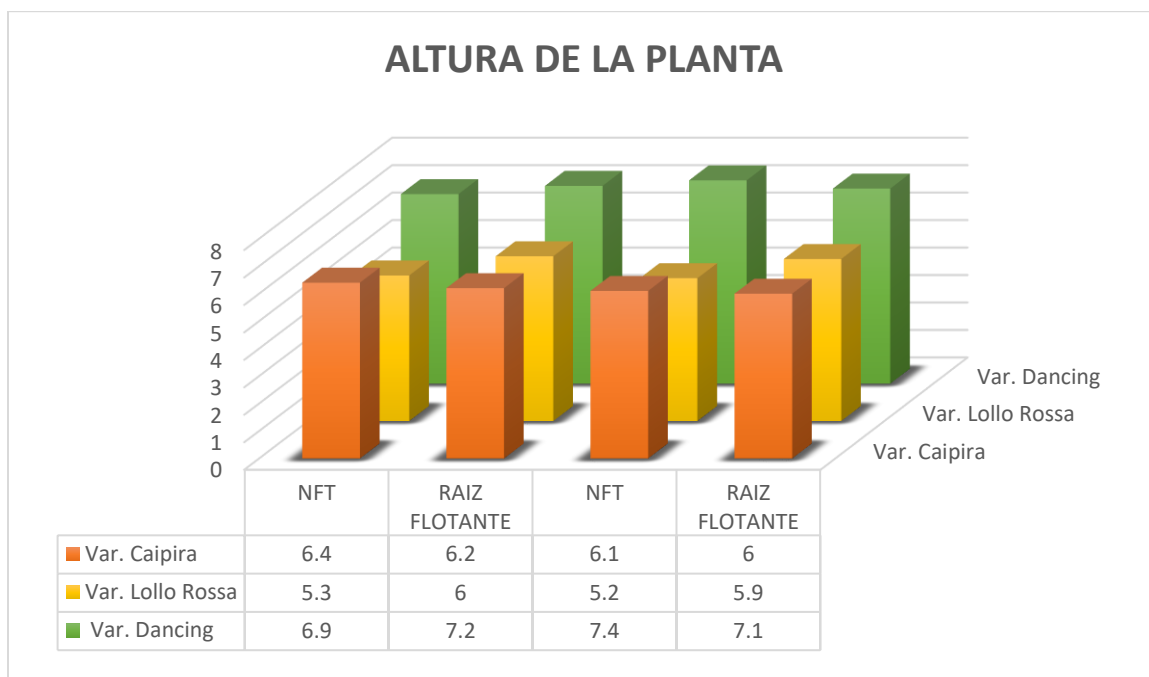
Número de hojas de las lechugas a los 7 días



En cuanto al número de hojas, en el Sistema NFT la Var. Caipira tuvo en promedio 6 hojas por lechuga en el Sistema Raíz Flotante y en el Sistema NFT de ambas líneas, siendo a los 7 días la variedad con mayor número de hojas, a diferencia de las Var. Lollo Rosa y la Var. Dancing que en ambas líneas tuvieron en promedio 5 hojas por lechuga.

Figura 36

Altura de las lechugas a los 7 días

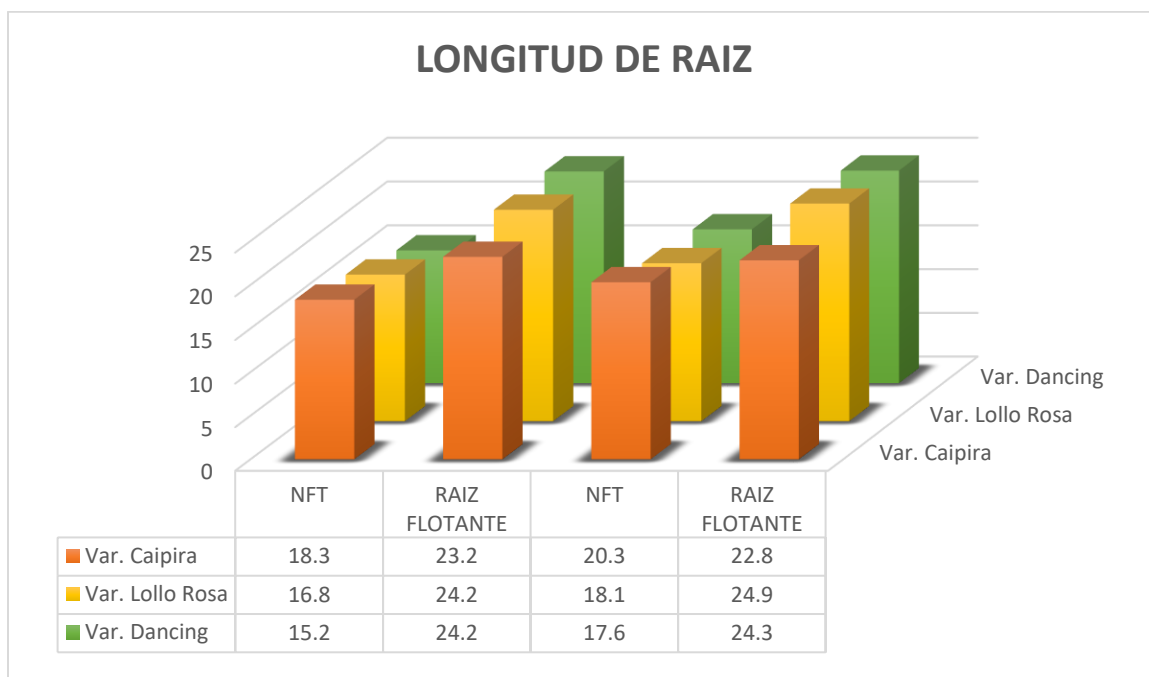


En la Línea 1 y 2 la Var. Dancing tuvo en promedio mayor altura en ambos sistemas, la Var. Caipira tuvo en promedio una altura de 6cm en ambas líneas y en ambos sistemas, a diferencia de la Var. Lollo Rossa que tuvo mayor altura en el Sistema Raíz Flotante de ambas Líneas.

A los 45 días:

Figura 37

Longitud de raíz de las lechugas a los 45 días

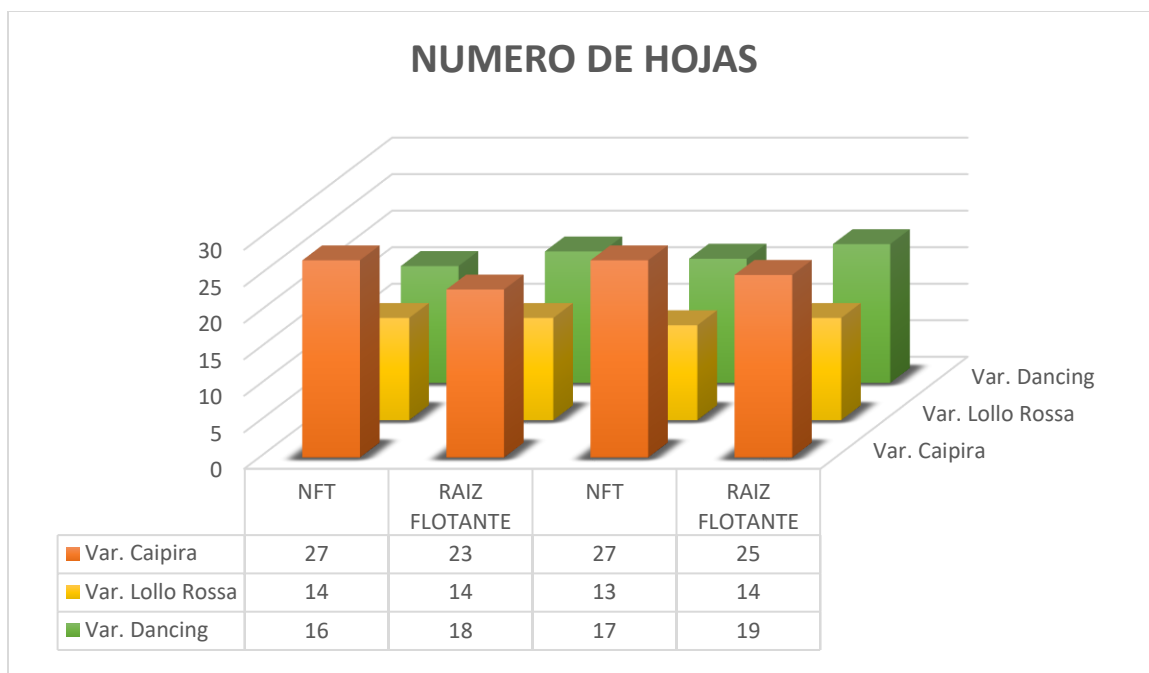


A los 45 días, se realizó la última medición, haciendo una comparación entre Sistemas Hidropónicos se observó que las lechugas de los Sistemas Raíz Flotante tuvieron mayor longitud de raíz, alcanzando 24.9 cm, a diferencia de las lechugas de los Sistemas NFT, que alcanzaron 20.3 cm, se observa una diferencia significativa, esto debido a que se colocaron bombas de oxigenación en las camas del Sistema Raíz Flotante lo cual proporciona mayor oxigenación y permitió la mejor redistribución de los elementos nutritivos, también las raíces se encontraban sumergidas por completo lo cual hizo que tengan mejor desarrollo en cuanto a la longitud de raíz utilizando el efluente de la Trucha Arcoíris en un Sistema Acuapónico. Así como, Meza (2018) quien determinó que la técnica de cultivo Raíz flotante mostro mayor predominio en longitud de raíz con un 30.55 cm, frente

a las demás técnicas de cultivo hidropónico utilizando el efluente de tilapia en un sistema Acuapónico.

Figura 38

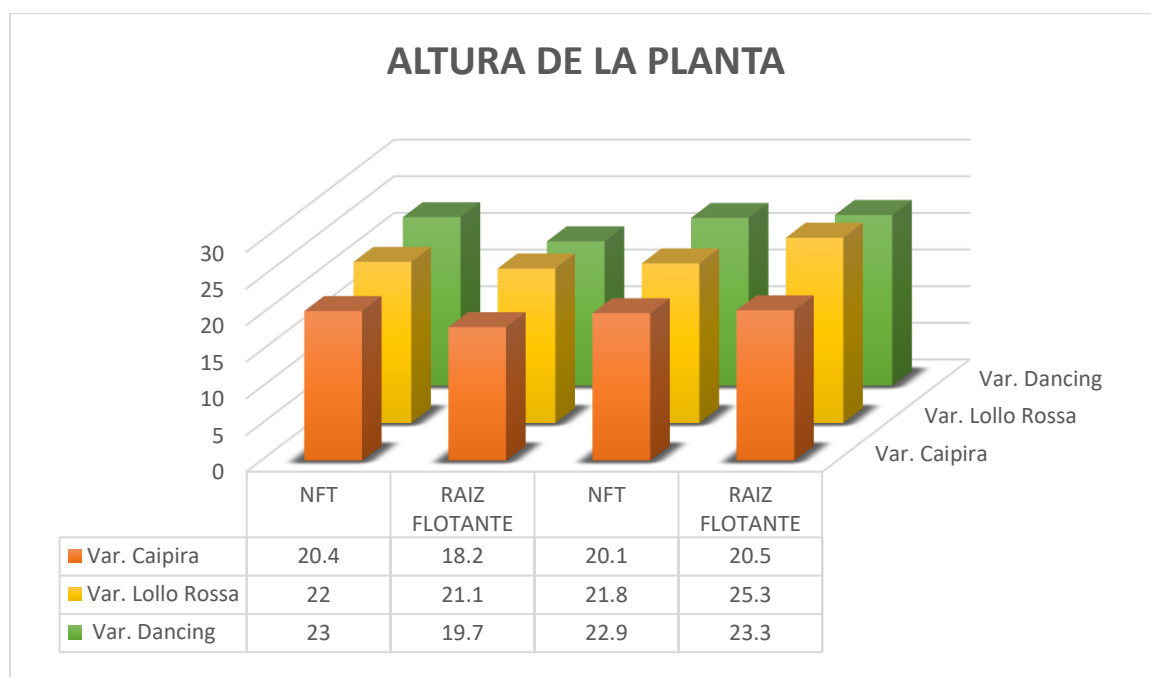
Número de hojas de las lechugas a los 45 días



A los 45 días se observó diferencias significativas entre variedades y sistemas, a nivel de variedades, la Var. Caipira tuvo mayor cantidad de hojas en ambas líneas, siendo las más grandes y voluminosas, a diferencia de la Var. Lollo Rossa que tuvo menor cantidad de hojas. En cuanto a la Var. Dancing en el sistema Raíz Flotante tuvo mayor cantidad de hojas, a diferencia de la Var. Caipira que en el Sistema NFT tuvo mayor cantidad de hojas. Estos datos son superados por Carranza et al. (2021) que en su investigación obtuvo 31 hojas/planta, en un sistema acuapónico.

Figura 39

Altura de las lechugas a los 45 días

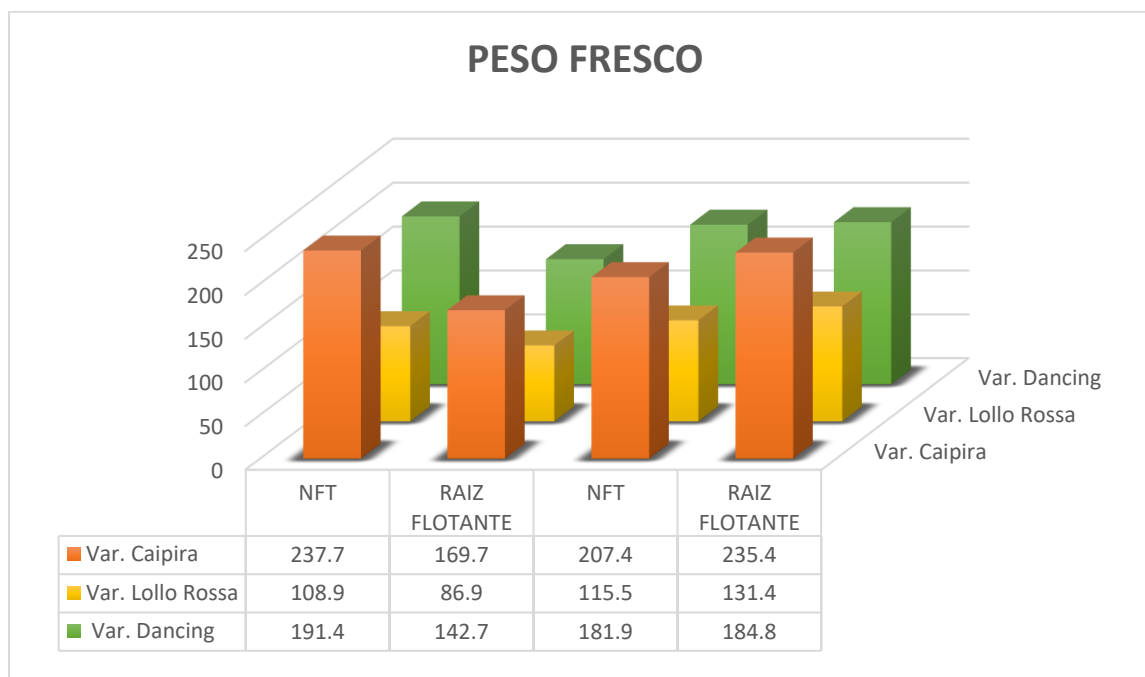


En cuanto a la altura de las lechugas, a los 45 días se observó una diferencia significativa en cuanto a Sistemas y Líneas, en la línea 1, las lechugas del Sistema NFT tuvieron mayor altura, a diferencia de la línea 2, en donde las lechugas con mayor altura estuvieron en el sistema Raíz Flotante.

Peso fresco:

Figura 40

Peso fresco de las lechugas



La Figura 40 muestra el peso fresco de las 3 variedades de lechugas a los 45 días, se observa que la Var. Caipira tuvo mayor peso fresco en ambos sistemas y en ambas líneas, siendo la variedad con más volumen y mayor peso, obtuvo mayor porcentaje de proteína, en el Sistema Raíz flotante de 14.38 % y en el sistema NFT fue de 13.63 %. Lo cual indica que la absorción de nutrientes fue la correcta durante toda la investigación, además, todas las variedades alcanzaron un peso promedio del mercado. Otra investigación comparó la producción de lechuga cultivada en soluciones hidropónicas y acuapónicas convencionales de tilapia del Nilo y reveló que la solución acuapónica aumentó el crecimiento de las plantas en un 39% (Delaide et al., 2016). La acuaponía ha demostrado que su producción de plantas y peces es comparable con la hidroponía y los

sistemas de recirculación de acuicultura (Chávez y Mamani, 2023). Además, en la investigación de Delgado y Tapia (2018) las lechugas cultivadas llegaron a una talla admisible para su consumo, en hidroponía fue de 26,56 cm y en acuaponía de 31,91 cm, evidenciando que las lechugas acuapónicas pueden tener mayor crecimiento que las lechugas hidropónicas sin el empleo de pesticidas o fertilizantes químicos.

4.2.3. Otros productos

Diariamente se generaron lodos provenientes del Geotanque, estos pasaban al sedimentador y podían ser extraídos gracias a la forma cónica del sedimentador de flujo radial, lo cual también facilitaba la limpieza.

Estos lodos corresponden al material fecal de los peces y restos de alimento no consumido por los peces.

Anualmente se producen miles de toneladas de lodos de piscicultura los que están compuestos principalmente por nitrógeno (N) y fosforo (P). Se estima que el 30% del alimento suministrado a los peces no es consumido, y junto a las fecas y desechos constituyen los lodos de piscicultura (Machuca, 2022).

Según Machuca (2022) estos lodos pueden ser tratados, evaluando la opción del secado para producir un biofertilizante granulado con enfoque en la economía circular.

Figura 41

Lodos extraídos del Sedimentador



4.3. Análisis Exploratorio de Datos (EDA) para la interpretación de los parámetros monitoreados

4.3.1. Calidad de Agua

En nuestro país existen normas que nos indican que existen aguas que pueden tener ciertos usos, este es el Decreto Supremo 004-2017-MINAM el cual aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para agua el cual nos indica ciertas características que debe tener el agua para poder utilizarla con distintos fines.

Los parámetros monitoreados fueron pH, OD, T°, Amonio, Nitrito y Nitrato de acuerdo al Programa de Monitoreo propuesto se utilizaron los datos del ingreso y de la salida de cada línea, los cuales fueron analizados por medio del EDA (Análisis Exploratorio de Datos) utilizando el RStudio.

La Tabla 5 muestra un resumen de los datos medidos en el Geotanque de la Línea 1 y de la Línea 2 con el multiparámetro HANNA HI98194.

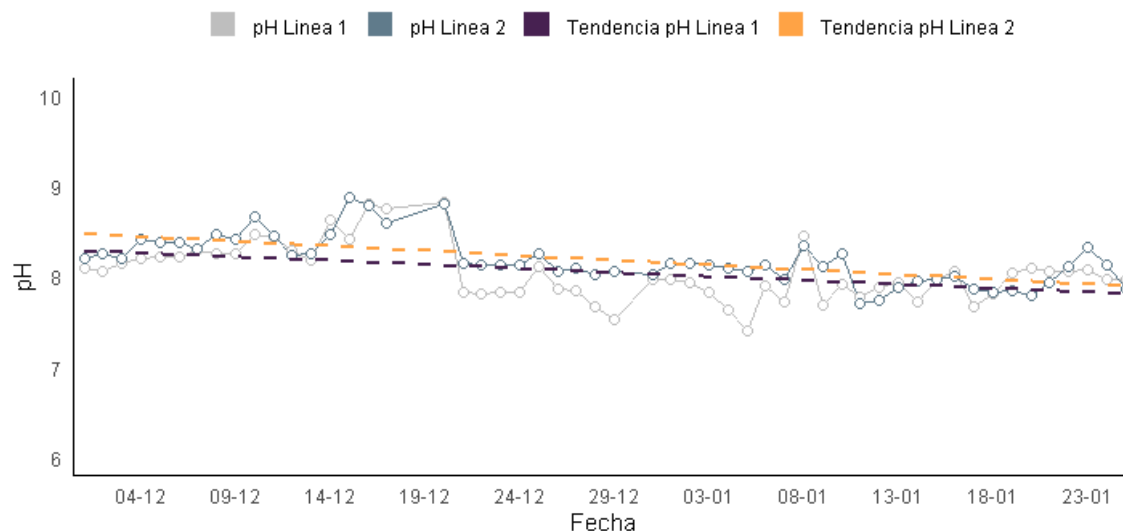
Tabla 5

Resumen de los datos obtenidos del geotank en la Línea 1 y Línea 2 con el multiparámetro HANNA HI98194

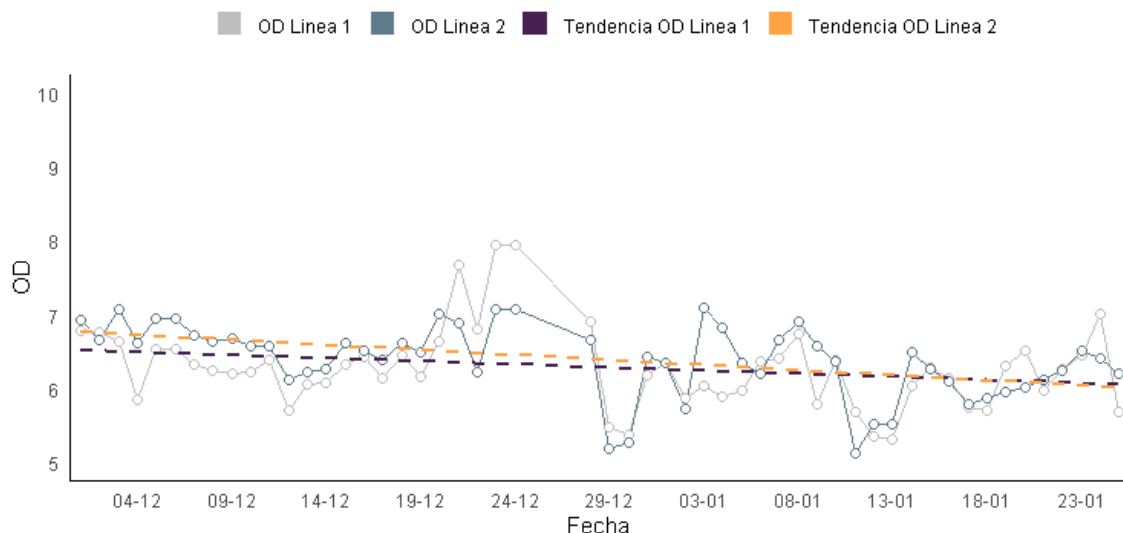
Fecha		
Min.	:2022-12-01	
1st Qu.	:2022-12-14	
Median	:2022-12-28	
Mean	:2022-12-28	
3rd Qu.	:2023-01-11	
Max.	:2023-01-25	
pH 1	OD 1	Temp 1
Min. : 7.410	Min. : 5.310	Min. :20.10
1st Qu.: 7.825	1st Qu.: 5.970	1st Qu.:21.56
Median : 7.981	Median : 6.266	Median :22.09
Mean : 8.047	Mean : 6.285	Mean :21.97
3rd Qu.: 8.227	3rd Qu.: 6.520	3rd Qu.:22.56
Max. :8.832	Max. :7.940	Max. :23.95
pH 2	OD 2	Temp 2
Min. : 7.705	Min. :5.120	Min. :18.66
1st Qu.: 8.020	1st Qu.:6.205	1st Qu.:20.29
Median : 8.135	Median :6.487	Median :21.59
Mean : 8.183	Mean :6.387	Mean :21.54
3rd Qu.: 8.337	3rd Qu.:6.665	3rd Qu.:22.65
Max. : 8.882	Max. :7.100	Max. :24.15

Figura 42

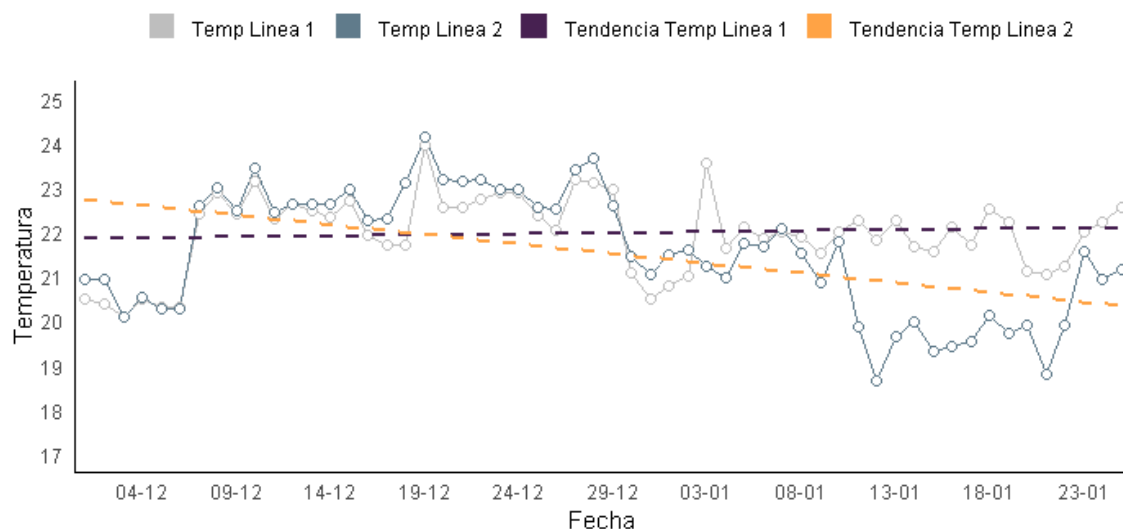
pH en el geotank: Línea 1 y Línea 2

pH en el Geotank (Multiparametro)

Como se muestra en la Figura 42 el pH en el Geotank tuvo un comportamiento similar en ambas líneas, se observa una tendencia descendente, los primeros días de la investigación, el pH oscilaba entre 8 y 8.7, esto debido a que los peces estaban aclimatándose, a partir del siguiente mes el pH de la Línea 2 se mantuvo entre 7.7 y 8.3, a diferencia de la Línea 1 que tuvo picos descendentes de hasta 7.4, según la FAO, los peces pueden tolerar un rango bastante amplio de pH, pero se desenvuelven mejor en niveles de 6,5–8,5. Además, las bacterias nitrificantes requieren un pH de alrededor de 7,5 para la conversión óptima de amoníaco a nitratos (Matysiak et al., 2023).

Figura 43
Oxígeno Disuelto en el Geotanque: Línea 1 y Línea 2
Oxígeno Disuelto en el Geotanque (Multiparámetro)


El Oxígeno Disuelto es un factor fundamental para la crianza de trucha arcoíris y para la calidad del agua, durante la investigación se tuvo un dato mínimo de 5.31 mg/L, tuvo un comportamiento similar en ambas líneas, se observa una tendencia descendente, mantuvo un rango de entre 5 mg/L a 8 mg/L, según la Somerville et al. (2022) el Oxígeno disuelto para la trucha arcoíris está en un rango de 7.5 mg/L a 12 mg/L, siendo optimo 8.5 mg/L. La temperatura está directamente relacionada al Oxígeno Disuelto, mientras más temperatura, menos oxígeno disuelto y mientras menos temperatura, más Oxígeno Disuelto.

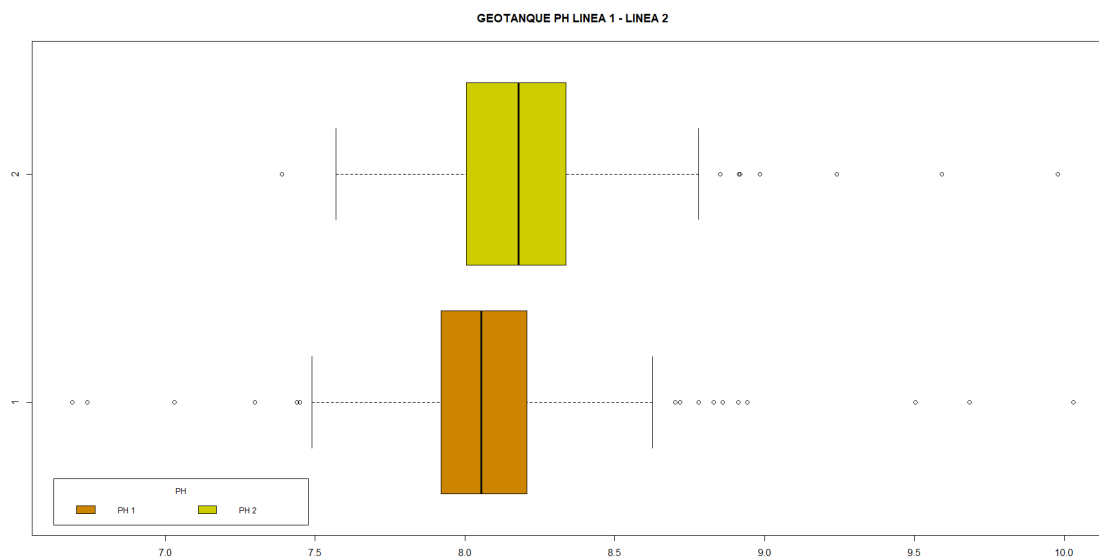
Figura 44
Temperatura en el Geotanque: Línea 1 y Línea 2
Temperatura en el Geotanque (Multiparámetro)


Como se explicó anteriormente la Temperatura es un factor determinante para la acuaponía, la calidad de agua, la crianza de peces y para el OD, el primer mes la temperatura tuvo un comportamiento similar en ambas líneas, el segundo mes se observa que la temperatura se incrementó, esto debido al área de investigación, la T° en el distrito de Sachaca llega hasta 26°C , lo cual afectó la temperatura del agua, se observa una tendencia descendente para la Línea 2 y una tendencia ligeramente ascendente. La segunda y tercera semana del mes de enero la temperatura de la línea 2 estuvo entre 18.6°C y 21.7°C , a diferencia de la línea 1 que estuvo entre 20.7°C y 23.5°C durante el mismo periodo. La especie puede soportar un amplio rango de temperaturas (de 0°C a 27°C), pero el desove y el crecimiento se producen en un rango más estrecho (de 9°C a 14°C) (Arregui, 2013).

Las Figuras 45, 46 y 47 muestran diagramas boxplot para los parámetros pH, OD y temperatura en el geotank de la línea 1 y de la línea 2.

Figura 45

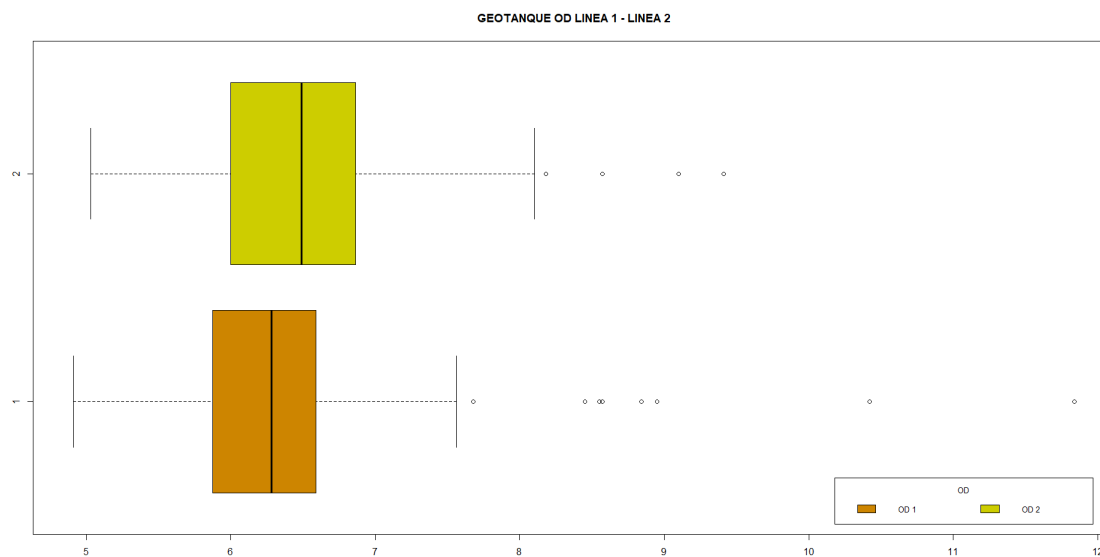
Diagrama boxplot para el pH en el Geotank de la Línea 1 y Línea 2



Analizando el diagrama boxplot, se observa que para ambas líneas la mediana oscila entre 8 y 8.3, se ven también valores atípicos, sobre todo una mayor cantidad en la línea 1.

Figura 46

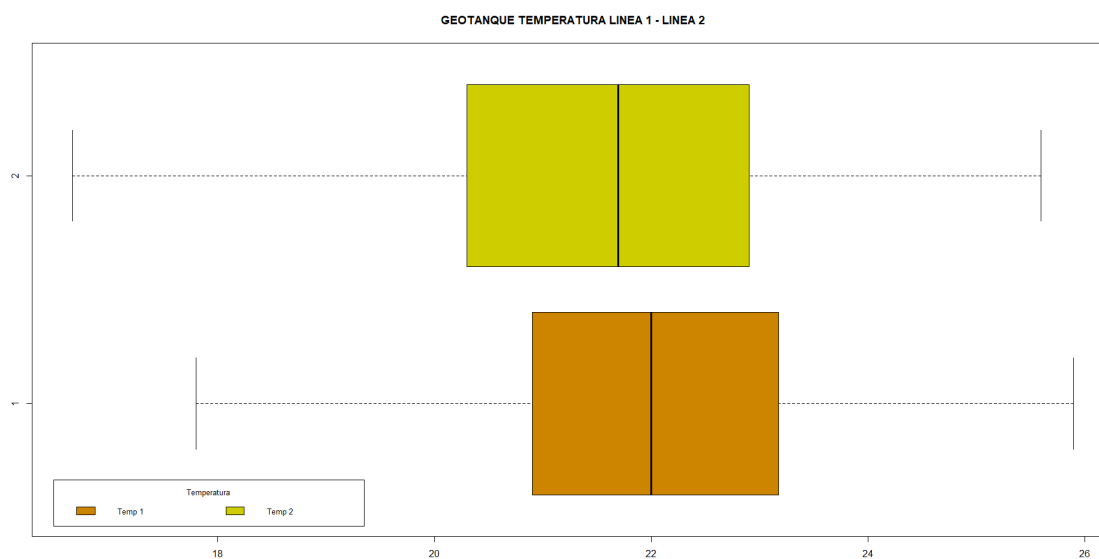
Diagrama boxplot para el Oxígeno Disuelto en el Geotanque de la Línea 1 y Línea 2



En cuanto al parámetro Oxígeno Disuelto se observa en el diagrama boxplot que la mediana para ambas líneas oscila entre 6 mg/L y 7 mg/L, con mayor cantidad de valores atípicos en la línea 2.

Figura 47

Diagrama boxplot para la Temperatura en el Geotanque de la Línea 1 y Línea 2



En el diagrama boxplot para la temperatura muestra la mediana para ambas líneas, la cual oscilo entre 21°C y 22°C.

La Tabla 6 muestra un resumen de los datos medidos en el Geotanque de la Línea 1 y de la Línea 2 con el Kit Api Fresh Water.

Tabla 6

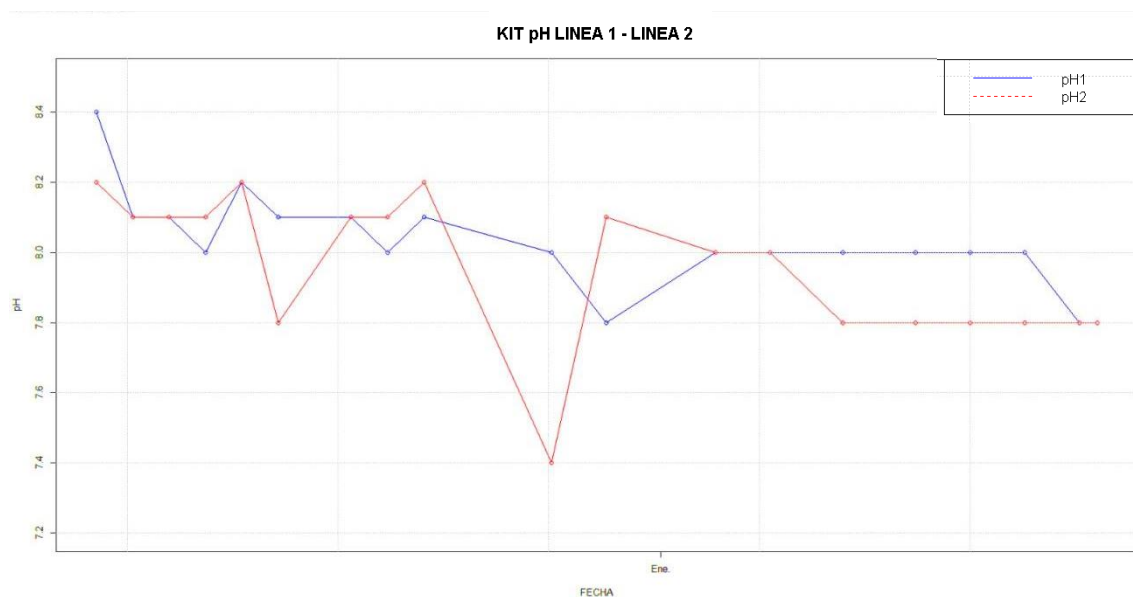
Resumen de los datos obtenidos del geotanque en la Línea 1 y Línea 2 con el Kit Api

Fresh Water

Fecha							
	Min.	:2022-12-01	00:00:00.00				
	1st Qu.	:2022-12-10	00:00:00.00				
	Median	:2022-12-26	00:00:00.00				
	Mean	:2022-12-27	02:31:34.74				
	3rd Qu.	:2023-01-13	00:00:00.00				
	Max.	:2023-01-25	00:00:00.00				
pH 1		Amonio 1		Nitrato 1			
Min.	:7.800	Min.	:0.0000	Min.	: 20.00		
1st Qu.	:8.000	1st Qu.	:0.2250	1st Qu.	: 40.00		
Median	:8.000	Median	:0.2500	Median	: 40.00		
Mean	:8.026	Mean	:0.3184	Mean	: 54.21		
3rd Qu.	:8.100	3rd Qu.	:0.5000	3rd Qu.	: 80.00		
Max.	:8.400	Max.	:0.5000	Max.	:100.00		
pH 2		Amonio 2		Nitrito 2	Nitrato 2		
Min.	:7.400	Min.	:0.0000	Min.	:0.000	Min.	:10
1st Qu.	:7.800	1st Qu.	:0.2500	1st Qu.	:0.375	1st Qu.	:35
Median	:8.000	Median	:0.2500	Median	:1.000	Median	:40
Mean	:7.958	Mean	:0.2526	Mean	:1.758	Mean	:40
3rd Qu.	:8.100	3rd Qu.	:0.2500	3rd Qu.	:2.000	3rd Qu.	:40
Max.	:8.200	Max.	:0.5000	Max.	:5.000	Max.	:80

Figura 48

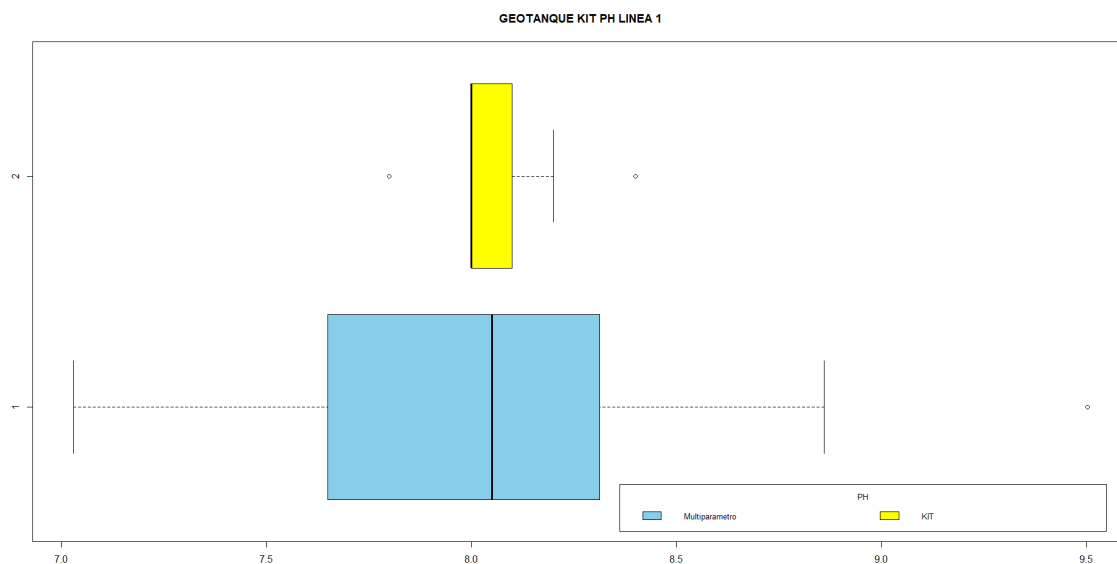
pH en el Geotanque con el Kit Api Fresh Water: Línea 1 y Línea 2



El Kit Api Fresh Water contiene el parámetro pH, el cual se midió para poder tener certeza del dato que se obtuvo por el multiparámetro, en la línea 1 el pH se mantuvo entre 7.8 y 8.4 en el mes de diciembre, en el mes de enero, el pH tuvo un comportamiento lineal, se mantuvo en 8. En cuanto a la línea 2, en el mes de diciembre el pH oscilo entre 7.4 y 8.2, en el mes de enero igual que en la línea 1 tuvo un comportamiento lineal, el pH se mantuvo en 7.8.

Figura 49

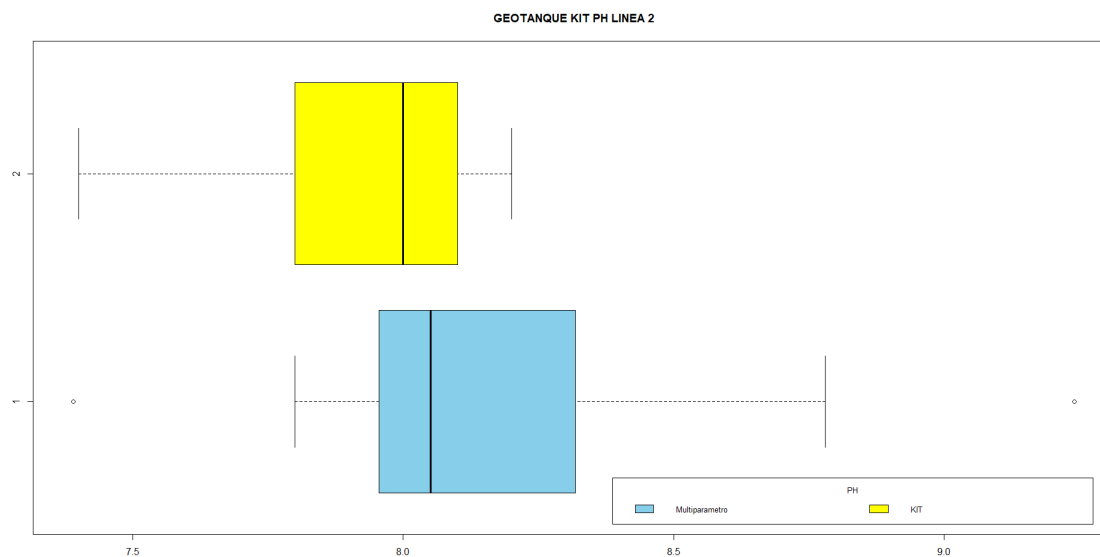
Diagrama bloxplot del pH en el Geotanque de la Línea 1



Haciendo uso del multiparámetro y del kit api se observa que los datos obtenidos en la Línea 1 tienen relación en el rango de 8.5, es decir están correlacionados, esto significa que, si no se hubiera contado con el multiparámetro HANNA HI98194, utilizar el KIT API Fresh Water hubiera sido suficiente para registrar datos del parámetro pH, ya que es fácil de utilizar, más económico y registra una buena medición.

Figura 50

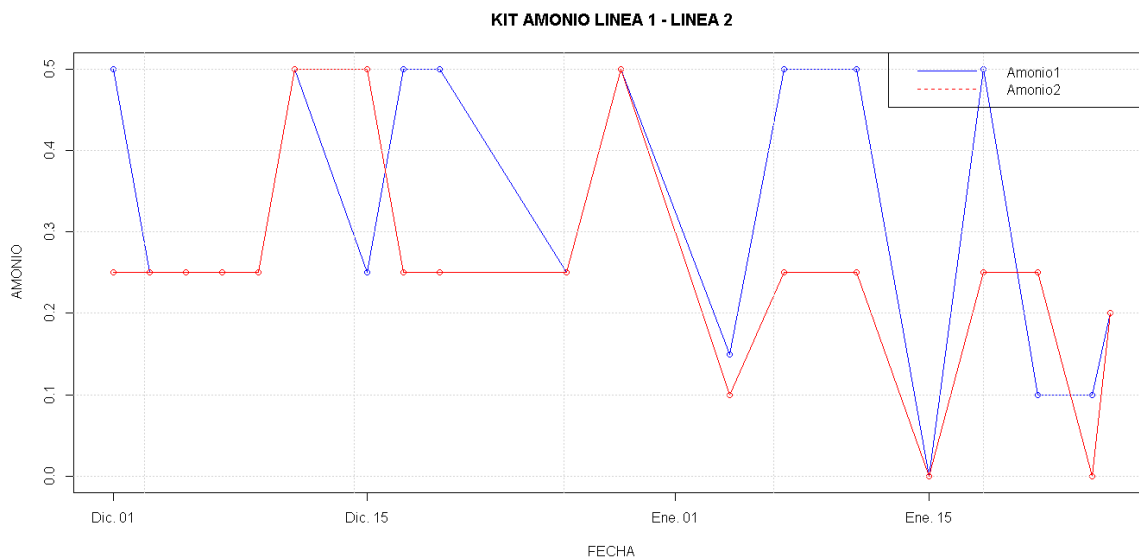
Diagrama bloxplot del pH en el Geotanque de la Línea 2



Igualmente, en la Línea 2, haciendo uso del multiparámetro y del kit api se observa que los datos obtenidos tienen relación en el rango de 8.0, es decir están correlacionados, esto significa que el KIT API Fresh Water registra una buena medición, así como el multiparámetro HI98194.

Figura 51

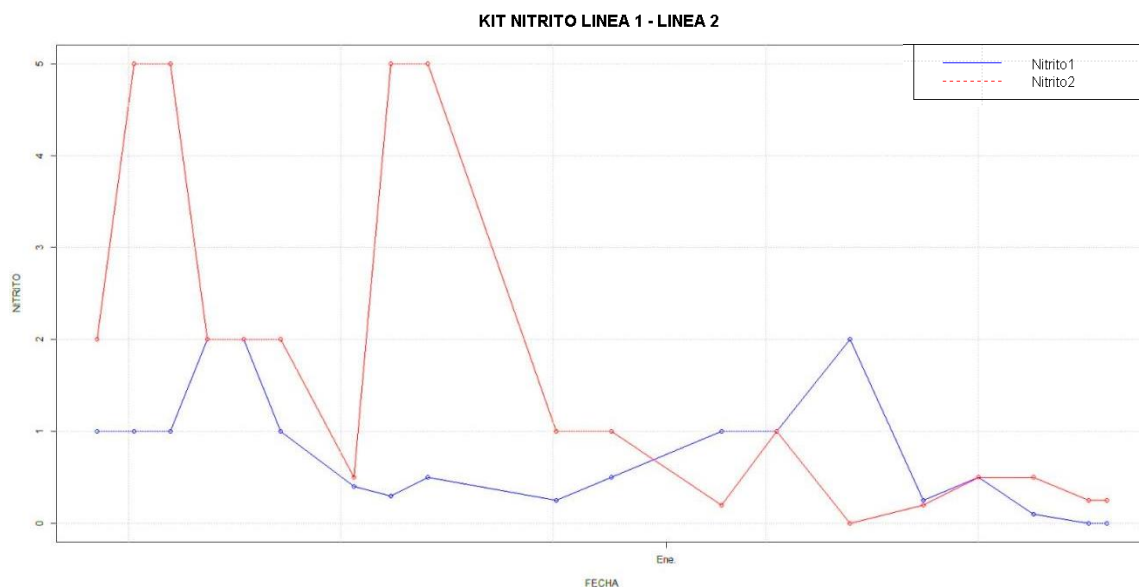
Amonio en el Geotanque con el Kit Api Fresh Water: Línea 1 y Línea 2



El amonio es un parámetro que influye en la calidad del agua y en el desarrollo de los peces. Somerville et al., (2022) recomiendan mantener concentraciones inferiores a 0.5 mg/litro para sistemas acuapónicos que trabajen con trucha. Asimismo, menciona que la toxicidad del amoníaco depende tanto del pH como de la temperatura, dónde a mayor pH y temperatura del agua hacen el amoníaco más tóxico. En la investigación el amonio tuvo un comportamiento similar en ambas líneas, se mantuvo en un rango de entre 0 y 0.5 mg/L, lo cual indica que la calidad del agua en cuanto al parámetro es ideal para la acuaponía y que las bacterias nitrificantes realizaron su trabajo en ambas líneas, también se puede atribuir la baja cantidad de amonio a la utilización de Calas, ya que mejoran la eficiencia de remoción de contaminantes, que por sí sola no lo realiza el ecosistema (Gualli & Mena, 2017).

Figura 52

Nitrito en el Geotanque con el Kit Api Fresh Water: Línea 1 y Línea 2

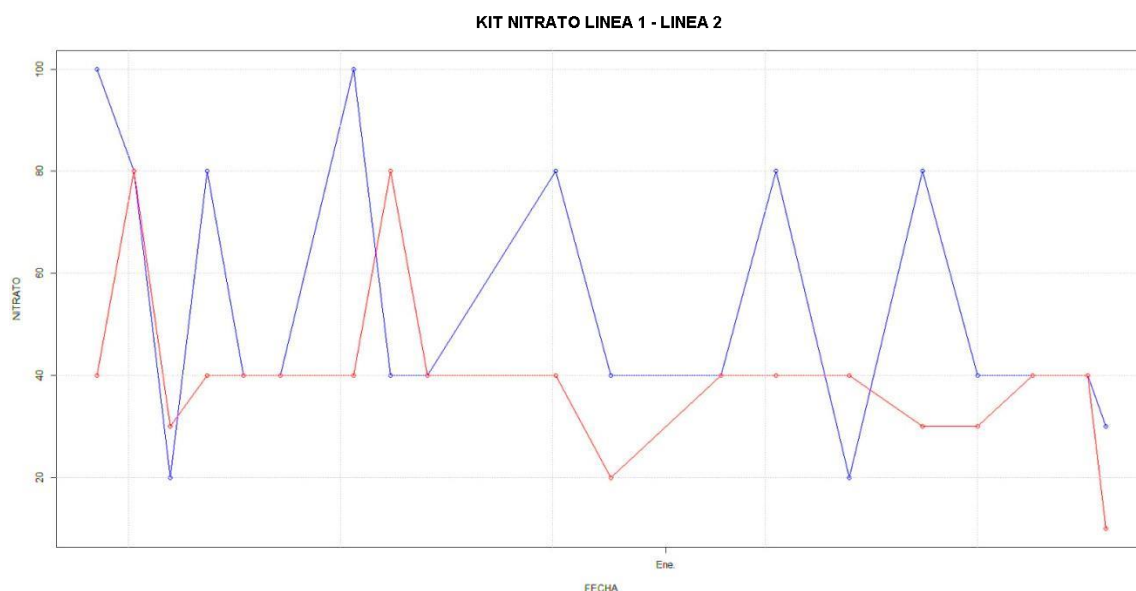


Altos niveles de nitrito pueden dar lugar a muerte inmediata de peces, en la línea 1 el nitrito tuvo picos de hasta 2.0 mg/L y un mínimo de 0.0mg/L. En la línea 2 el nitrito llegó hasta 5mg/L a pesar de que se realizó periódicamente la limpieza de los biofiltros y demás componentes. El nitrito tuvo picos altos en ambas líneas, pero con el paso de los días fue disminuyendo hasta llegar casi a 0.0 mg/L, a diferencia de Atique et al. (2022) que tuvo la concentración media más alta de nitrato registrada el día 9 en acuaponía (81,67 mg/L).

Los cambios en el amoníaco y nitrito del agua durante la investigación pueden estar relacionados con cambios en la temperatura y el pH del agua, que pueden afectar la actividad de nitrificación bacteriana (Birolo et al., 2020).

Figura 53

Nitrato en el Geotanque con el Kit Api Fresh Water: Línea 1 y Línea 2



Los peces pueden tolerar niveles elevados de nitratos, pero si éstos se mantienen altos (> 150 mg/litro) se debe hacer un recambio de agua, y si el nitrato es bajo (< 10 mg/litro) se debe incrementar el alimento de peces para asegurarse de que hay suficientes nutrientes para las plantas (Somerville et al., 2022).

El comportamiento del nitrato fue diferente en ambas líneas, en cuanto a la línea 1, el dato más alto se registró las primeras semanas de la investigación, 100 mg/L, y el más bajo fue de 20 mg/L. en la línea 2, los picos más altos fueron de 80 mg/L y el más bajo de 10 mg/L.

Esto demuestra que el nitrato estuvo dentro de los rangos aceptables para que todos los organismos trabajen correctamente y se obtenga una calidad de agua apta el riego de vegetales.

La medida del pH, Oxígeno Disuelto y Temperatura en el sumidero es determinante ya que este es el último componente por donde circula el agua y es de aquí de donde se puede extraer o se puede dirigir para otro fin.

En la Tabla 7 se muestra el resumen de los datos obtenidos en el sumidero para la línea 1 y línea 2.

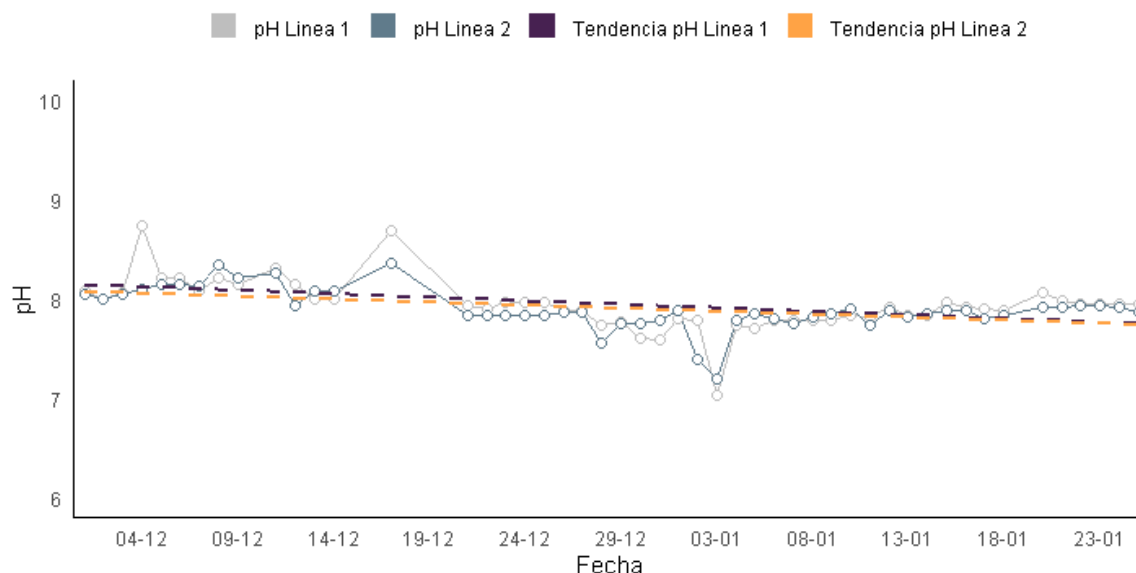
Tabla 7

Resumen de los datos obtenidos del sumidero en la Línea 1 y Línea 2 con el multiparámetro HANNA HI98194

Fecha		
Min.	:2022-12-01	
1st Qu.	:2022-12-14	
Median	:2022-12-28	
Mean	:2022-12-28	
3rd Qu.	:2023-01-11	
Max.	:2023-01-25	
pH 1	OD 1	Temp 1
Min. : 7.032	Min. : 4.732	Min. :18.36
1st Qu.: 7.795	1st Qu.: 5.205	1st Qu.:20.20
Median : 7.935	Median : 5.730	Median :21.07
Mean : 7.939	Mean : 5.735	Mean :21.02
3rd Qu.: 8.007	3rd Qu.: 6.320	3rd Qu.:21.71
Max. : 8.735	Max. :7.138	Max. :22.92
pH 2	OD 2	Temp 2
Min. : 7.190	Min. :4.575	Min. :16.98
1st Qu.: 7.822	1st Qu.:5.258	1st Qu.:19.32
Median : 7.875	Median :5.445	Median :20.28
Mean : 7.900	Mean :5.449	Mean :20.38
3rd Qu.: 7.992	3rd Qu.:5.720	3rd Qu.:21.64
Max. : 8.355	Max. :6.082	Max. :23.05

Figura 54

pH en el Sumidero: Línea 1 y Línea 2

pH en sumidero (Multiparametro)


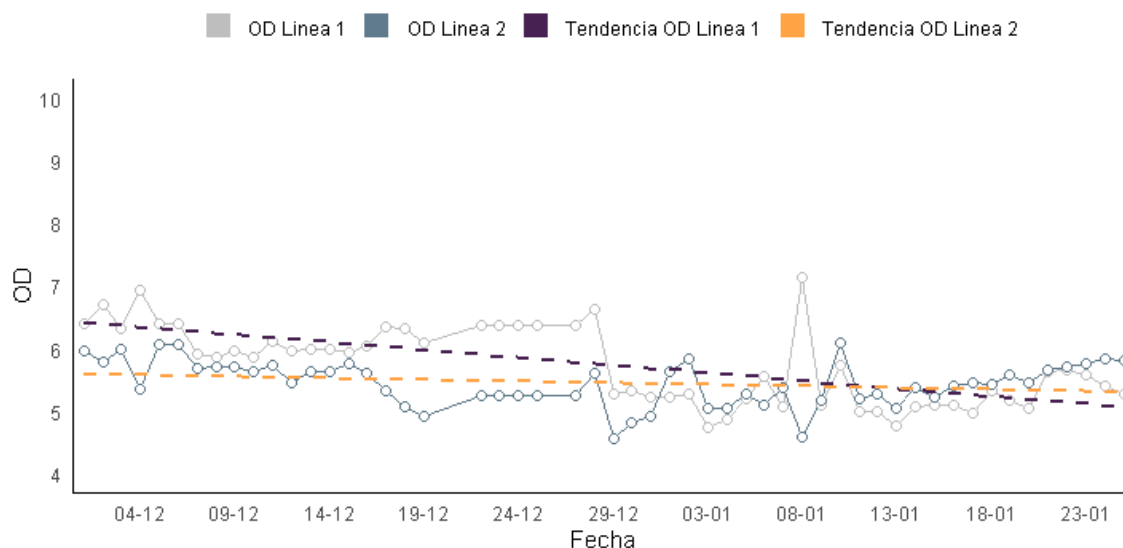
La medida del pH en el sumidero es determinante ya que el agua recirculaba por todo el sistema, además el agua del sumidero puede ser utilizada para otro fin. En la investigación, el pH tuvo un comportamiento similar en ambas líneas, se observa una tendencia descendente para el parámetro pH, osciló entre 7 y 8.5 en ambas líneas, lo que demuestra que no hubo diferencias importantes en los valores de pH durante el período de investigación. En el estudio de Atique et al. (2022) el pH permaneció casi neutro y solo ligeramente diferente entre los tratamientos hasta el día 30. La razón podría estar relacionada con la falta de gestión de la alcalinidad y la ausencia de cambio de agua en la semana 5. En el tratamiento de acuaponía, el pH del sistema se mantuvo después de la primera semana experimental de manera bastante constante cerca de siete, y no se observó ninguna caída en el pH.

Además, el resultado indica que la calidad del agua del sistema está dentro del rango para el parámetro pH de la Categoría 3 del ECA Agua, el cual indica que para D1: Riego de vegetales debe estar entre 6.5 – 8.5 y para D2: Bebida de animales entre 6.5 – 8.4.

Figura 55

Oxígeno Disuelto en el Sumidero: Línea 1 y Línea 2

Oxígeno Disuelto en sumidero (Multiparámetro)



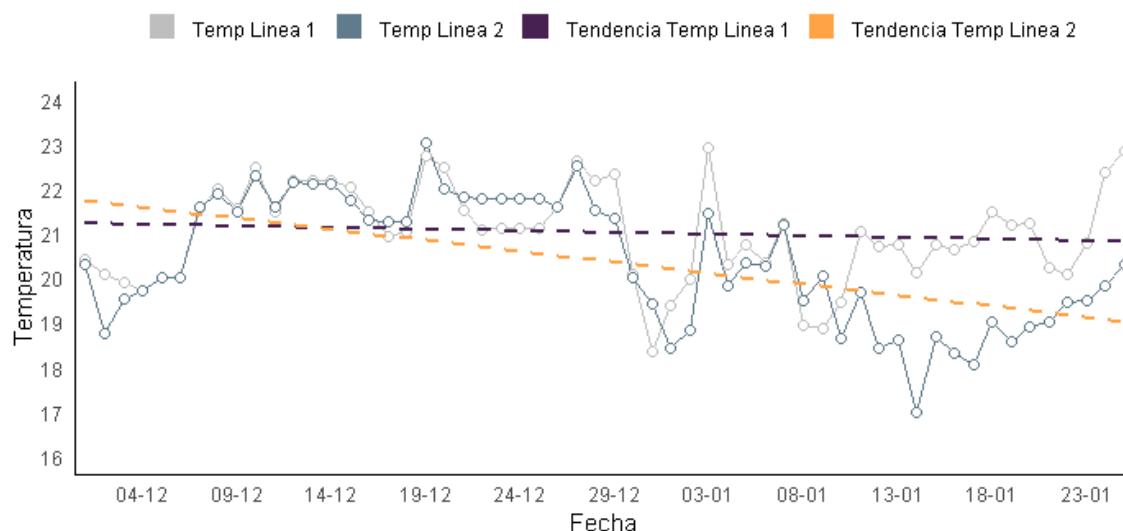
El Oxígeno Disuelto en el sumidero oscilo entre 4.5 mg/L y 7.1 mg/L, siendo constante en este rango para ambas líneas con efluente de trucha arcoíris, a diferencia de la tilapia del Nilo que el rango de oxígeno disuelto es de 4,33 mg/L a 6,3 mg/L (Al-Zahrani et al., 2023). La Figura 55 muestra una tendencia con respecto al parámetro Oxígeno Disuelto comparando las dos líneas, lo cual indica que la calidad del agua del sistema está dentro del rango para el parámetro Oxígeno Disuelto de la Categoría 3 del

ECA Agua, el cual indica que para D1: Riego de vegetales debe ser ≥ 4 y para D2: Bebida de animales debe ser ≥ 5 .

Figura 56

Temperatura en el Sumidero: Línea 1 y Línea 2

Temperatura en el Sumidero (Multiparámetro)

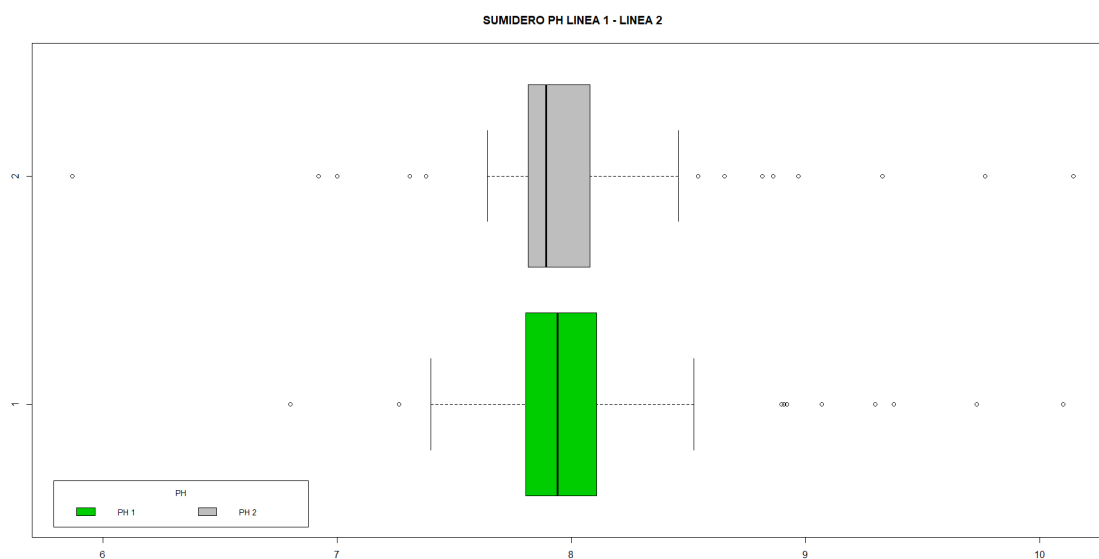


La Temperatura en la Línea 1 y 2 oscilo entre 16.9°C y 23.05°C, mostrando una tendencia descendente, Tsoumalakou et al. (2022) en su investigación con tilapia roja la temperatura del agua se mantuvo a 23 °C mediante calentadores, en nuestro caso los factores climáticos de la zona de investigación estuvieron relacionados con la temperatura del agua y por ende con correcto funcionamiento del sistema. La temperatura del agua del sistema cumple con el parámetro Temperatura de la Categoría 3 del ECA Agua, el cual indica que para D1: Riego de vegetales y para D2: Bebida de animales es $\Delta 3$, esto significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Las Figuras 57,58 y 59 muestran diagramas boxplot para los parámetros pH, OD y temperatura en el sumidero de la línea 1 y de la línea 2.

Figura 57

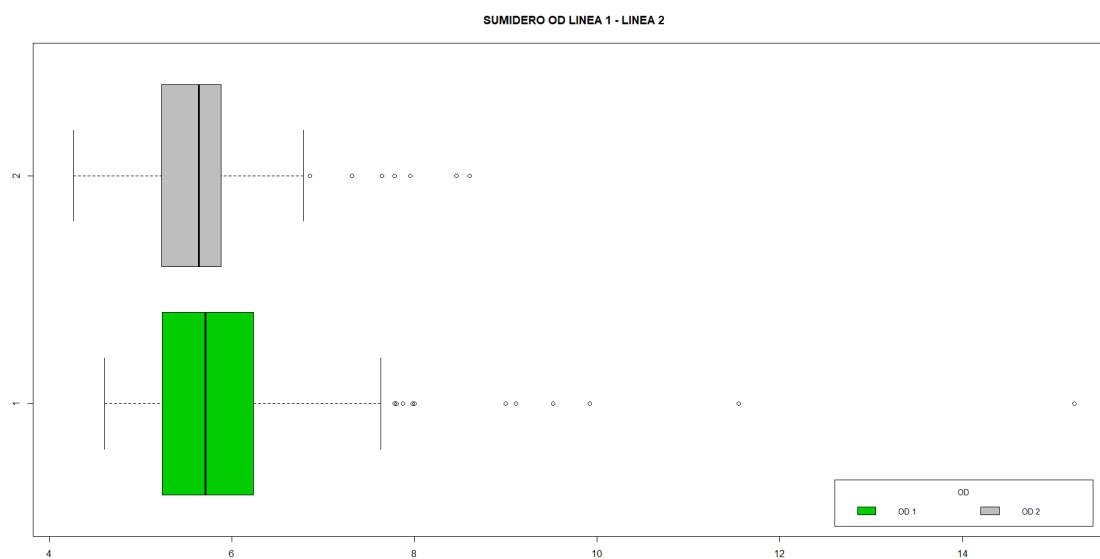
Diagrama boxplot para el pH en el Sumidero de la Línea 1 y Línea 2



Según el diagrama bloxplot, la media para la línea 1 y 2 en el sumidero estuvo entre 7 y 8, se observan datos atípicos.

Figura 58

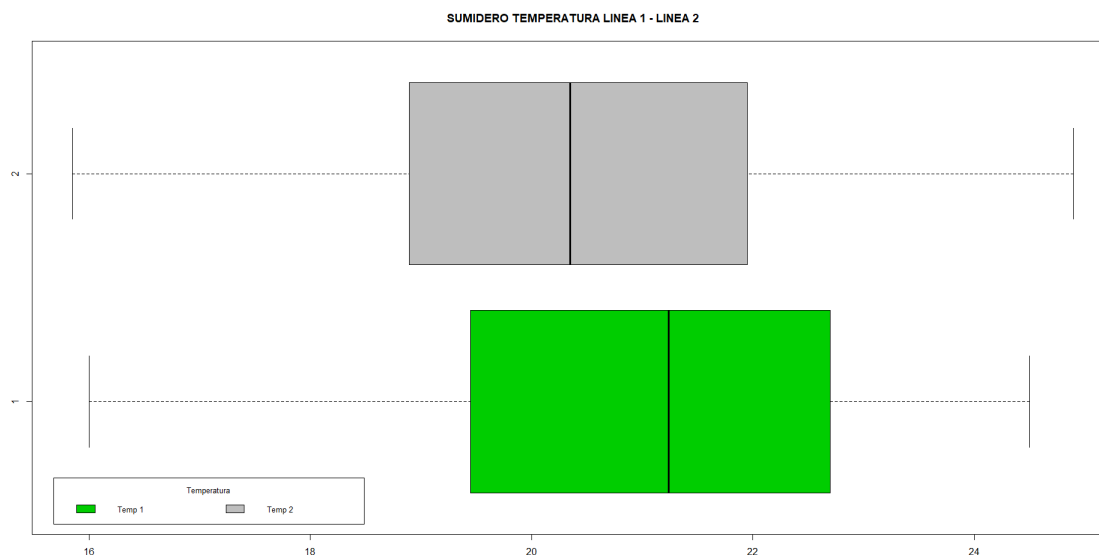
Diagrama boxplot para el Oxígeno Disuelto en el Sumidero de la Línea 1 y Línea 2



Para el Oxígeno Disuelto, la media en ambas líneas oscilo entre 5 mg/L y 6 mg/L, también se tuvieron valores atípicos, sobre todo en la línea 1.

Figura 59

Diagrama boxplot para la Temperatura en el Sumidero de la Línea 1 y Línea 2



El diagrama bloxplot para la temperatura en el sumidero mostro una media de 20°C a 22°C.

Mediante el Análisis Exploratorio de Datos realizado, se muestra que el sistema a escala piloto si trata las Aguas Residuales Acuícolas y al finalizar el proceso de tratamiento esta puede ser utilizada para el riego de vegetales y para bebida de animales.

Para tener mayor seguridad de los resultados obtenidos por medio del monitoreo de calidad de agua, se realizó un Análisis en el Laboratorio CERPER el cual está certificado por el INACAL, los cuales están presentados en el Anexo IV y Anexo V, se tomó como puntos de monitoreo el Geotanque y el agua que salía del Sumidero, los resultados obtenidos en la Línea 1 se muestran en la Tabla 8 y los de la Línea 2 en la Tabla 9.

Tabla 8
Valores resultantes del análisis de agua en el Laboratorio de la Línea 1 y ECA

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS GEOTANQUE	RESULTADOS SUMIDERO	ECA		
				D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de Animales
				Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Parámetros Inorgánicos No Metálicos						
Amonio	mgNH4/L	0,141	<0,026	-		-
Parámetros Orgánicos						
Aceites y Grasas	mg/L	0,90	0,60	5		10
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	7,15	<2,00	15		15
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O)	mgO2/L	28,1	20,2	40		40
Parámetros Microbiológicos						
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 mL	230	270	1000	2000	1000
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100 mL	< 1,8	< 1,8	1000	-	-
Aniones por Cromatografía Iónica						
Nitrato (NO3)	mg/L	13,5	13,3			
Nitrato (NO3-N)	mg/L	3,04	3,00	100		100
Nitrito (NO2)	mg/L	<0,004	0,149			
Nitrito (NO2-N)	mg/L	<0,001	0,045	10		10
Sulfato	mg/L	116	115	1000		1000

De acuerdo a los ECA Agua, el agua proveniente del Sistema Acuapónico de la Línea 1 no supera los parámetros establecidos en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, esto quiere decir que el agua se encuentra apta para el Riego de Vegetales y para el consumo de Animales.

Tabla 9
Valores resultantes del análisis de agua en el Laboratorio de la Línea 2 y ECA

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS GEOTANQUE	RESULTADOS SUMIDERO	ECA		
				D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de Animales
				Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Parámetros Inorgánicos No Metálicos						
Amonio	mgNH4/L	0,133	<0,026	-		-
Parámetros Orgánicos						
Aceites y Grasas	mg/L	0,60	0,50	5		10
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<2.00	2,13	15		15
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O)	mgO2/L	14.2	19.4	40		40
Parámetros Microbiológicos						
Coliformes	NMP/100					
Termo tolerantes	mL	32	1700	1000	2000	1000
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100 mL	< 1,8	< 1,8	1000	-	-
Aniones por Cromatografía Iónica						
Nitrato (NO3)	mg/L	10.0	9.43			
Nitrato (NO3-N)	mg/L	2.26	2.13	100		100
Nitrito (NO2)	mg/L	0.978	0,179			
Nitrito (NO2-N)	mg/L	0.298	0,055	10		10
Sulfato	mg/L	109	110	1000		1000

De acuerdo a la Categoría 3 del ECA Agua detallado en el Anexo VI, el agua proveniente del Sistema Acuapónico de la Línea 2 no supera los parámetros establecidos en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, D2: Bebida de animales, esto quiere decir que el agua se encuentra apta solo para el consumo de Animales, ya que en Coliformes Termotolerantes supera el parámetro establecido D1: Riego de Vegetales. Según Dorick et al. (2021) los sistemas acuapónicos tienen un ambiente ideal para el crecimiento microbiano (por ejemplo, temperatura, pH, oxígeno y nutrientes), a pesar del recambio de agua en ambas líneas se obtuvo en el monitoreo un rango alto en Coliformes Termotolerantes en la Línea 2.

En las próximas décadas, las concentraciones de contaminantes específicos probablemente aumentarán y seguirán afectando la calidad de las fuentes de agua para riego. El cambio climático inminente puede hacer que la situación sea más extrema, ya que la sequía y la escasez de agua pueden concentrar contaminantes en el agua (Malakar et al., 2019). Es por ello que se debe buscar nuevas fuentes de agua que por medio de un tratamiento puedan ser utilizadas para el riego de vegetales.





CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Según la literatura revisada se logró diseñar e implementar todos los componentes del Sistema Acuapónico, los cuales funcionaron simbióticamente para el tratamiento de aguas residuales acuícolas. Además, la automatización del sistema utilizando un tablero eléctrico: RTC ds3231, Shield ethernet W5100, Arduino MEGA 2560 y MPX5010DP sensor de presión diferencial fue esencial para su correcto funcionamiento ya que se automatizaron las bombas de oxigenación, recirculación y una bomba de pecera que permitió la redistribución de los nutrientes.
- Por medio del programa de monitoreo propuesto se evaluó la calidad de agua, la cual estuvo dentro del rango de los parámetros establecidos para acuaponía. También, se obtuvo un crecimiento significativo de peces y plantas; y se obtuvo un subproducto el cual se puede utilizar como biofertilizante.
- Se realizó el Análisis Exploratorio de Datos y se comprobó que la acuaponía es una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales acuícolas, las cuales pueden ser reutilizadas para el riego de vegetales o para la bebida de animales según el DS 004-2017-MINAM.

5.2. Recomendaciones

- Incentivar a los productores acuícolas y autoridades a participar en proyectos tecnológicos o a innovar en sus procesos para que así mejoren su productividad y economía utilizando la tecnología e innovación de forma sustentable.
- Utilizar los resultados de esta investigación para buscar la replicación o continuidad de los sistemas acuapónicos ya que a pequeña o gran escala tienen beneficios comerciales, educacionales y ambientales, así mismo, se pueden utilizar otras variedades de peces y vegetales que funcionen simbióticamente y que sean más resistentes a factores climáticos.
- Considerar el tiempo de monitoreo en las futuras investigaciones, ya que es determinante para poder realizar un análisis de datos completo y certero.
- Evaluar el parámetro temperatura antes de iniciar con la implementación de un sistema acuapónico en alguna ubicación, ya que la temperatura es un parámetro clave que está relacionado con el pH, el Oxígeno Disuelto y el crecimiento de los peces y plantas.
- Realizar el tratamiento de los lodos provenientes del sedimentador ya que mediante el secado u otro tratamiento pueden utilizarse como biofertilizante.



CAPITULO VI

6. REFERENCIAS

- Alcarraz, E. W., Tapia Figueras, M. L., Bustamante Pezoa, A., Tapia Laguna, O., Wacyk Gonzales, J., & Escalona Contreras, V. H. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico. *Anales Científicos*, 79(1). <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1145>
- Alcívar, T., & Alvia, J. (2019). *Determinación del período de retención hidráulica en las lagunas facultativas de 2.00 y 2.50 metros de profundidad*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabi.
- Alcocer, M. (2017). *Diseño y construcción de dos sistemas acuapónicos horizontales para la producción conjunta de peces dorados y lechugas*. Universidad de Sevilla.
- Álvarez, P., D. Soldi, H., Castro, M., & Ayala, O. (2016). Manual de Cultivo de Trucha en Ambientes Convencionales. *Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero – FONDEPES*.
- Al-Zahrani, M. S., Hassanien, H. A., Alsaade, F. W., & Wahsheh, H. A. M. (2023). Effect of Stocking Density on Sustainable Growth Performance and Water Quality of Nile Tilapia-Spinach in NFT Aquaponic System. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086935>
- API. (2023). *FRESHWATER MASTER TEST KIT*. <https://apifishcare.com/product/freshwater-master-test-kit>
- AquaHoy. (2022). *Tratamiento de las aguas residuales de la acuicultura*. Informe - Magazine AquaHoy.
- Arregui, L. (2013). El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). In *Cuadernos de Acuicultura* (Vol. 6).

- Atique, F., Lindholm-Lehto, P., & Pirhonen, J. (2022). Is Aquaponics Beneficial in Terms of Fish and Plant Growth and Water Quality in Comparison to Separate Recirculating Aquaculture and Hydroponic Systems? *Water (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/w14091447>
- Avikaman. (2020). *Alimento Balanceado para Animales CHALLWA FEED* (p. 3).
- Beltrano, J. & G. D. O. (2015). Cultivo en hidroponía. In *Libros de Càtedra* (Vol. 1, Issues 978-950-34-1258-9).
- Birolo, M., Bordignon, F., Trocino, A., Fasolato, L., Pascual, A., Godoy, S., Nicoletto, C., Maucieri, C., & Xiccato, G. (2020). Effects of stocking density on the growth and flesh quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in a low-tech aquaponic system. *Aquaculture*, 529. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735653>
- Callejas, D., & Pulgarín, P. (2021). *Diseño y evaluación de un sistema acuapónico como estrategia de seguridad alimentaria en zonas urbanas deprimidas en Pereira, Risaralda*. Universidad Tecnológica De Pereira.
- Carranza, J., Oliva, S. B., Oliva, J. M., Rimachi, S. Y., & Diaz, J. D. (2021). Determinación de la simbiosis de tres densidades de cultivo de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y cuatro variedades de lechugas (*Lactuca sativa*), instalados en sistema acuapónico con tecnología de recirculación de agua, distrito Corosha, Amazonas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(1). <https://doi.org/10.25127/aps.20211.757>
- Chatla, D., Padmavathi, P., & Srinu, G. (2020). Wastewater Treatment Techniques for Sustainable Aquaculture. In *Waste Management as Economic Industry Towards Circular Economy*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7_17

- Chávez, R., & Mamani, E. (2023). *Comportamiento de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) bajo técnicas hidropónicas utilizando efluentes de trucha (Oncorhynchus mykiss) como una solución nutritiva orgánica en vivero UCSM-Sachaca-Arequipa 2022*. Universidad Católica de Santa María.
- Culcos, G., & Tucto, C. (2019). *Producción de Oreochromis niloticus var. Chitralada “tilapia gris” y Lactuca sativa “lechuga” en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces*. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Cussi, M. (2018). *Determinación del caudal mínimo de riego para la producción óptima de lechuga (Lactuca Sativa L.) en un sistema NFT en la ciudad de El Alto, La Paz*. . Universidad Mayor de San Andrés.
- Davidson, J., & Summerfelt, S. T. (2005). Solids removal from a coldwater recirculating system - Comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. *Aquacultural Engineering*, 33(1). <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.11.002>
- Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., & Jijakli, M. H. (2016). Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucrine) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics. *Water (Switzerland)*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/w8100467>
- Delgado, M., & Tapia, C. (2018). Rediseño de reactores acuapónicos unifamiliares para el autoconsumo. In *Computers and Industrial Engineering* (Vol. 2, Issue January).
- Dorick, J., Hayden, M., Smith, M., Blanchard, C., Monu, E., Wells, D., & Huang, T. S. (2021). Evaluation of *Escherichia coli* and coliforms in aquaponic water for produce irrigation. *Food Microbiology*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103801>
- El Peruano. (2015). Decreto Legislativo N° 1195 .- Decreto Legislativo que aprueba la Ley General de Acuicultura. *Editora Perú - Normas Legales*.

- FAO. (2003). *Revisión del estado actual de la Acuicultura* .
- FAO. (2005). *Visión general del sector acuícola nacional Perú*.
- FAO. (2009). *Oncorhynchus mykiss*. In Cultured Aquatic Species Fact Sheets.
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 3, Issues 1–2).
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. In *Fao*.
- Gomez, G. (2019). *Diseño e implementación de un controlador difuso utilizando Arduino para la automatización de un mini invernadero de rosas*. Universidad Ricardo Palma.
- González, A. (2017). *Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior*. . Universidad de Sevilla.
- Grande, E. (2021). *Análisis exploratorio de datos. Una variable*. . Universidad de Valladolid.
- Gualli, C., & Mena, A. (2017). *Evaluación de los efectos ecotoxicológicos del cromo hexavalente, mediante bioensayos en Zantedeschia aethiopica y Helianthus annuus*. . Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Guevara, Y., & Salas, J. (2022). *Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante el uso de microorganismos de montaña en agua residuales de una Piscigranja*. Universidad Peruana Union.
- Hammes, F., Velten, S., Egli, T., & Juhna, T. (2019). Biotreatment of drinking water. In *Comprehensive Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00374-8>
- Hanna Instruments. (2020). *Manual de Instrucciones HI98194, HI98195, HI98196*.

- Hernández, C., Guzmán, G., & López, D. (2009). Sistemas de producción de Acuacultura con recirculación de agua para la Región Norte, Noreste y Noroeste de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 8(25).
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación* (5ta Edición).
- Huerta, M. (2017). Selección y dimensionamiento de las unidades de tratamiento de agua para un sistema de recirculación en el liceo técnico profesional Dr. Rigoberto Iglesias Bastías de Lebu. *Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*.
- Jiménez, O., & Pérez, A. (2022). Acuaponía: Una forma potencial y sustentable de cultivar de manera eficiente y sustentable alimentos. *Journal of Agricultural Sciences Research* (2764-0973), 3(1). <https://doi.org/10.22533/at.ed.973312222128>
- Konnerup, D., Trang, N. T. D., & Brix, H. (2011). Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture*, 313(1–4). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.026>
- La Republica. (2022, March 22). *La acuicultura se recuperó y su producción ascendió a más de 144 toneladas en 2021*. <https://larepublica.pe/economia/2022/03/22/la-acuicultura-se-recupero-y-su-produccion-ascendio-a-mas-de-144-toneladas-en-2021>
- López, J., Gallegos, D., Moreno, C., Quevedo, J., De Haro, R., Lobillo, P., Fernández, V., López, P., Souviron, L., Eich, U., Lucette, L., & Alba, S. (2019). Cultivo Acuapónico Guía especializada. *Aula Del Mar*.
- Lozada, J. (2019). *Evaluación del sistema de recirculación de agua en la crianza de tilapia (Oreochromis niloticus) en la costa de la región La Libertad*. Universidad Privada Antenor Orrego.

- Machuca, M. (2022). *Evaluación de ciclo de vida (ECV) de un biofertilizante a partir de lodos y ensilado de peces*. Universidad de Concepción.
- Malakar, A., Snow, D. D., & Ray, C. (2019). Irrigation water quality-A contemporary perspective. In *Water (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 7).
<https://doi.org/10.3390/w11071482>
- Mateus, J. (2009). Acuaponía: Hidroponía y Acuacultura, Sistema Integrado de producción de alimentos. *Red Hidroponía*, 44.
- Matysiak, B., Kaniszewski, S., & Mieszczakowska-Frąć, M. (2023). Growth and Quality of Leaf and Romaine Lettuce Grown on a Vertical Farm in an Aquaponics System: Results of Farm Research. *Agriculture (Switzerland)*, 13(4).
<https://doi.org/10.3390/agriculture13040897>
- Mendoza, R., & Palomino, A. (2006). Manual de cultivo de trucha arco iris en jaulas flotantes. *FONDO NACIONAL DE DESARROLLO PESQUERO – FONDEPES*, 1999(December).
- Meza, M. (2018). Comportamiento de tres técnicas de cultivo hidropónico con lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico - Echarati - La convención - Cusco. *Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco*.
- MINAM. (2005). Ley N° 28611 Ley General del Ambiente. *Ministerio Del Ambiente*.
- MINAM. (2009). Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos. In *Repositorio ANA*.
- MINAM. (2017). DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM: Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*.

- MINAM. (2018). DS N° 010-2018-MINAM: Aprueban Límites Máximos Permisibles para Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto. *El Peruano*.
- Morales, A. (2019). *Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico prototipo, aplicado a tilapia gris (Oreochromis niloticus) y albahaca (Ocimum basilicum)*. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Moreno, E. W., & Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *Rebiol*, 34(2).
- Muñoz, M., & Paco, C. (2020). *Determinación de eutrofización producida por efluentes de estanques de piscicultura por medio del análisis de DBO en la ciudad de Canta: una revisión de la literatura científica*. Universidad Privada del Norte.
- Pedini, M. (1984). *Informes nacionales sobre el desarrollo de la acuicultura en América Latina*.
- Pérez, A. (2018). *Efecto del uso de mallas raschel de colores en plantas de Lactuca sativa L. Var. Waldmann's green bajo Sistema Hidropónico de Raíz Flotante*. Universidad Nacional de San Agustín.
- PRODUCE. (2020). *Resolución Ministerial N° 019-2019 PRODUCE. Protocolo para el Monitoreo de efluentes de los establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto*.
- Ramírez, D; Sabogal, D; Jiménez, P; Hurtado, H. (2008). La Acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1).
- Red de Comunicacion Regional. (2023, September 23). *Hortalizas del Colca es uno de los finalistas del Perumin inspira*.

Saavedra, G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017).

Manual de producción de Lechuga. *Manual de Producción de Lechuga Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias Boletín.*

Silvera, J., & Cantero, K. (2022). *Implementación de un sistema acuapónico híbrido (solar y tradicional) para el cultivo de tilapia roja, especies seleccionadas y forraje verde hidropónico como estrategia de producción más limpia en Polo Nuevo, Atlántico.* . Universidad de la Costa CUC.

Sistema Nacional de Acuicultura. (2022). *Manual para una acuicultura sostenible Cultivo de Trucha.* Ministerio de la Producción .

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. In *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas.* <https://doi.org/10.4060/i4021es>

Su, M. H., Azwar, E., Yang, Y. F., Sonne, C., Yek, P. N. Y., Liew, R. K., Cheng, C. K., Show, P. L., & Lam, S. S. (2020). Simultaneous removal of toxic ammonia and lettuce cultivation in aquaponic system using microwave pyrolysis biochar. *Journal of Hazardous Materials*, 396. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122610>

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrüg, C. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. *Ciencia y Tecnología.*

Torres, N. H., & Grandas, I. A. (2017). Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:631

- Tsoumalakou, E., Mente, E., Kormas, K. A., Katsoulas, N., Vlahos, N., Kapsis, P., & Levizou, E. (2022). Precise Monitoring of Lettuce Functional Responses to Minimal Nutrient Supplementation Identifies Aquaponic System's Nutrient Limitations and Their Time-Course. *Agriculture (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/agriculture12081278>
- Valderrama, S. (2013). Pasos para Elaborar Proyectos de Investigación Científica Cuantitativa, Cualitativa y Mixta. In *Editorial San Marcos* (2da Edición).
- Velichkova, K., Sirakov, I., Stoyanova, S., & Staykov, Y. (2019). Cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* w.) in the aquaponic recirculation system. *Journal of Central European Agriculture*, 20(3). <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.3.2223>
- Zhu, I. X., Getting, T., & Bruce, D. (2010). Review of biologically active filters in drinking water applications. In *Journal / American Water Works Association* (Vol. 102, Issue 12). <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2010.tb11364.x>



ANEXOS

ANEXO I: Programa de Monitoreo del Sistema Acuapónico

PARAMETROS	GEOTANQUE						BIOFILTRO			SALIDA BIOFILTRO	SUMIDERO		
	pH*	OD* (mg/L)	T* (°C)	Amonio** (ppm)	Nitrito** (ppm)	Nitrato** (ppm)	pH*	OD* (mg/L)	T* (°C)	Amonio** (ppm)	pH*	OD* (mg/L)	T* (°C)
MAÑANA	X	X	X				X	X	X		X	X	X
TARDE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

* Parámetros medidos con el Multiparámetro HANNA HI98194 de Lunes a Domingo

** Parámetros medidos con el KIT API FRESHWATER de forma Interdiaria

ANEXO II: Cronograma de alimentación de la Trucha Arcoíris

LINEA 1		
ETAPA	JUVENIL	ADULTA
ALIMENTO	CRECIMIENTO 1 Y 2	ENGORDE
LONGITUD DE LA TRUCHA	17 cm	25.54 cm
PESO PROMEDIO DE LA TRUCHA	68 g	160.72 g
CANTIDAD DE ALIMENTO DIARIO	87.72 g/día	151.40 g/día
RACION DIARIA	3 o 4 raciones	2 raciones
LINEA 2		
ETAPA	JUVENIL	ADULTA
ALIMENTO	CRECIMIENTO 2	ENGORDE
LONGITUD DE LA TRUCHA	20 cm	26.88 cm
PESO PROMEDIO DE LA TRUCHA	80 g	292.38 g
CANTIDAD DE ALIMENTO DIARIO	40.4 g/día	95.024 g/día
RACION DIARIA	3 o 4 raciones	2 raciones

ANEXO III: Peso y Longitud final de la Trucha Arcoíris de la Línea 1 y Línea 2

LINEA 1									
N.º	PESO	UNI	LONGITUD	UNI	N.º	PESO	UNI	LONGITUD	UNI
1	172	g.	24	cm	31	154	g.	23	cm
2	170	g.	22	cm	32	181	g.	22	cm
3	189	g.	24	cm	33	146	g.	24	cm
4	151	g.	23.5	cm	34	205	g.	20	cm
5	214	g.	26	cm	35	141	g.	22	cm
6	153	g.	23	cm	36	128	g.	25	cm
7	127	g.	23	cm	37	203	g.	22	cm
8	122	g.	20.5	cm	38	142	g.	25	cm
9	160	g.	22	cm	39	225	g.	26	cm
10	206	g.	24.5	cm	40	225	g.	21	cm
11	181	g.	24	cm	41	163	g.	21	cm
12	124	g.	21	cm	42	103	g.	19	cm
13	100	g.	19	cm	43	186	g.	121	cm
14	75	g.	18	cm	44	122	g.	17	cm
15	186	g.	23	cm	45	160	g.	122	cm
16	137	g.	23	cm	46	160	g.	23	cm
17	232	g.	26	cm	47	189	g.	24	cm
18	140	g.	23	cm	48	151	g.	23	cm
19	140	g.	24	cm	49	170	g.	22	cm
20	128	g.	16	cm	50	151	g.	19	cm
21	144	g.	22	cm	51	172	g.	24	cm
22	91	g.	19	cm	52	122	g.	17	cm
23	103	g.	19	cm	53	189	g.	25	cm
24	156	g.	24	cm	54	165	g.	22	cm
25	189	g.	25	cm	55	198	g.	25	cm
26	163	g.	22	cm	56	190	g.	25	cm
27	201	g.	26	cm	57	195	g.	25	cm
28	210	g.	25	cm	58	139	g.	19	cm
29	198	g.	22	cm	59	135	g.	15	cm
30	119	g.	23	cm	60	154	g.	18	cm

LINEA 2				
N.º	PESO	UNI	LONGITUD	UNI
1	327	g.	29	cm
2	435	g.	32	cm
3	515	g.	33	cm
4	214	g.	27	cm
5	216	g.	25	cm
6	308	g.	29	cm
7	219	g.	25	cm
8	250	g.	26	cm
9	196	g.	24	cm
10	426	g.	32	cm
11	299	g.	28	cm
12	229	g.	21	cm
13	342	g.	30	cm
14	430	g.	31	cm
15	350	g.	31	cm
16	216	g.	25	cm
17	216	g.	24	cm
18	250	g.	19	cm
19	273	g.	28	cm
20	279	g.	26	cm
21	256	g.	27	cm
22	279	g.	28	cm
23	263	g.	25	cm
24	229	g.	20	cm

ANEXO IV: Informe de ensayo de laboratorio de la Línea 1



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-00198/23

Página 1/3

DATOS DEL CLIENTE				
Solicitado por	:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		
Domicilio legal	:	URB. SAN JOSE (UMACOLLO) AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA		

DATOS DE LA MUESTRA				
Producto declarado ^(A)	:	AGUA SUPERFICIAL		
Lugar de Muestreo	:	VIVERO UCSM - AV. FERNANDINI 123 - SACHACA		
Fecha de Muestreo	:	2023-01-25		
Procedencia	:	Proporcionada por el solicitante.		
Cantidad recibida	:	02 muestras x 3.5 Litros		
Presentación y condición de recepción	:	En Frasco de Plástico Y Vidrio, Cerrado, Refrigerado Y Preservado		
Identificación y descripción ^(A)	:	Según se indica.		
Fecha de recepción	:	2023-01-25		
Fecha de inicio del ensayo	:	2023-01-25		
Fecha de término del ensayo	:	2023-02-01		
Ensayo realizado en	:	Laboratorio Ambiental Arequipa / Laboratorio Microbiología Arequipa		
Identificado con	:	H/S 23000682 (EXMA-01072-2023)		
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para muestra descrita		

Proyecto ^(A) : IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO COMO UNA ALTERNATIVA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACUÍCOLAS Y PRODUCCIÓN ORGÁNICA EN EL VIVERO DE LA UCSM - AREQUIPA				
Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
GEOTANQUE LINEA 1	226197.5	8182985.2	Geotanque de peces	Procedencia de la muestra: Agua potable Declorada
SUMIDERO LINEA 1	226196.3	8182982.8	Sumidero con agua tratada	Procedencia de la muestra: Agua potable Declorada

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-00198/23

Página 2/3

RESULTADOS

		Estación de Muestreo	GEOTANQUE LINEA 1	SUMIDERO LINEA 1
		Fecha y Hora de Muestreo	2023-01-25 12:50	2023-01-25 13:00
		Tipo de Muestra	Agua Natural Superficial	Agua Natural Superficial
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados
Parámetros Inorgánicos No Metálicos				
Amonio	0,026	mgNH4/L	0,141	<0,026
Parámetros Orgánicos				
Aceites y Grasas	0,50	mg/L	0,90	0,60
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2	mg/L	7,15	<2,00
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O)	2,5	mgO2/L	28,1	20,2
Parámetros Microbiológicos				
Coliformes Termotolerantes	1,8	NMP/100 mL	230	270
Escherichia Coli (NMP)	1,8	NMP/100 mL	< 1,8	< 1,8
Aniones por Cromatografía Iónica				
Nitrato (NO3)	0,009	mg/L	13,5	13,3
Nitrato (NO3-N)	0,002	mg/L	3,04	3,00
Nitrito (NO2)	0,004	mg/L	<0,004	0,149
Nitrito (NO2-N)	0,001	mg/L	<0,001	0,045
Sulfato	0,04	mg/L	116	115

CONTROLES DE CALIDAD

Ensayos	BM	LFB	Criterio de aceptación	Muestra	Duplicado	RPD	Criterio de aceptación
	< Límite Detección						
Amonio (LD: 0,026 mg NH ₄ /L)	< 0,026	108,2	85% - 115%	---	---	---	<20%
Demanda Química de Oxígeno (LD: 2,50 mg O ₂ /L)	< 2,50	103,2	85% - 115%	14,99	15,29	2,0	<20%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (LD: 2,00 mg/L)	< 2,00	195,0	198 ± 30,5 mg/L	7,14	7,20	0,28	<20%

Ensayos	BM	LFB	Criterio de aceptación	LFM / ORP	LFMD ORP-DUP	RPD	Criterio de aceptación
	< Límite Detección						
Aceite y grasas (LD: 0,50 mg/L)	< 0,50	97,50	78-114%	39,00	38,60	1,03	≤ 11%
Nitratos, (como N) (LD: 0,002 mg/L)	< 0,002	105,32	90% - 110%	4,48	4,52	0,72	<20%
Nitritos, (como N) (LD: 0,001 mg/L)	< 0,001	100,45	90% - 110%	3,10	3,09	0,38	<20%
Sulfatos, SO ₄ -2 (LD: 0,04 mg/L)	< 0,04	101,20	90% - 110%	119	118	0,11	<20%

BM: Blanco del Método
LFB: Blanco Fortificado de Laboratorio
LFM: Matriz Fortificada de Laboratorio
LFMD: Duplicado de Matriz Fortificada de Laboratorio
% RPD: Diferencia Porcentual Relativa

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”

INFORME DE ENSAYO N° 2-00198/23

Página 3/3

CONTROLES DE CALIDAD

Ensayos	Control	Caldo EC/A-1	Caldo EC	Agar mFC
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	(+), E.coli	Con crecimiento	Con crecimiento	Con crecimiento
	(-), E.aerogenes	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento
	(-), Blanco	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento

Ensayos	Control	Caldo EC-MUG	A. Mac Conkey	A. TBX
Escherichia coli (NMP/100 mL)	(+), E. coli	Con crecimiento	Con crecimiento	Con crecimiento
	(-), K. pneumoniae	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento
	(-), Blanco	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento

MÉTODOS

Aniones por Cromatografía Iónica: EPA Method 300.0. 1993. Determination of inorganic anions by ion chromatography

Aceites y Grasas: EPA Method 1664, Revision B. 2010.n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry

Amonio: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. (Revision 2021). 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method

Coliformes Termotolerantes (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed. (Revision 2022). 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (Revision 2019). 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. (Revision 2022). 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

Escherichia Coli (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F1, 23rd Ed. (Revision 2022). 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Escherichia coli Test (EC-MUG Medium)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 08 de febrero de 2023

CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.

Lic. Eddie Mendoza Mamani
C.O.P. N° 776
JEFE DEL LABORATORIO AREQUIPA

“Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC”

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”



CLIENTE: UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
DIRECCION LEGAL: URB. SAN JOSE SAN UMBALDO
TELEFONO:
LUGAR DE MUESTREO: VIVERO UCSP - AV. FERNANDINI 123 - SACHACA

CONTACTO: GRACE MEJIA
E-MAIL: kelym13@gmail.com
CELULAR: 960743005

CADENA DE CUSTODIA PARA PROTOTIPO

H/S:

EXMA : 01072-2023-01

CODIGO DE ESTACION Y/O MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE ENVASE		PARAMETROS																GEOREFERENCIA (UTM WGS 84)	
		FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	N° de Envases	BOD5	BOD6	AMONIO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	SOLUBILIDAD DE OXIGENO	E6TE	NORTE
GEOTANQUE LINEA 1	AGUA SUP.	25.01.2023	12:50 p.m.	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	226197.5	8182985.2
SUMIDERO LINEA 1	AGUA SUP.	25.01.2023	1:00 p.m.	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	226196.3	8182982.5
TOTAL				12																	



TIPO DE ENVASE: P: FRASCO DE PLASTICO / VA: FRASCO DE VIDRIO AMBAR / PA: FRASCO DE PLASTICO AMBAR / W: WINKLER / BP: BOLSA PLASTICA
TIPO DE MUESTRA: AGUAS NATURALES: AGUA SUBTERRANEA (ASUB) / AGUA SUPERFICIAL (ASUP) // AGUA RESIDUAL: AGUA RESIDUAL DOMESTICA (ARD) / AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL (ARI) / AGUA RESIDUAL MUNICIPAL (ARM) // AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO: AGUA DE BEBIDA (AB) / AGUA DE PISCINA (AP) / AGUA DE LAGUNA ARTIFICIAL (ALA) // AGUAS SALINAS: AGUA DE MAR (AM) / AGUAS SALOBRES (ASA) / SALMUERA (SAL) / AGUA DE INYECCION Y REINYECCION (AIR) // AGUA DE PROCESO: AGUA DE CIRCULACION O ENFRIAMIENTO (ACE) / AGUA DE ALIMENTACION PARA CALDERAS (ALC) / AGUA DE CALDERAS (AC) / AGUA DE LIXIVIACION (ALIX) / AGUA PURIFICADA (APU) / AGUA DE INYECCION Y REINYECCION (APRI)

DATOS DE MUESTREO:

Muestreado por: GRACE MEJIA
Fecha de finalización del muestreo: 25.01.2023
Hora de finalización del muestreo: 1:00 PM
Volumen Filtrado (m³):
Área de Draga (m²):
Flujo de Muestreo (m³/h):
Tiempo de Muestreo (h): 25 MINUTOS

CONDICIÓN DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:

En buen estado:	SI	X	NO
Recipiente apropiado:	SI	X	NO
Dentro del tiempo de conservación:	SI	X	NO
Correctamente preservadas:	SI	X	NO

RECIBIDO POR:

A. Valerita / J. Apaza

OBSERVACIONES

RESPONSABLE DEL MUESTREO:

GRACE MEJIA

FIRMA:



RESPONSABLE DE MUESTRAS / HORA Y FECHA

14:20 25-01-23

FIRMA:

⑥

7462 RM-01/H

ANEXO V: Informe de ensayo de laboratorio de la Línea 2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-00259/23

Página 1/3

DATOS DEL CLIENTE				
Solicitado por	:	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA		
Domicilio legal	:	URB. SAN JOSE (UMACOLLO) AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA		

DATOS DE LA MUESTRA				
Producto declarado ^(A)	:	AGUA SUPERFICIAL		
Lugar de Muestreo	:	VIVERO UCSM - AV. FERNANDINI 123 - SACHACA		
Fecha de Muestreo	:	2023-01-25		
Procedencia	:	Proporcionada por el solicitante.		
Cantidad recibida	:	02 muestras x 3.5 Litros		
Presentación y condición de recepción	:	En Frasco de Plástico Y Vidrio, Cerrado, Refrigerado Y Preservado		
Identificación y descripción ^(A)	:	Según se indica.		
Fecha de recepción	:	2023-01-25		
Fecha de inicio del ensayo	:	2023-01-25		
Fecha de término del ensayo	:	2023-02-01		
Ensayo realizado en	:	Laboratorio Ambiental Arequipa / Laboratorio Microbiología Arequipa		
Identificado con	:	H/S 23000682 (EXMA-01072-2023)		
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para muestra descrita		

Proyecto ^(A) : IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO COMO UNA ALTERNATIVA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACUÍCOLAS Y PRODUCCIÓN ORGÁNICA EN EL VIVERO DE LA UCSM - AREQUIPA				
Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
GEOTANQUE LINEA 2	226196.3	8182982.8	Geotanque de peces	Procedencia de la muestra: Agua potable Declarada
SUMIDERO LINEA 2	226191.1	8182984.4	Sumidero con agua tratada	Procedencia de la muestra: Agua potable Declarada

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-00259/23

Página 2/3

RESULTADOS

	Estación de Muestreo	GEOTANQUE LINEA 2	SUMIDERO LINEA 2	Fecha y Hora de Muestreo	Tipo de Muestra
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	
Parámetros Inorgánicos No Metálicos					
Amonio	0,026	mgNH ₄ /L	0,133	<0,026	
Parámetros Orgánicos					
Aceites y Grasas	0,50	mg/L	0,60	0,50	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	2	mg/L	<2,00	2,13	
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O)	2,5	mgO ₂ /L	14,2	19,4	
Parámetros Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	1,8	NMP/100 mL	32	1 700	
Escherichia Coli (NMP)	1,8	NMP/100 mL	< 1,8	< 1,8	
Aniones por Cromatografía Iónica					
Nitrato (NO ₃)	0,009	mg/L	10,0	9,43	
Nitrato (NO ₃ -N)	0,002	mg/L	2,26	2,13	
Nitrito (NO ₂)	0,004	mg/L	0,978	0,179	
Nitrito (NO ₂ -N)	0,001	mg/L	0,298	0,055	
Sulfato	0,04	mg/L	109	110	

CONTROLES DE CALIDAD

Ensayos	BM < Límite Detección	LFB	Criterio de aceptación	Muestra	Duplicado	RPD	Criterio de aceptación
Amonio (LD: 0,026 mg NH ₄ /L)	< 0,026	108,2	85% - 115%	---	---	---	<20%
Demanda Química de Oxígeno (LD: 2,50 mg O ₂ /L)	< 2,50	103,2	85% - 115%	14,99	15,29	2,0	<20%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (LD: 2,00 mg/L)	< 2,00	195,0	198 ± 30,5 mg/L	7,14	7,20	0,28	<20%

Ensayos	BM < Límite Detección	LFB	Criterio de aceptación	LFM / ORP	LFMD ORP-DUP	RPD	Criterio de aceptación
Aceite y grasas (LD: 0,50 mg/L)	< 0,50	97,50	78-114%	39,00	38,60	1,03	≤ 11%
Nitratos, (como N) (LD: 0,002 mg/L)	< 0,002	105,32	90% - 110%	4,48	4,52	0,72	<20%
Nitritos, (como N) (LD: 0,001 mg/L)	< 0,001	100,45	90% - 110%	3,10	3,09	0,38	<20%
Sulfatos, SO ₄ -2 (LD: 0,04 mg/L)	< 0,04	101,20	90% - 110%	119	118	0,11	<20%

BM: Blanco del Método
LFB: Blanco Fortificado de Laboratorio
LFM: Matriz Fortificada de Laboratorio
LFMD: Duplicado de Matriz Fortificada de Laboratorio
% RPD: Diferencia Porcentual Relativa

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-00259/23

Página 3/3

CONTROLES DE CALIDAD

Ensayos	Control	Caldo EC/A-1	Caldo EC	Agar mFC
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	(+), E.coli	Con crecimiento	Con crecimiento	Con crecimiento
	(-), E.aerogenes	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento
	(-), Blanco	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento

Ensayos	Control	Caldo EC-MUG	A. Mac Conkey	A. TBX
Escherichia coli (NMP/100 mL)	(+), E. coli	Con crecimiento	Con crecimiento	Con crecimiento
	(-), K. pneumoniae	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento
	(-), Blanco	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento

MÉTODOS

Aniones por Cromatografía Iónica: EPA Method 300.0. 1993. Determination of inorganic anions by ion chromatography

Aceites y Grasas: EPA Method 1664, Revision B. 2010.n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry

Amonio: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. (Revision 2021). 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method

Coliformes Termotolerantes (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed. (Revision 2022). 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (Revision 2019). 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. (Revision 2022). 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

Escherichia Coli (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F1, 23rd Ed. (Revision 2022). 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Escherichia coli Test (EC-MUG Medium)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 08 de febrero de 2023

CERTIFICACIONES DEL PERÚ S.A.


Lic. Eddie Mendoza Mamani
C.O.P. N° 776
JEFE DEL LABORATORIO AREQUIPA

“Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC”

“Este documento ha sido emitido con firma digital”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”

**ANEXO VI: Decreto Supremo 004-2017-MINAM: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida
de animales**

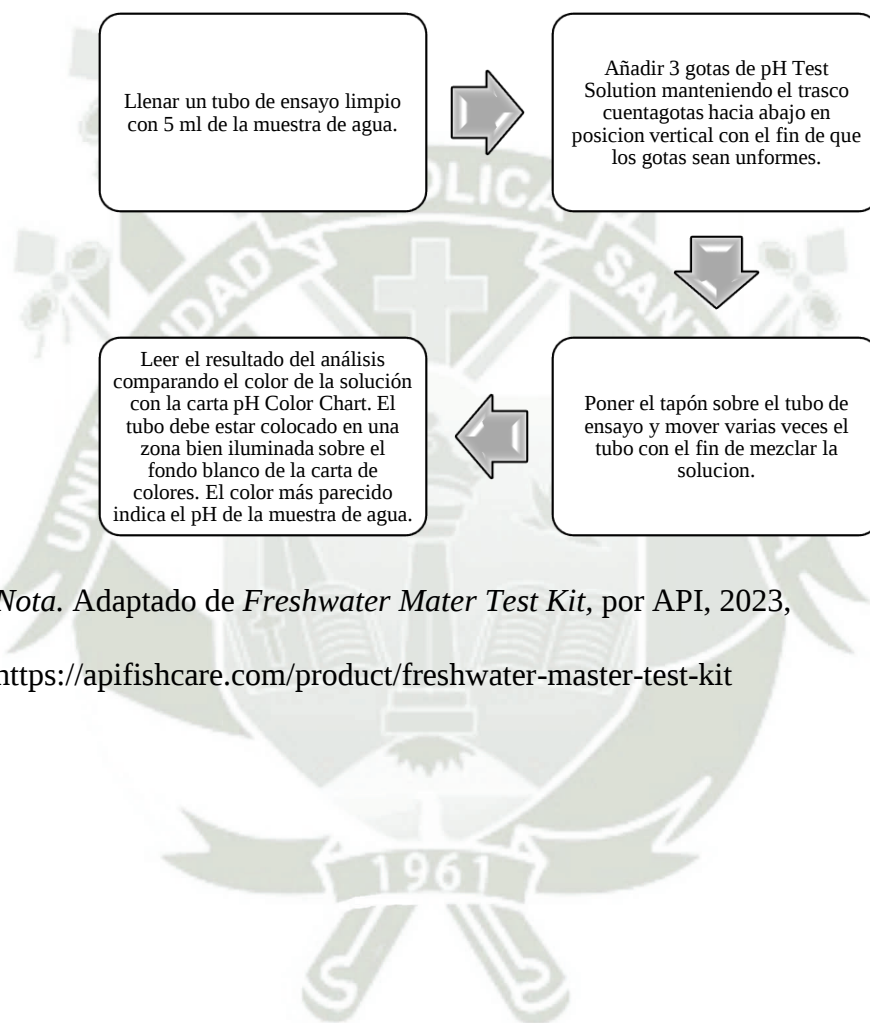
Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5	10	
Bicarbonatos	mg/L	518	**	
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1	
Cloruros	mg/L	500	**	
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)	100 (a)	
Conductividad	(μS/cm)	2 500	5 000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₂)	mg/L	15	15	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40	
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	0,5	
Fenoles	mg/L	0,002	0,01	
Fluoruros	mg/L	1	**	
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100	100	
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	10	10	
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 5	
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	
Sulfatos	mg/L	1 000	1 000	
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5	5	

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	μg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	μg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	μg/L	0,004		0,7
Clordano	μg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	μg/L	0,001		30
Dieldrin	μg/L	0,5		0,5
Endosulfán	μg/L	0,01		0,01
Endrin	μg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	μg/L	0,01		0,03
Lindano	μg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	μg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

ANEXO VII: Pasos para la medición de parámetros con el Kit Api Freshwater

Figura 60

Pasos para la medición de pH

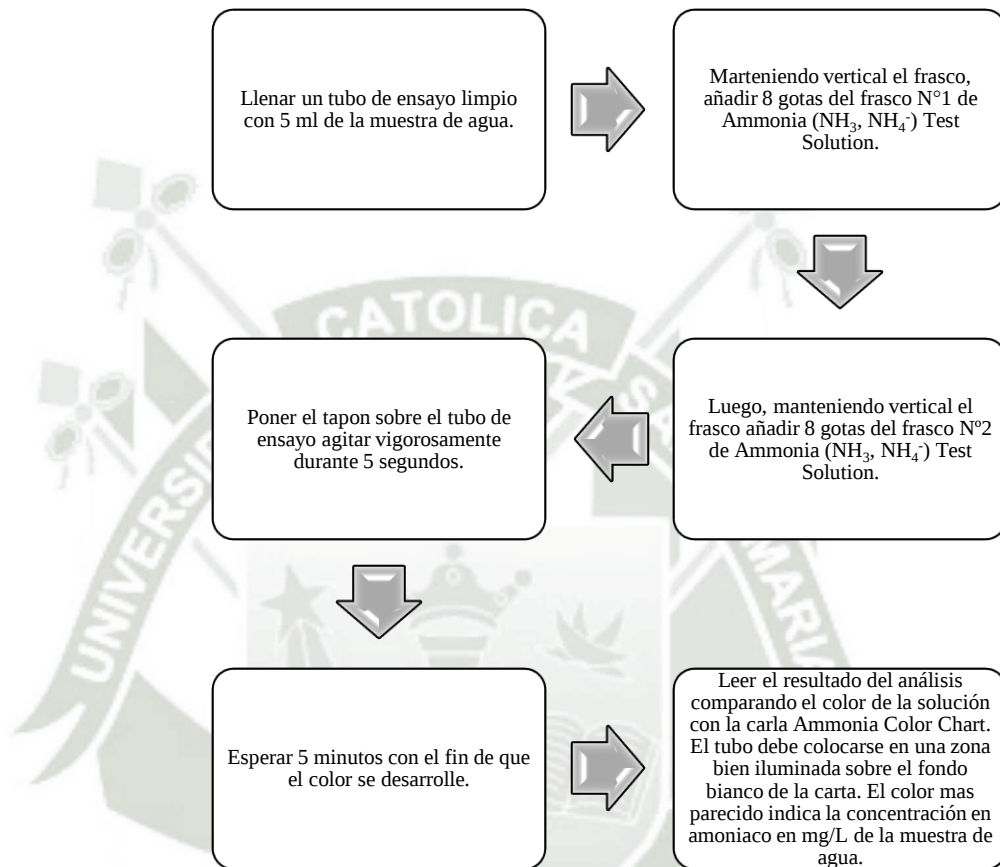


Nota. Adaptado de *Freshwater Master Test Kit*, por API, 2023,

<https://apifishcare.com/product/freshwater-master-test-kit>

Figura 61

Pasos para la medición de Amonio

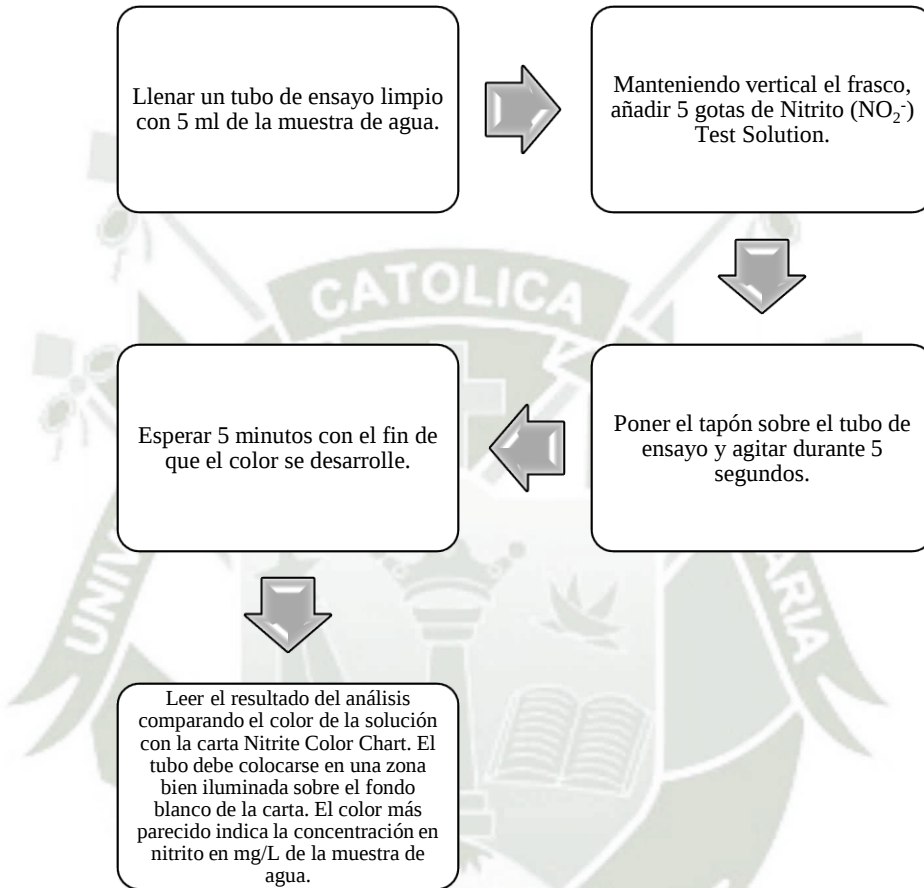


Nota. Adaptado de *Freshwater Mater Test Kit*, por API, 2023,

<https://apifishcare.com/product/freshwater-master-test-kit>

Figura 62

Pasos para la medición de Nitrito

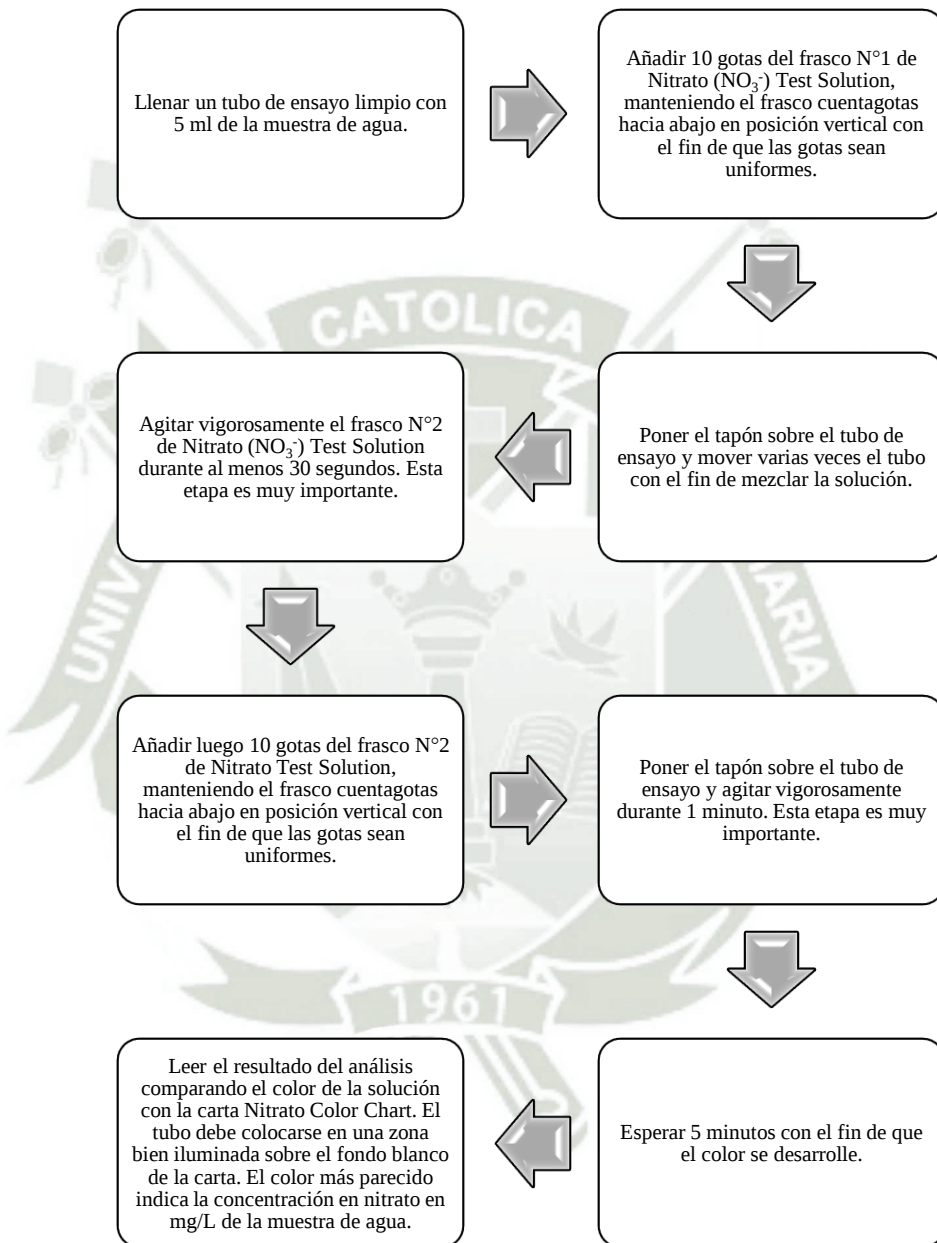


Nota. Adaptado de *Freshwater Master Test Kit*, por API, 2023,

<https://apifishcare.com/product/freshwater-master-test-kit>

Figura 63

Pasos para la medición de Nitrato



Nota. Adaptado de *Freshwater Mater Test Kit*, por API, 2023,

<https://apifishcare.com/product/freshwater-master-test-kit>