

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



**EFICIENCIA DE REDUCCIÓN DE NITRÓGENO AMONIAICAL TOTAL USANDO TRES
TIPOS DE BIOFILTROS EN UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN ACUAPÓNICO, EN LA
I.E. CORONEL CORTEGANA – CELENDÍN**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

PERCY LUIS, CANCINO PAREDES

ASESOR:

ING. M. Cs. ADOLFO MÁXIMO, LÓPEZ AYLAS

CAJAMARCA – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los seis días del mes de julio del año dos mil veintitrés, se reunieron en el **Aula - 105** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 175-2023-FCA-UNC**, de fecha **14 de marzo del 2023**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**EFICIENCIA DE REDUCCIÓN DE NITRÓGENO AMONIAICAL TOTAL USANDO TRES TIPOS DE BIOFILTROS EN UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN ACUAPÓNICO, EN LA I.E. CORONEL CORTEGANA - CELENDÍN**", realizada por el Bachiller **PERCY LUIS CANCINO PAREDES** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las dieciséis horas y cincuenta minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de quince (15); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las dieciséis horas y veinte minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Manuel Roberto Roncal Rabanal
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
VOCAL

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
ASESOR

COPYRIGHT © 2023 by
PERCY LUIS CANCINO PAREDES
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

Quiero dedicarle esta tesis de investigación a Dios, quien me dio la fortaleza para la realización de este proyecto, por brindarme salud para poder alcanzar mis metas como persona y como profesional, por darme la sabiduría para enfrentar y superar las dificultades que se presentan en el trayecto de mi vida.

A mi padre Ezequiel Cancino Lucio, a mi madre Victoria Paredes Jiménez, a mis hermanos Cesar, Liliana, Jhony, Noemi, Wilder y a mis cuñados José y Ruth por brindarme su apoyo económico como emocional a lo largo de mi trayectoria, porque han sido un sustento para poder culminar mi carrera profesional, sin ellos no habría podido realizar este trabajo de investigación.

A mi sobrina Diana y Citiahy por su apoyo emocional, a mis amigos, compañeros, y docentes por compartir sus conocimientos y experiencias.

¡Infinitamente agradecido con todos ustedes!

“No te dejes vencer por el mal; al contrario, vence el mal con el bien”.

Romanos 12:21

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a Dios, porque siempre mantiene a mi familia unida y de buena salud, con quienes comparto momentos alegres y tristes, que como familia siempre estamos para apoyarnos los unos a los otros para seguir creciendo como personas y como profesionales.

A mi asesor Ing. M. Cs. López Aylas, Adolfo Máximo, por su apoyo desinteresado que me brindó en la realización de esta investigación, por sus consejos claros y explícitos, por su tiempo y su experiencia al momento de desarrollar esta investigación.

A mis amigos, Dany Yaranga y Jhoset Ivan Livaque Vargas, que en algún momento prestaron su ayuda para la realización de esta investigación, a quienes recuerdo siempre con gratitud y aprecio.

A la I.E. Coronel Cortegana – Celendín, por haberme brindado el espacio para la construcción del proyecto de investigación llamado “sistema de recirculación acuapónico”.

ÍNDICE GENERAL

Ítem	Página
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO:.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRAC	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Antecedentes de la investigación.....	3
2.2. Bases teóricas	5
2.2.1. Acuicultura	5
2.2.2. Acuaponía.....	5
2.2.3. Sistema de recirculación acuapónico.....	5

2.2.4.	Pez tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	8
2.2.5.	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>).....	11
2.2.6.	Biofiltro	14
2.2.7.	Eficiencia del biofiltro	18
2.2.8.	Parámetros de calidad del agua	19
2.3.	Definición de términos básicos.....	21
2.3.1.	Biofiltro	21
2.3.2.	Porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total	22
2.3.3.	Tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total.....	22
2.3.4.	Bacterias nitrificantes	22
CAPÍTULO III.		23
MATERIALES Y METODOS		23
3.1.	Localización de la investigación.....	23
3.2.	Materiales	23
3.3.	Metodología.....	25
3.3.1.	Factor y variable independiente, niveles y tratamientos en estudio	26
3.3.2.	Diseño experimental y arreglo de los tratamientos	27
5.2.1	Croquis y diseño del experimento	28
3.3.3.	Procedimiento.....	31

3.3.4. Tratamiento y análisis de datos	36
CAPÍTULO IV.....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Análisis de varianza (ANOVA).....	40
4.1.1. Nitrógeno amoniacal total (NAT).....	40
4.1.2. Eficiencia de porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total	42
4.1.3. Tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total.....	44
4.2. Parámetros de campo.....	45
4.2.1. Oxígeno disuelto.....	45
4.2.2. Conductividad eléctrica	48
4.2.3. Temperatura.....	49
4.2.4. pH	51
CAPÍTULO V.	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
5.1. Conclusiones.....	54
5.2. Recomendaciones	55
CAPÍTULO VI.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
CAPÍTULO VII.....	64

ANEXOS.....	64
ANEXO 1. Presentación de la información y matriz de consistencia.....	65
ANEXO 2. Cálculos de los resultados.....	67
ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo del sistema de recirculación acuapónico. 70	
ANEXO 4. Panel fotográfico de la construcción, instalación y análisis del sistema de recirculación acuapónico.....	74
ANEXO 5. Resultados de los análisis del laboratorio regional del agua	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	página
Tabla 1 Lista y cantidades relativas de ingredientes para 10 kg de alimento.....	9
Tabla 2 Parámetros, rangos óptimos y aceptables para el cultivo de tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	11
Tabla 3 Tolerancia de las bacterias nitrificantes	19
Tabla 4 Factor y variable independiente.....	26
Tabla 5 Niveles y tratamiento en estudio según análisis de variación de un factor con varias muestras de grupo aleatorio ANOVA.	26
Tabla 7 Frecuencia de muestreo.	35
Tabla 8 Volumen de muestra y reactivos de preservación.	35
Tabla 9 Método de ensayo del NAT.....	36
Tabla 10 Esquema del diseño completamente al azar (DCA) para igual número de muestras por tratamiento	39
Tabla 11 Esquema del análisis de varianza del diseño completamente al azar (DCA).....	39
Tabla 12 Análisis de varianza (ANOVA) para el nitrógeno amoniacal total (NAT)	41
Tabla 13 Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para nitrógeno amoniacal total (NAT).....	42
Tabla 14 Eficiencia de porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total	43
Tabla 15 Tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total	44
Tabla 16 Análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto (OD).....	47
Tabla 17 Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para oxígeno disuelto (OD).....	47

Tabla 18	Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica (Ce)	49
Tabla 19	Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura (°C).....	50
Tabla 20	Análisis de varianza (ANOVA) para el pH.....	53
Tabla 21	Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para pH.....	53
Tabla 22	Esquema del diseño completamente al azar (DCA) para igual número de muestras.	65
Tabla 23	Esquema del análisis de varianza del diseño completamente al azar (DCA).....	66
Tabla 24	Matriz de consistencia	66
Tabla 25	Tabla de muestreos preprueba	70
Tabla 26	Tabla de muestreos posprueba	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	página
Figura 1 Esquema del biofiltro sumergido	15
Figura 2 Esquema del biofiltro percolador	16
Figura 3 Esquema del biofiltro disco rotatorio.....	16
Figura 4 Esquema del biofiltro Lecho fluidizado.....	17
Figura 5 Ubicación del sistema de recirculación acuapónico (SRA) en la I.E. Coronel Cortegana - Celendín.....	24
Figura 6 Croquis del sistema de recirculación acuapónico (SRA).....	28
Figura 7 Diseño del sistema de recirculación acuapónico (SRA).....	29
Figura 8 Invernadero tipo macro-túnel con recubierta de plástico agrofil calibre 8.	30
Figura 9 Puntos de monitoreo en el sistema de recirculación acuapónico	34
Figura 10 Nitrógeno amoniacal total en promedio.....	40
Figura 11 Eficiencia de porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total (NR).....	43
Figura 12 Oxígeno disuelto en promedio.	46
Figura 13 Conductividad eléctrica en promedio.....	48
Figura 14 Temperaturas en promedio.....	50
Figura 15 pH en promedio.....	51

RESUMEN

El objetivo principal fue evaluar la eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal total usando tres tipos de biofiltros en un sistema de recirculación acuapónico (SAR). Se aplicó un diseño experimental, además se utilizó un análisis de variación aleatorio de un factor, con un nivel de confianza del 95%. El experimento se realizó en la I.E. Coronel Cortegana de la ciudad de Celendín, donde se construyó un invernadero tipo macro túnel con una área de 25.8 m², un estanque de 2.5 m³ que albergó 85 tilapias (*Oreochromis niloticus*), tres tipos de biofiltros (sumergible T1, percolador T2 y sumergible + percolador T3 respectivamente; con capacidad de 0.02 m³, un caudal de 2.22 L/min y un tiempo de retención hidráulica de 1.7 horas) y tres camas de lechuga (*Lactuca sativa*) de tipo raíz flotante como indicador de reducción del NAT en los tres biofiltros. Se determinó la eficiencia de porcentaje de reducción del NAT, para el T1, T2 y T3 de 52.79, 29.73 y 25.33 % respectivamente, y una tasa de conversión volumétrica de 110.67, 62.34 y 53.05 g/m³ día⁻¹ respectivamente. Se puede concluir que el tratamiento más eficiente fue el T1 que representa al tipo de biofiltro sumergible, ya que alcanzó un mayor porcentaje de reducción y una tasa de conversión volumétrica del NAT de 52.79 % y 110.67 g/m³ día⁻¹ puesto que las bacterias nitrificantes (nitrosomonas y nitrobacter) transforman los desechos de peces del NAT a nitrato aprovechable para las lechugas.

Palabras clave: NAT, SRA, biofiltro, tilapia, eficiencia, tasa volumétrica, bacterias nitrificantes.

ABSTRACT

The main objective was to evaluate the total ammonia nitrogen reduction efficiency using three types of biofilters in a recirculating aquaponic (SAR) system. An experimental design was applied, in addition a random variation analysis of a factor was used, with a confidence level of 95%. The experiment was carried out at the I.E. Coronel Cortegana from the city of Celendín, where a macro tunnel greenhouse with an area of 25.8 m², a 2.5 m³ pond that housed 85 tilapia (*Oreochromis niloticus*), three types of biofilters (submersible T1, percolator T2 and submersible + T3 percolator respectively; with a capacity of 0.02 m³, a flow rate of 2.22 L/min and a hydraulic retention time of 1.7 hours) and three beds of lettuce (*Lactuca sativa*) of the floating root type as an indicator of NAT reduction in the three biofilters. . The NAT percentage reduction efficiency was determined for T1, T2 and T3 of 52.79, 29.73 and 25.33 % respectively, and a volumetric conversion rate of 110.67, 62.34 and 53.05 g/m³ day⁻¹ respectively. It can be concluded that the most efficient treatment was T1, which represents the type of submersible biofilter, since it reached a higher reduction percentage and a NAT volumetric conversion rate of 52.79 % and 110.67 g/m³ day⁻¹ since the bacteria Nitrifiers (Nitrosomonas and Nitrobacter) transform NAT fish waste into usable nitrate for lettuce.

Keywords: NAT, SRA, biofilter, tilapia, efficiency, volumetric rate, nitrifying bacteria.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

El intensivo crecimiento de la industria acuícola ha ido acompañado de un aumento de los impactos ambientales, ya que derivan sus efluentes con nutrientes en dilución, siendo compuestos orgánicos e inorgánicos tales como nitrógeno, fósforo, carbono orgánico y materia orgánica, que provienen del alimento que no fueron consumidos y por las excretas de los peces (Piedrahita, 2003, p.44). Según el Ministerio de Producción (PRODUCE, 2017) el Perú a fines del año 2016 produjo 91.339 toneladas de pescado exclusivamente del sector acuícola lo cual significó un leve crecimiento.

Así mismo en el año 2019 “Aprueban Plan de Manejo para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en ambientes artificiales de los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Huánuco, Junín y San Martín” con Resolución Ministerial N.º 040 -2019-PRODUCE.

Nelson (2007) cita que la acuaponía es una alternativa ideal para solucionar el problema de los acuicultores para deshacerse del agua cargada de nitrógeno. El desecho de los peces funciona como una fuente de alimento para las plantas y éstas a su vez, actúan como un filtro natural del agua en la que viven los peces (p.80)

En la ciudad de Celendín, específicamente en la I.E Coronel Cortegana se realizó el proyecto de un SRA; no obstante, hace necesario más estudios sobre el tema de cómo se afecta la calidad del agua, es por ello que la pregunta general de la investigación fue: ¿Cuál es la

eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal total usando tres tipos de biofiltros en un sistema de recirculación acuapónico, en la I.E. Coronel Cortegana - Celendín?

Para poder resolver la pregunta planteada y cumplir con los objetivos de la investigación se muestreo el nitrógeno amoniacal total en el efluente del estanque de los peces como en el efluente de los tres biofiltros durante 120 días, para ver cuál de los tres biofiltros es más eficiente.

En los muestreos realizados se determinó la eficiencia de porcentaje de reducción del NAT, para el T1, T2 y T3 de 52.79, 29.73 y 25.33 % respectivamente y una tasa de conversión volumétrica de 110.67, 62.34 y 53.05 $\text{g/m}^3 \text{ día}^{-1}$ respectivamente. Se puede concluir que el tratamiento más eficiente fue el T1 que representa al tipo de biofiltro sumergible, ya que las bacterias nitrificantes (nitrosomonas y nitrobacter) transforman las excretas de peces del NAT a nitrato aprovechable para las lechugas, manteniendo el agua limpia de esta manera se cuida el recurso, agua y suelo mejorando la optimización y desempeño ambiental, social y sanitario.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal total usando tres tipos de biofiltros en un sistema de recirculación acuapónico, en la I.E. Coronel Cortegana - Celendín.

Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal y la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total en los tres tipos de biofiltros.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, pH y caudal en los biofiltros.

CAPÍTULO II.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Delgado (2020) en su trabajo de estudio denominado “Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*) en acuaponía” Se trabajó con ejemplares de tilapia a una densidad de 7.64 kg/m³, alimentados con una dieta comercial (42% de proteína) durante 90 días. Se utilizaron 90 plántulas de lechugas tipo crespa de la variedad Bohemia (*Lactuca sativa*) la efectividad del tratamiento biológico logró reducir las concentraciones del NAT (47.61%), pH en promedio de 7.6 – 8.57 und. pH, CE con un promedio de 300 ± 600 μS/cm.

Pandia (2017) en su investigación nombrada “evaluación las vías de transformación de nitrógeno inorgánico producido en dos sistemas cerrados de cultivo de juveniles de paiche *Arapaima gigas*” en cuanto a los sistemas de recirculación se determinó porcentajes de eliminación de NAT de 17 a 79 %, una tasa volumétrica de conversión de NAT de 29 a 281 g.m⁻³. dia⁻¹ y una tasa volumétrica de conversión de nitrito de 2 a 250 g.m⁻³. dia⁻¹.

Gallego et al., (2017) en el artículo técnico que tiene por título “Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena tecnología y ciencias del agua” se introdujeron 418 peces, con una longitud promedio de 19 cm y peso promedio de 287 g. Para determinar la eficiencia y la tasa de conversión volumétrica del NAT se llevó a cabo un experimento de 62 días en un biofiltro percolador-columna de arena. Se utilizó un muestreo

estratificado, con un nivel de confianza de 95 %. La eficiencia de remoción del biofiltro fue de 77.22 ± 0.5 % de NAT; 26.46 ± 0.58 % de N-NO₂; -1.20 ± 1.36 % de N-NO₃; 11.14 ± 0.67 % de DQO, y 40.79 ± 0.78 % de SST. Las TVC NAT obtenidas para el biofiltro fueron de 147.12 ± 59.26 g de NAT/m³d. una eficiencia de remoción de NAT mayor a 70 %.

Mendoza (2015) en su investigación nombrada “evaluación del medio filtrante (UAEMex-1)” efectuó en condiciones de laboratorio un experimento con una duración de 120 días. Se evaluaron tres tratamientos con cargas de NAT distintas, con tres alturas de empaque diferentes. Para cada tratamiento se construyeron tres cilindros que emularon biofiltros percoladores. El porcentaje de eficiencia para la remoción de NAT que se logró en este estudio fue de $44.5\% \pm 6.01$ en promedio. Los resultados que se obtuvieron tras la evaluación de la Tasa de Conversión Volumétrica de NAT (TCVNAT). 103.46 ± 56.33 (g/m³d).

Mora et al., (2003) en su investigación denominado “evaluación de biofiltros de flujo ascendente y descendente para tratamiento de aguas residuales de un sistema de recirculación acuícola para cultivo de tilapia” el volumen utilizado en cada tanque fue de 250 L y la biomasa inicial del proyecto fue de 0.98 kg/m³, durante el experimento las concentraciones del NAT en el agua oscilaron entre 0.82 ± 0.97 mg/L, en los estanques de peces y de 0.36 ± 0.42 mg/L en los otros componentes de un sistema cerrado de recirculación.

Cisneros (2021) en su investigación denominado “producción acuapónica de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) El sistema acuapónico fue realizado con una carga inicial de tilapia de 5kg.m⁻³ con 20 lechugas encada cama acuapónica con adición de nutrientes deficitarios en el sistema, los niveles NAT en los tanques de peces fue menor a 1,6 mg. L⁻¹ (p.68).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Acuicultura

Es la cría de organismos acuáticos, comprendidos peces, moluscos, crustáceos y plantas, la cría supone la intervención humana para incrementar la producción, la acuicultura varía mucho según el lugar donde se lo realiza, desde la piscicultura en agua dulce en los arrozales de vietnam hasta la cría de camarón de estanques en agua salada en las costas de Ecuador, sin embargo, la mayor parte de la acuicultura se lleva a cabo en el mundo en desarrollo (FAO, 2003).

2.2.2. Acuaponía

Es un término que deriva de la fusión de dos palabras, “acua” de acuicultura y “ponía” de hidroponía la acuaponía puede definirse como el conjunto de un sistema hidropónico y uno de acuicultura recirculante (Rakocy, 2007, p.16).

La acuaponía es el cultivo combinado (ó co-cultivo) de peces y plantas en sistemas de recirculación (o circuito cerrado) donde existe una mínima pérdida de agua producto a la evaporación y transpiración de las plantas, alcanzando hasta un 10%, el alimento que no fueron consumidos y las excretas de peces provee los nutrientes requeridos para el crecimiento de las plantas (Jiménez, 2016).

2.2.3. Sistema de recirculación acuapónico

Por lo general, los sistemas de recirculación constan de componentes de filtración mecánica y biológica, bombas y tanques de retención, además pueden incluir una serie de elementos adicionales de tratamiento que mejoren la calidad del agua y proporcionen control sobre las enfermedades dentro del sistema, debe de estar respaldado por un proceso de diseño eficiente, además de un balance de masas que identifique y cuantifique todas las entradas y

salidas. Estos cálculos deben constituir la base para especificaciones de rendimiento (Hutchinson et al., 2004, p.70).

a) Ventajas y desventajas de un sistema de recirculación acuapónico

Ventajas

- Puede ser implementada a pequeña o gran escala.
- Se puede realizar en áreas reducidas ya que se adapta a cualquier espacio.
- No se deteriora el suelo, ni el agua.
- Crea poco desperdicio.
- Bajo consumo de energía, porque se usa la gravedad para movilizar el agua y sólo una bomba para producir la recirculación.
- Se obtienen plantas orgánicas, porque no se utilizan fertilizantes o químicos.
- Se obtienen dos fuentes de ingreso, plantas y peces.

Desventajas

- Proceso de instalación caro en comparación con la producción de vegetales en el suelo o en hidroponía
- Dependiente de energía eléctrica.
- Conocimientos en el manejo de plantas y peces.
- La cantidad de plantas producidas dependerá de la cantidad de peces.
- Errores o accidentes pueden causar el colapso catastrófico del sistema.

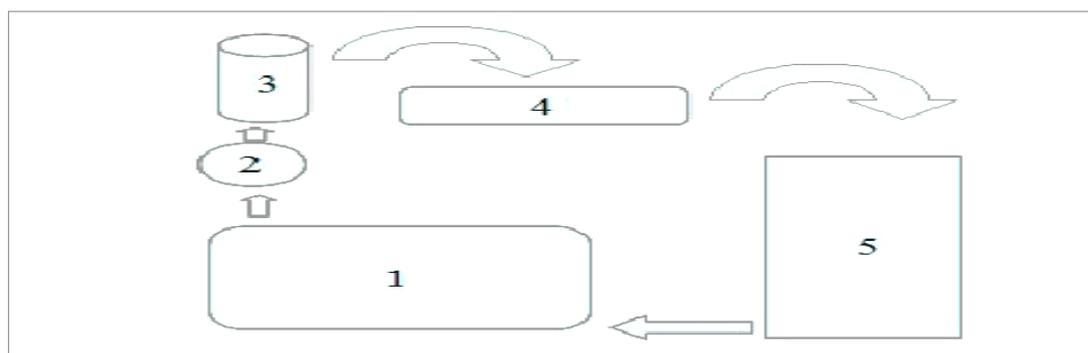
b) Partes de un sistema de recirculación acuapónico

Como componentes esenciales debe constar (**Figura 1**)

- 1 Un contenedor para los peces y plantas.
- 2 Bomba de agua.
- 3 Filtro mecánico.
- 4 Filtro biológico.

Figura 1

Esquema de un sistema de recirculación acuapónico



Fuente: (FAO, 2015).

- 5 Plantas y sustrato inerte.
- 6 Peces y alimento comercial para peces.
- 7 Tuberías.
- 8 Acceso a agua y energía eléctrica.

c) Manejo de un sistema de recirculación acuapónico

Conseguir el equilibrio del sistema, mantenerlo y asegurar unas condiciones óptimas para

los peces y las plantas suponen un estrecho control de diferentes parámetros. Los principales parámetros que deben estar perfectamente ajustados para satisfacer las necesidades adecuadas de las plantas y los peces son: La temperatura del agua, el OD, pH, NAT y la luz. Cuanto más óptimos sean estos parámetros, mayor será la productividad del sistema, asegurando al mismo tiempo una superficie adecuada para el crecimiento de una colonia bacteriana que convierta todos los desechos de los peces (Nelson, 2007).

Los Peces. Es el primer organismo en entrar al sistema, sus excretas favorecen la colonización de las bacterias nitrificadoras que a su vez crean las condiciones óptimas para la siembra de las plantas (Colagrosso, 2015).

Las Plantas. Son los últimos organismos que entran en un sistema acuapónico, se pueden escoger entre una amplia variedad de hortalizas, hierbas aromáticas y ornamentales (Nelson, 2007).

2.2.4. *Pez tilapia (Oreochromis niloticus)*

a) Taxonomía

- Género: Tilapia
- Reino: Metazoa
- Phylum: Chordata
- Clase: Actinopterygii
- Orden: Perciformes
- Familia: Cichlidae

b) Características morfológicas

La tilapia presenta un color en general cenizo azulado (gris), siendo el macho de un color mas claro al de la hembra, diferenciándose de estas la tilapia roja, la cual presenta un tono rosado a rojo, pudiendo variar en partes del cuerpo en ciertos casos (FAO, 2009).

c) Hábitat y biología

La tilapia habita en ambientes acuáticos dulceacuícolas (ríos, embalses, arroyos y lagos) se caracteriza de manera general por su gran resistencia a las variaciones ambientales, su gran capacidad reproductora, son capaces de ingerir una amplia variedad de alimentos de origen natural, como el plancton, hojas verdes, organismos bentónicos, desperdicios domésticos, torta de soya, semillas, frutas fraccionadas, bacterias y tejidos no digeridos en el abono adicionado al estanque (FAO, 2009).

Tabla 1

Lista y cantidades relativas de ingredientes para 10 kg de alimento

Ingredientes del alimento	Peso (kg)	Porcentaje total de alimento (%)	Análisis próximo	%
harina de maíz	1	10	materia seca	91,2
harina de trigo	1	10	proteína cruda	30
harina de soya	6,7	67,2	grasa cruda	14,2
aceite de soya	0,2	2	fibra cruda	4,8
salvado de trigo	0,7	7,8	Ceniza	4,6
cantidad total	10	100	–	–

Fuente: FAO (2009).

d) Etapa del desarrollo

Klinge (2000) describe tres etapas de desarrollo de la tilapia:

Huevos. Generalmente son de color amarillo claro, no translúcido, de un diámetro de aproximadamente 2 mm a 3 mm de forma ovoide; normalmente dura de 3 a 5 días

dependiendo de la temperatura, hasta la eclosión, (Incubación bucal).

Alevín. Se llama así al pez recién salido del huevo y que aún conserva el saco vitelino, el cual es la fuente de alimentación del pez durante varios días. Este estadio dura aproximadamente de 10 a 15 días, en los que la hembra protege a los alevines de 5 a 8 días, durante los cuales estos entran y salen con frecuencia, teniendo una talla entre 0,7 a 1,4 cm.

Cría. Se denomina así al pez cuando absorbió por completo el saco vitelino y comienza a alimentarse por sí mismo, alcanza una talla de 3 a 5 cm la cual se logra dentro de un período de 15 a 30 días.

Juvenil. Este estadio tiene una duración aproximada de 45 a 60 días, en donde alcanza una talla de 7 a 12 cm. En cuanto a las exigencias alimenticias estos se asemejan a los del adulto.

Adulto. Este estadio se alcanza a partir de los 10 a 18 cm de longitud y pesos entre 70 y 100 g, características que se obtienen a los tres meses y medio de edad. Los ejemplares adultos pueden llegar a alcanzar de 1kg a 3 kg de peso vivo.

e) Beneficios de consumir la carne del pez tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Su carne provee variedad de nutrientes como la vitamina A, E y B, por otra parte, los minerales presentes son el fósforo y hierro (Casas, 2008).

f) Parámetros físico - químicos del agua en el cultivo del pez tilapia (*Oreochromis niloticus*)

La calidad del agua es uno de los factores determinantes en el éxito de una producción

piscícola, los peces requieren condiciones mínimas para realizar sus funciones vitales, por tal razón se hace necesario un control permanente de los parámetros físicos y químicos del agua (Casas, 2008), (ver **Tabla 2**).

Tabla 2

*Parámetros, rangos óptimos y aceptables para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*)*

Parámetros	Unidad	Nivel óptimo (para eclosión)	Nivel límite permitido
Nitritos	mg/l	Debajo de 0,5	<400
Nitratos	mg/l	0.1 – 10,0	15,0
Amonio	mg/l	<1	3,0
OD	mg/l	6 – 8	03-12
pH	pH	6,0 - 8,5	9,0
T	°C	1 °C a 35 °C	13 °C

Fuente: FAO (2009).

2.2.5. Lechuga (*Lactuca sativa*)

a) Características morfológicas

La lechuga es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia Compositae, cuando es joven contiene en sus tejidos un jugo lechoso llamado látex, presenta una raíz principal pivotante, corta, puede llegar a penetrar hasta 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones; tiene numerosas raíces laterales de absorción (July & Roislen, 2019).

El tallo es pequeño, muy corto, cilíndrico, sus hojas por su forma son lanceoladas, oblongas o redondas, el borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, lo cual depende de la variedad; su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo (Vallejo, 2004, p.347).

b) Propiedades de la lechuga

Una de las propiedades más destacables de la lechuga es que se trata de una de las verduras con mayor contenido en agua un 94 %, está bien provista de minerales, especialmente de potasio, calcio, fósforo y magnesio, así como oligoelementos (cobre, manganeso, níquel, cinc) También es rica en vitaminas: A, B, C y E (July & Roislen, 2019).

c) Beneficios

July & Roislen (2009) describe los beneficios de la lechuga:

- Tiene cualidades hipnóticas, que ayudan a conciliar el sueño, y también analgésicas frente al dolor, propiedades calmantes.
- Posee una acción aperitiva, estimulando las glándulas digestivas, así como una suave actividad laxante por su contenido en fibra, debido a que drena el hígado, ejerce una acción depurativa general del organismo.
- También posee propiedades hipoglucemiantes (reduce el azúcar en sangre), lo que hace aconsejable su consumo por los diabéticos, como es rica en betacaroteno, contribuye a la prevención del cáncer, especialmente de colon y pulmón.

d) Proceso de incorporación de nutrientes

La incorporación de nutrientes empieza con los procesos respiratorios y fotosintetizados, una gran proporción de esta respiración se da en las raíces, ya que éstas respiran entre un 20 y un 40 % del total de los fotoasimilados producidos por la planta durante el día (Beltrano & Gimenez, 2015).

El proceso comienza cuando los pelos absorbentes de las raíces de la planta toman las sustancias nutritivas y sales minerales, mezclándolos y creando la savia bruta,

sube por los vasos leñosos, las hojas de la planta tienen pequeños poros que se llaman estomas a través de los estomas entra el dióxido de carbono que se mezcla con la savia bruta y comienza el proceso de fotosíntesis, que es como se crea la savia elaborada, liberando oxígeno (Rodríguez, 2020).

e) Proceso de osmosis

Las plantas acumularían nitrato para aumentar su potencial osmótico y establecer una diferencia de potencial hídrico. Al disminuir la actividad fotosintética, disminuyen los ácidos orgánicos y azúcares disponibles para la regulación osmótica, siendo en parte reemplazados por otros iones, nitrato principalmente, en su función osmótica. Esta teoría se apoya en la relación inversa observada en distintas especies entre la concentración de nitrato y la de compuestos orgánicos solubles. La utilización de nitrato con fines osmóticos supone un menor coste energético (ATP) para la planta, que la síntesis y almacenamiento de carbohidratos (Blom, 1995).

f) Metabolismo del nitrógeno en la planta

El nitrógeno es absorbido por las plantas principalmente como NO_3^- y en menor medida como NH_4^+ .

El NH_4^+ es altamente tóxico para las células vegetales, por lo cual no se acumula en ninguna parte y es transformado rápidamente en compuestos orgánicos. El aumento del contenido de NH_4^+ celular causa: proteólisis, desintegración de membranas, inhibe la formación de ATP, produce destrucción de clorofila y cloroplastos (Bermejillo & Zuluaga, 2015).

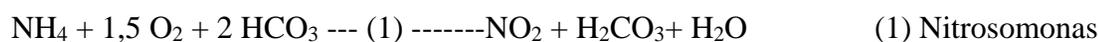
La mayor parte de los NO_3^- son absorbidos por las raíces de las plantas, después de ser absorbido, el nitrato es transportado de las raíces a través del xilema. En las células el nitrato es distribuido en dos reservorios: el "reservorio metabólico", ubicado en el citoplasma y el de "almacenamiento", ubicado en las vacuolas. En el "reservorio metabólico" es incorporado a las proteínas (Bermejillo & Zuluaga, 2015).

2.2.6. *Biofiltro*

Los biofiltros, también denominados filtros biológicos, son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes desde una corriente de fluido mediante un proceso biológico y la eficiencia en la reducción de la concentración de sustancias contaminantes o indeseables, dependerá directamente de la composición del filtro biológico o biofiltros empleado (Guerra & Silva, 2013, p.3).

a) **Proceso de nitrificación en un biofiltro**

El agua debe ser dirigida hacia los filtros biológicos o biofiltros, el biofiltro posee un sustrato al que se fijan las bacterias nitrificadoras del género nitrosomonas (que realizan la oxidación del amoníaco a nitrito) y del género nitrobacter (que oxidan el nitrito hasta nitrato). Estas reacciones de oxidación comprenden el proceso de nitrificación, que se produce mientras corre el agua a través del biofiltro (según la ecuación más abajo). Durante la nitrificación se consumen cerca de 4,6 g de oxígeno por cada gramo de amoníaco oxidado a nitrato (Kubitza, 2006, p.9).



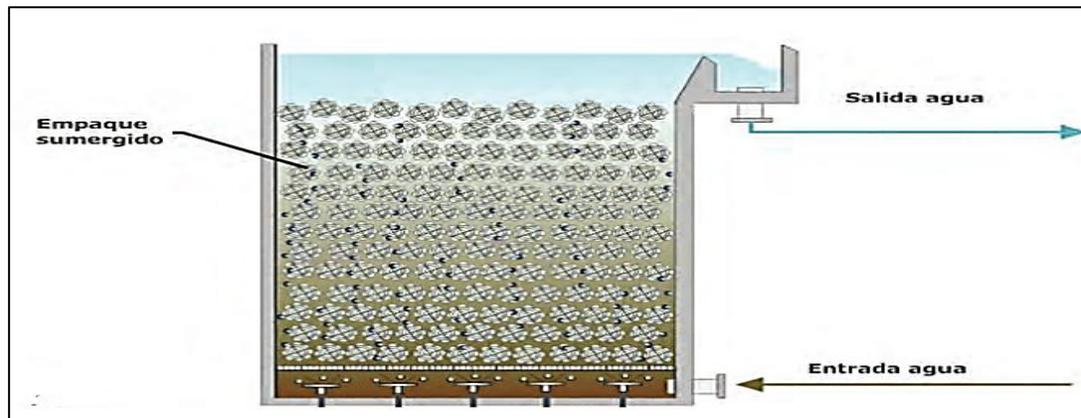
b) Tipos de biofiltros

Sandu et al., (2002) describe cuatro tipos diferentes de biofiltros:

- **Los biofiltros sumergidos:** Estos presentan un medio de fijación sumergido constantemente bajo el agua, los medios de fijación utilizados en este tipo de biofiltro incluyen grava, conchas de ostras, perlas de plástico sólido, anillos plásticos extruidos, entre otros.

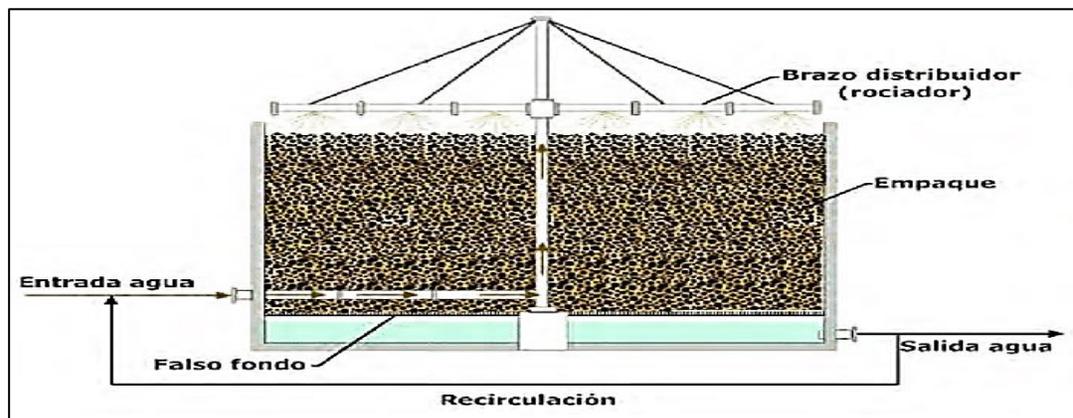
Figura 1

Esquema del biofiltro sumergido



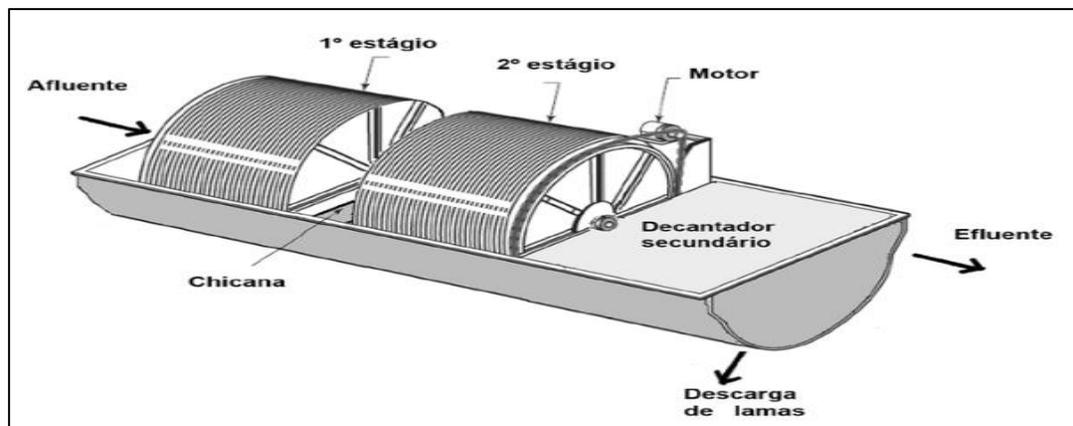
Fuente: Sandu et al., (2002).

- **Los filtros percoladores:** El diseño de filtros percoladores es similar a la de los filtros sumergidos, excepto que el agua residual fluye hacia abajo por sobre el medio y mantiene la película bacteriana mojada, pero nunca completamente sumergida. El filtro percolador puede remover de 23-52 por ciento de amonio (Timmons et al., 2002).

Figura 2*Esquema del biofiltro percolador*

Fuente: Timmons et al., (2002).

- **Disco rotatorio:** En este sistema, el sustrato para las bacterias nitrificantes se compone de una serie de placas circulares paralelas, que están montados en un eje con un pequeño espacio entre ellos. Los discos están parcialmente sumergidos y giran sobre el eje, utilizando un motor de engranaje de baja velocidad o una rueda de paletas accionada por el flujo de agua (Timmons et al., 2002).

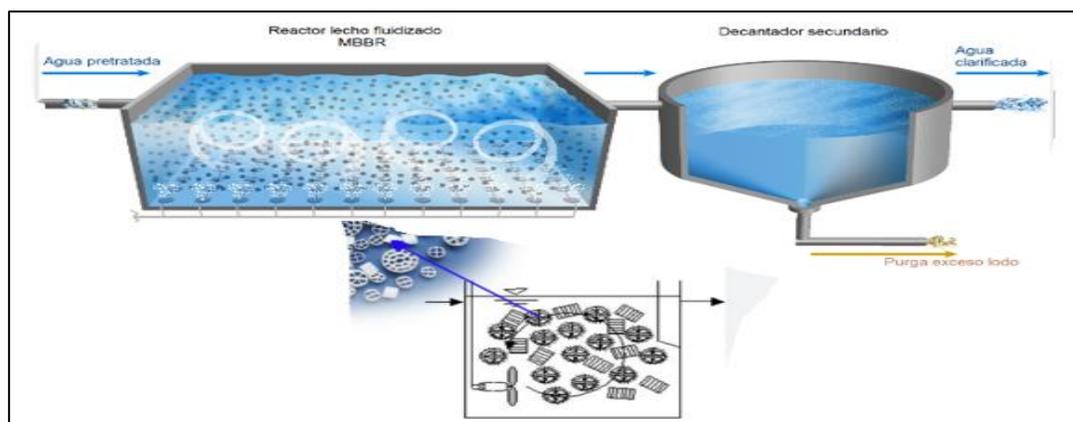
Figura 3*Esquema del biofiltro disco rotatorio*

Fuente: Timmons et al., (2002).

- **Lecho fluidizado:** En este sistema el agua entra en el fondo de un cilindro con velocidad para ampliar el medio de fijación. La arena es uno de los sustratos más comunes utilizados en los filtros de lecho fluidizado como medio de fijación, sin embargo, debido a su densidad, se requiere una cantidad considerable de agua para hacer que se expanda.

Figura 4

Esquema del biofiltro Lecho fluidizado



Fuente: Sandu et al., (2002).

c) Eficiencia de la nitrificación

La eficiencia de la nitrificación dependerá de sinnúmeros de factores inherentes al diseño y a la construcción del filtro biológico, así como al mantenimiento de las condiciones ambientales favorables al desarrollo y actividad de las bacterias nitrificadoras. Los biofiltros evaluados en sistemas de recirculación con peces, remueven cerca del 0,2 a 0,6 g de amoníaco/m² del área de contacto del sustrato en el interior del biofiltro. Cada tipo de sustrato posee una superficie específica disponible para la fijación de las bacterias (expresada en m²) para cada metro cúbico de volumen

de sustrato. Para la arena gruesa este valor es de $2.300 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Las esferas plásticas de 3 mm poseen superficie específica próxima a $1.700 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Cuanto menor sea la partícula, mayor superficie específica será la del sustrato (Guerra & Silva, 2013).

2.2.7. Eficiencia del biofiltro

Kir (2009) plantea la tasa de reducción de amonio (NR en %), para determinar el ciclo de reducción de amonio de los biofiltros. La NR se define como el porcentaje de NAT (nitrógeno amoniacal total) que se reduce después de pasar a través del biofiltro. La NR se calculó utilizando la ecuación 1.

$$\text{NR} = ((\text{NATi} - \text{NATs}) / \text{NATi}) * 100 \dots \dots \dots (1)$$

- Donde NR es la reducción de amonio, expresado en porcentaje. NATi es el nitrógeno amoniacal total de ingreso y el NATs es el nitrógeno amoniacal total de salida. Las unidades son expresadas en mg/L y el resultado en porcentaje.

Malone y Pfeiffer (2006) proponen la utilización de la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total (VTR por sus siglas en ingles), como principal indicador para evaluar la eficiencia de los biofiltros. La VTR se calcula utilizando la ecuación 2:

$$\text{VTR} = (\text{NATi} - \text{NATs}) * (\text{Qi} / \text{Vb}) \dots \dots \dots (2)$$

- Donde VTR es la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total (en $\text{g}/\text{m}^3 \text{ día}$), el NATi es el nitrógeno amoniacal de ingreso (en g/m^3), el NATs es el nitrógeno amoniacal total de salida (en g/m^3), el Qi es el caudal de agua de ingreso en el biofiltro (en $\text{m}^3/\text{día}$) y Vb es el volumen del biofiltro (en m^3).

2.2.8. *Parámetros de calidad del agua*

Para monitorear el sistema es necesario medir y registrar en una bitácora, de manera semanal, el análisis de la calidad del agua (Somerville et al., 2014). Recomienda que la temperatura y pH, en la medida de lo posible, se mida diario; los demás parámetros se recomiendan que se midan semanalmente. En la **Tabla 3**, se muestran algunos de las variables ideales relacionadas con las bacterias en los sistemas de recirculación acuapónico.

Tabla 3

Tolerancia de las bacterias nitrificantes

Parámetro	Unidad	Bacterias
Temperatura	°C	17 - 34 °C
Oxígeno disuelto	mg/L	4 - 8 mg/L
pH	Und.	6 - 8.5 Und. de pH
Amonio NH ₄	mg/L	>3
Nitrito NO ₂	mg/L	>3
Nitrato NO ₃	mg/L	>400

Fuente: Somerville et al., (2014)

2.2.8.1. **Oxígeno**

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros más importantes que determinan la calidad del agua en un sistema de recirculación, es el limitante para la capacidad de carga y la densidad de siembra dentro de los SRA (Bocioc et al., 2010).

De manera que es necesario mantener una alta concentración de oxígeno disuelto para la buena salud de los organismos cultivados y el buen funcionamiento del biofiltro relacionado al mantenimiento de bacterias aeróbicas (Watson & Hill, 2006, p.62).

2.2.8.2. Nitrógeno amoniacal total

El amonio es el principal producto de excreción de nitrógeno de los organismos acuáticos y se encuentra disuelto en el agua en una forma ionizada (NH_4^+), otro compuesto nitrogenado en el agua es la forma no ionizada, conocida como el amoníaco (NH_3). Las dos formas juntas conforman el nitrógeno amoniacal total (NAT). Cuanto mayor sea el pH, mayor es el porcentaje del amoníaco presente (forma tóxica). El amonio es un compuesto resultante de catabolismo proteico (Pereira & Mercante, 2005, p.88).

En sistemas acuapónicos el rango seguro de nitrógeno amoniacal total debe ser menor a 3 mg/L (FAO 2009), mientras que Nelson (2007) sugiere un rango de 1 mg/ L para peces de agua fría, asimismo, Timmons y Ebeling (2007) sugiere un rango 2 o 3 mg/ L para peces de agua cálida.

2.2.8.3. Amoníaco

La concentración del amoníaco como tal puede afectar directamente la tasa de nitrificación, en general la capacidad del biofiltro para oxidar nitrógeno aumenta proporcionalmente con el aumento de la concentración del amoníaco en un rango limitado de concentraciones. Se asume que la relación proporcional existe en el rango de <1 hasta al menos 3 ppm. (Timmons et al., 2002).

2.2.8.4. Temperatura

Un parámetro ambiental determinante para el crecimiento de peces en cautiverio es la temperatura, la cual incrementa proporcional y positivamente la tasa de crecimiento hasta alcanzar su nivel óptimo, después de la cual tiene efectos negativos (Pepe et al., 2012, p.907).

Martínez (2002) sostiene que se conoce el efecto que tiene la temperatura sobre el metabolismo de los peces, la cual incrementa los costes de mantenimiento de las funciones corporales, acelera el crecimiento y aumenta las demandas energéticas asociadas con la actividad del pez, además repercute en una mayor excreción de amonio (p.177).

2.2.8.5. pH

Las bacterias nitrificantes funcionan adecuadamente entre un rango de pH entre 6-8.5, estas bacterias trabajan mejor a pH más altos, con las bacterias del grupo de las nitrosomas prefieren un pH de 7.2–7.8, y las del grupo Nitrobacter prefieren un pH de 7.2–8.2, sin embargo, el pH objetivo en acuaponía es entre 6-7, que es un punto medio para todos los organismos de este ecosistema (Wurts & Durborow, 1992, p.4).

Si las lecturas de pH se encuentran rangos de rango 6-7, se reduce el crecimiento de los peces. Con valores por debajo de 4.5 o por encima de 10, se producen mortalidades. En los sistemas de recirculación, la nitrificación producida por las bacterias en el biofiltro y la respiración de los peces disminuyen el pH (Nelson, 2007).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Biofiltro

Los biofiltros, también denominados filtros biológicos, son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes desde una corriente de fluido mediante un proceso biológico y la eficiencia en la reducción de la concentración de sustancias contaminantes o indeseables, dependerá directamente de la composición del filtro biológico (Guerra & Silva, 2013).

2.3.2. Porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total

Según Kir (2009) el NR se define como el porcentaje de nitrógeno amoniacal total que se remueve después de pasar a través del biofiltro, puede ser del 30 al 50 %.

2.3.3. Tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total

Según Guerdat et al., (2010) la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total es definida como el incremento diario de nitrógeno amoniacal convertido a nitritos por unidad de volumen, es usada como el indicador para evaluar el rendimiento de los biofiltros (p.38).

2.3.4. Bacterias nitrificantes

Según Montero (2011) las bacterias nitrificantes juegan un papel importante en un sistema de acuaponía. Las bacterias nitrificantes convierten los desechos de pescado, que ingresan al sistema como amoníaco en nitratos, que fertilizan las plantas. La nitrificación involucra dos bacterias nitrificantes:

1. Conversión de amoníaco en nitritos – Esto lo hacen las Nitrosomonas, cuando hay una sobrecarga de desperdicio de alimentos, se produce un exceso de amoníaco en el agua. La bacteria Nitrosomonas convierte el amoníaco en nitritos.

2. Conversión de nitritos en nitrato: esto lo realiza Nitrobacter. La bacteria Nitrobacter se alimenta de nitritos. Los nitritos se convierten en nitratos una vez que nitrobacter los consume. Las plantas crecen rápidamente cuando absorben nitratos. El exceso de nitritos puede matar a los peces. Para mantener sanos los peces y las plantas, los nitritos deben convertirse en nitratos.

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la investigación

Se realizó en la Institución Educativa Coronel Cortegana de Celendín ubicado al norte de la ciudad de Celendín a una altitud de 2612 msnm con coordenadas UTM, N: 9241063.00 m y E: 815541.00 m; perteneciente al distrito Celendín, provincia Celendín, departamento Cajamarca ver **Figura 5**.

3.2. Materiales

- **Material experimental**

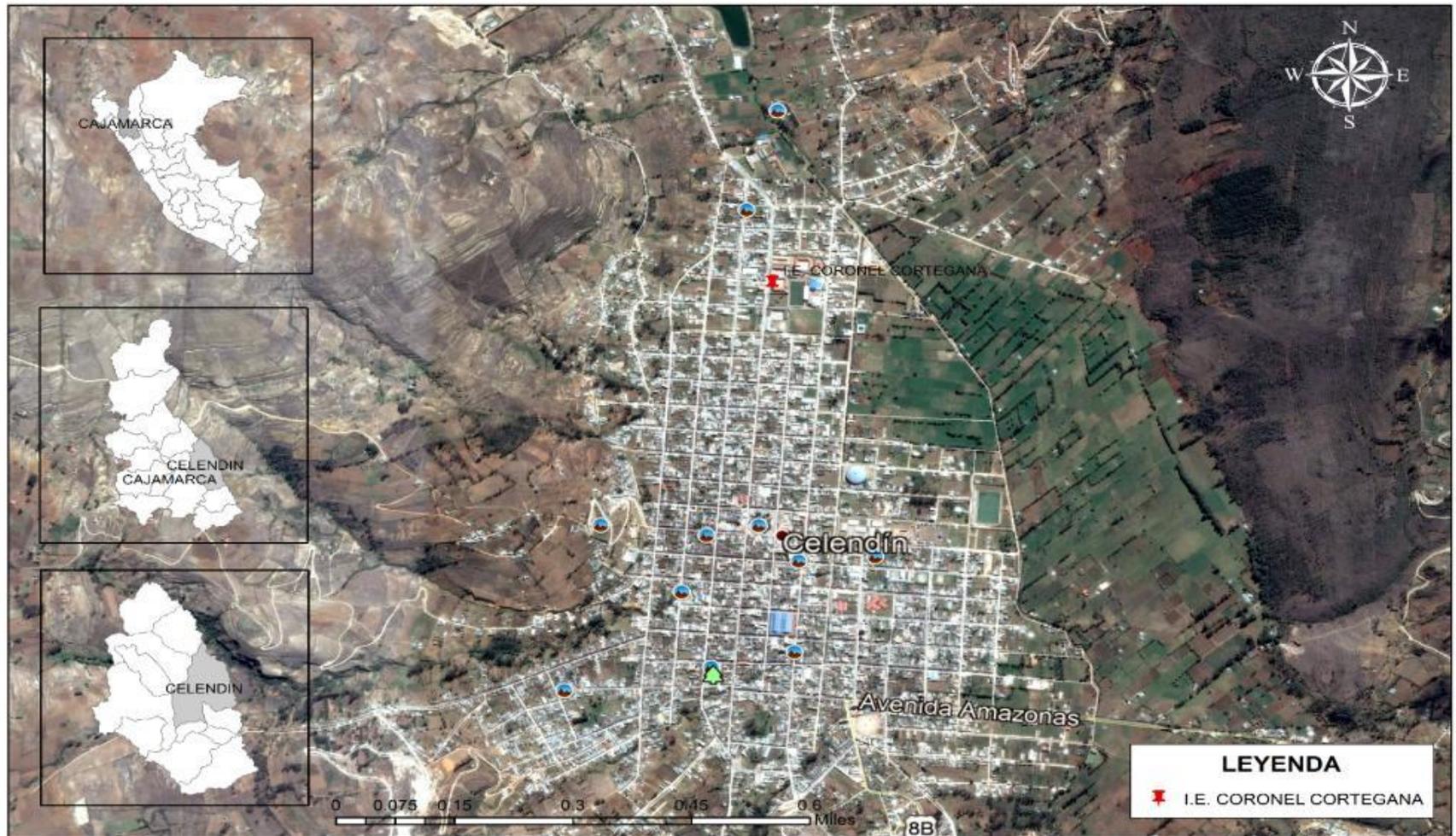
Efluente del estanque de peces del sistema de recirculación acuapónico.

- **Materiales de campo**

- GPS Garmin gpsmap 64sx
- Multiparámetro medidor de pH/CE/OD/TDS/temperatura HI98130
- Cámara fotográfica canon powershot ELpH 190 20 MP 14X
- Cronómetro leap profesional digital sports stopwatch timer
- Fichas de registro de campo
- Cinta de embalaje

Figura 5

Ubicación del sistema de recirculación acuapónica (SRA) en la I.E. Coronel Cortegana - Celendín.



- **Materiales y equipo de laboratorio**
 - Agua destilada y Vaso de precipitación
 - Laptop Toshiba core i7 con software para procesamiento de datos
 - Impresora y papel bond A4
- **Otros materiales**
 - Equipo de protección personal (EPP)
 - Timer digital
 - Geomembrana para el estanque de peces
 - Electrobomba de 0.5 Hp
 - Tubo de 1/2"
 - Codos de 1/2"
 - Unión y adaptador 1"
 - Llave de paso, pegamento
 - Balde de 20 L para filtro
 - Esponja para filtros
 - Tapas de plástico para filtro
 - Grava de río
 - Alimento extruido para trucha de la marca NALTECH
 - Reglas de madera

3.3. Metodología

Se manipuló la variable independiente para ver cómo esta afecta a las variables dependientes y medir los efectos que se producen (Hernández et al., 2008). Para calcular el

porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total se aplicó un diseño de preprueba – posprueba; el análisis preprueba del afluente del sistema de tratamiento proporcionó un dato de referencia inicial, luego se administró un estímulo o tratamiento empleando tres tipos de biofiltros y al evaluar el análisis posprueba después del tratamiento se determinó el porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total.

3.3.1. Factor y variable independiente, niveles y tratamientos en estudio

El factor que se ha considerado en este proyecto es los tipos de biofiltros en aguas del sistema de recirculación acuapónico.

Tabla 4

Factor y variable independiente

Factor A	Factor B:		
Tipos de biofiltros	Reducción de nitrógeno amoniacal total en aguas de los biofiltros		
	Biofiltro 1	Biofiltro 2	Biofiltro 3
X1: Tipos de biofiltros	T1	T2	T3

Tabla 5

Niveles y tratamiento en estudio según análisis de variación de un factor con varias muestras de grupo aleatorio ANOVA.

Puntos de Monitoreo	Tratamientos				Total, de Combinaciones
	AF	T1	T2	T3	
PM1	PM1AF	PM1T1	PM1T2	PM1T3	PM1: 4
PM2	PM2AF	PM2T1	PM2T2	PM2T3	PM2: 4
PM3	PM3AF	PM3T1	PM3T2	PM3T3	PM3: 4
PM4	PM4AF	PM4T1	PM4T2	PM4T3	PM4: 4
PM5	PM5AF	PM5T1	PM5T2	PM5T3	PM5: 4
PM6	PM6AF	PM6T1	PM6T2	PM6T3	PM6: 4
Total, de Combinaciones por Repetición	AF: 6	T1: 6	T2: 6	T3: 6	Total: 24

Tratamientos = T

Punto de muestreo = PM

Puntos de monitoreo en el afluente = AF

Puntos de monitoreo del efluente de los biofiltros = T1, T2 y T3

3.3.2. *Diseño experimental y arreglo de los tratamientos*

De acuerdo a Hernández et al., (2008) el presente proyecto de investigación es de tipo experimental pueden utilizar prepruebas y pospruebas para analizar la evolución de los grupos antes y después del tratamiento experimental, el análisis preprueba fue en cada punto de monitoreo proveniente del afluente del sistema de recirculación acuapónico quien proporcionó datos de referencia inicial, consecuentemente se trató el agua mediante 3 tipos de biofiltros donde el efluente de cada uno del tratamiento constituyó el análisis de posprueba que sirvió para determinar el porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total.

El diseño se analizó, de acuerdo al siguiente diagrama:

AF	0 ₁	T ₁	0 ₂
AF	0 ₁	T ₂	0 ₃
AF	0 ₁	T ₃	0 ₄

Donde:

AF: Afluente del sistema de recirculación acuapónico.

0₁: Análisis de preprueba (previo al sistema de tratamiento).

T₁, T₂ y T₃: Tipos de biofiltros.

0₂, 0₃ y 0₄: Análisis posprueba en cada uno de los biofiltros (después del sistema de tratamiento, cada 10 días durante 3 meses).

5.2.1 Croquis y diseño del experimento

Figura 6

Croquis del sistema de recirculación acuapónico (SRA)

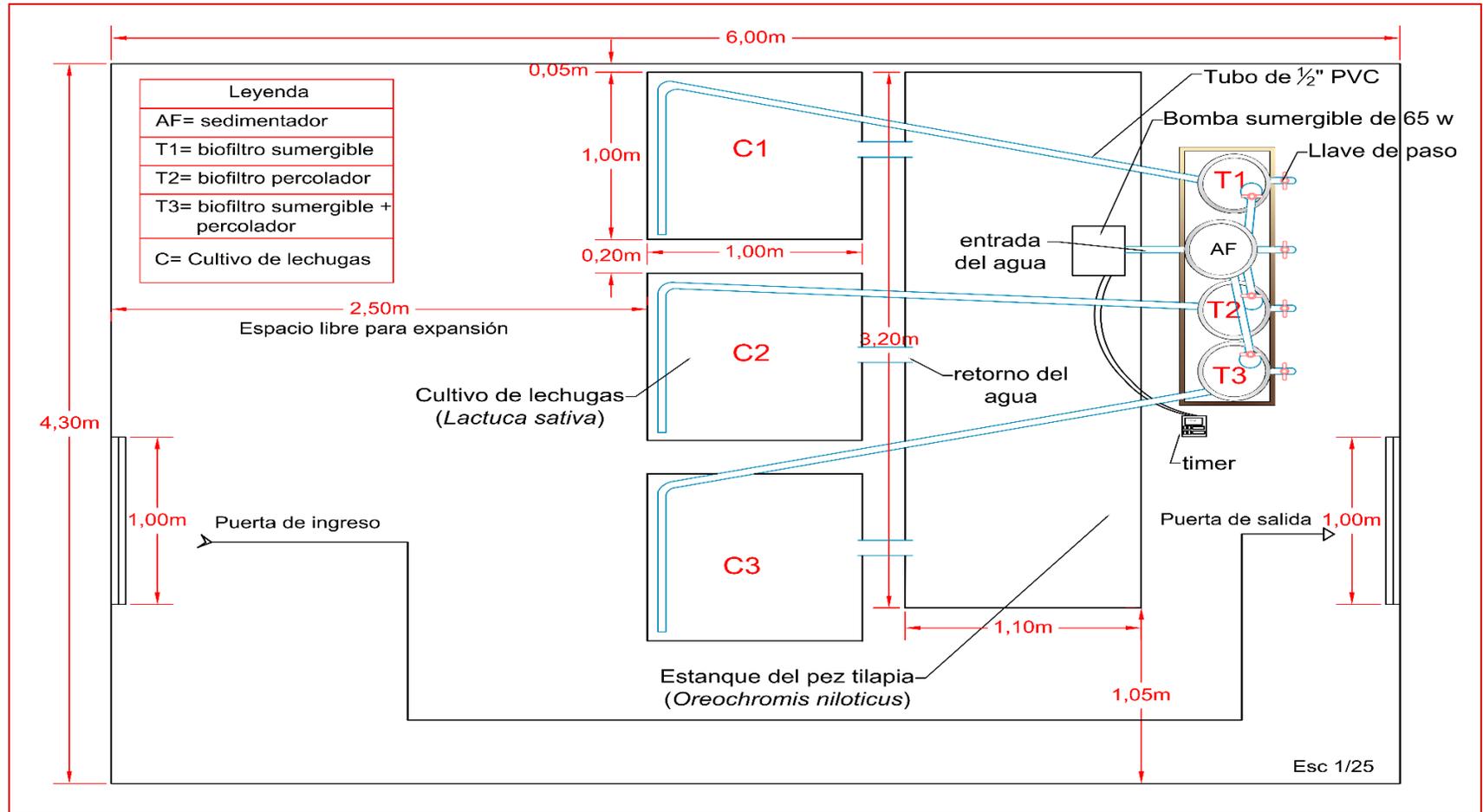


Figura 7

Diseño del sistema de recirculación acuapónico (SRA)

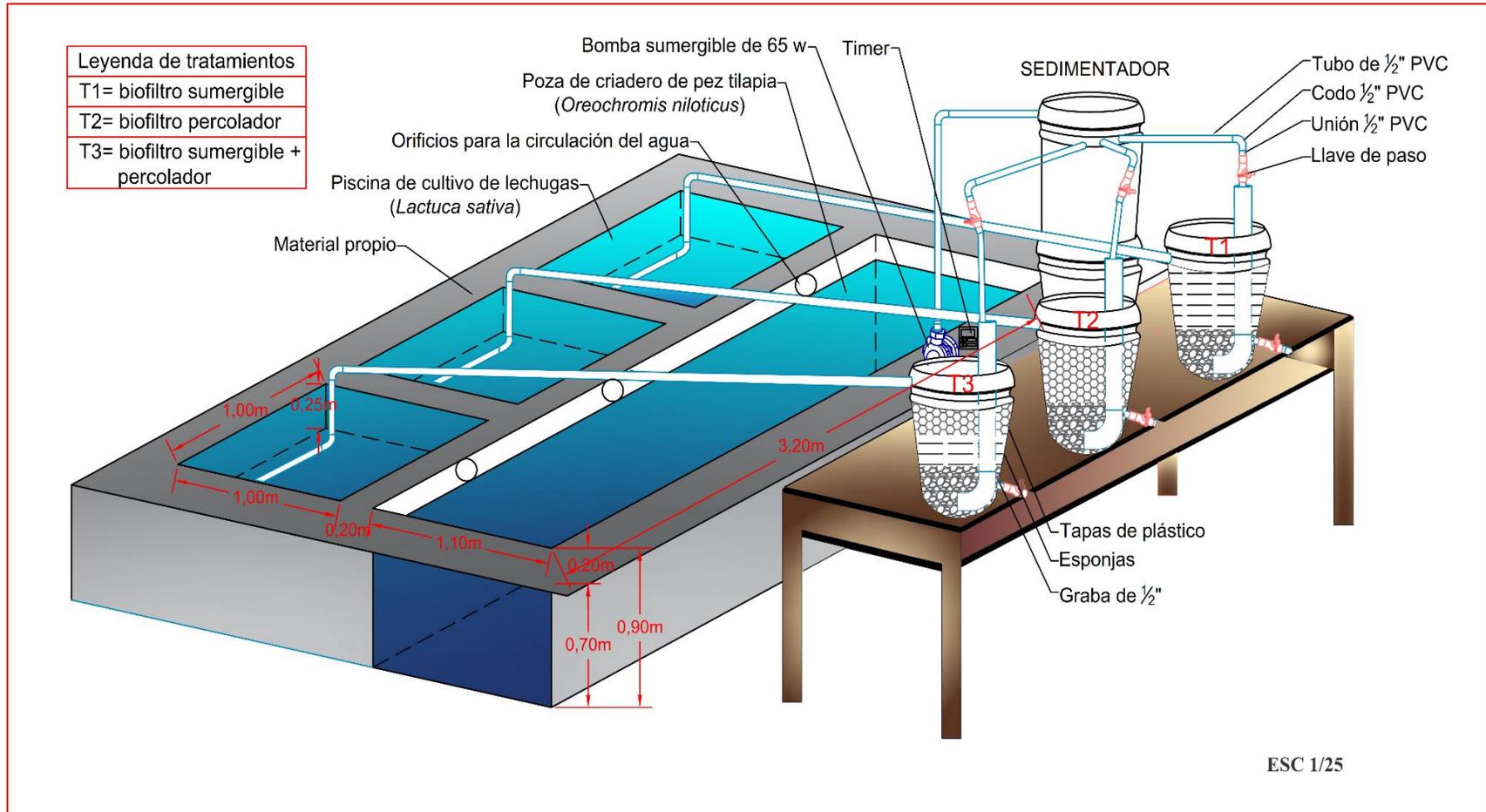
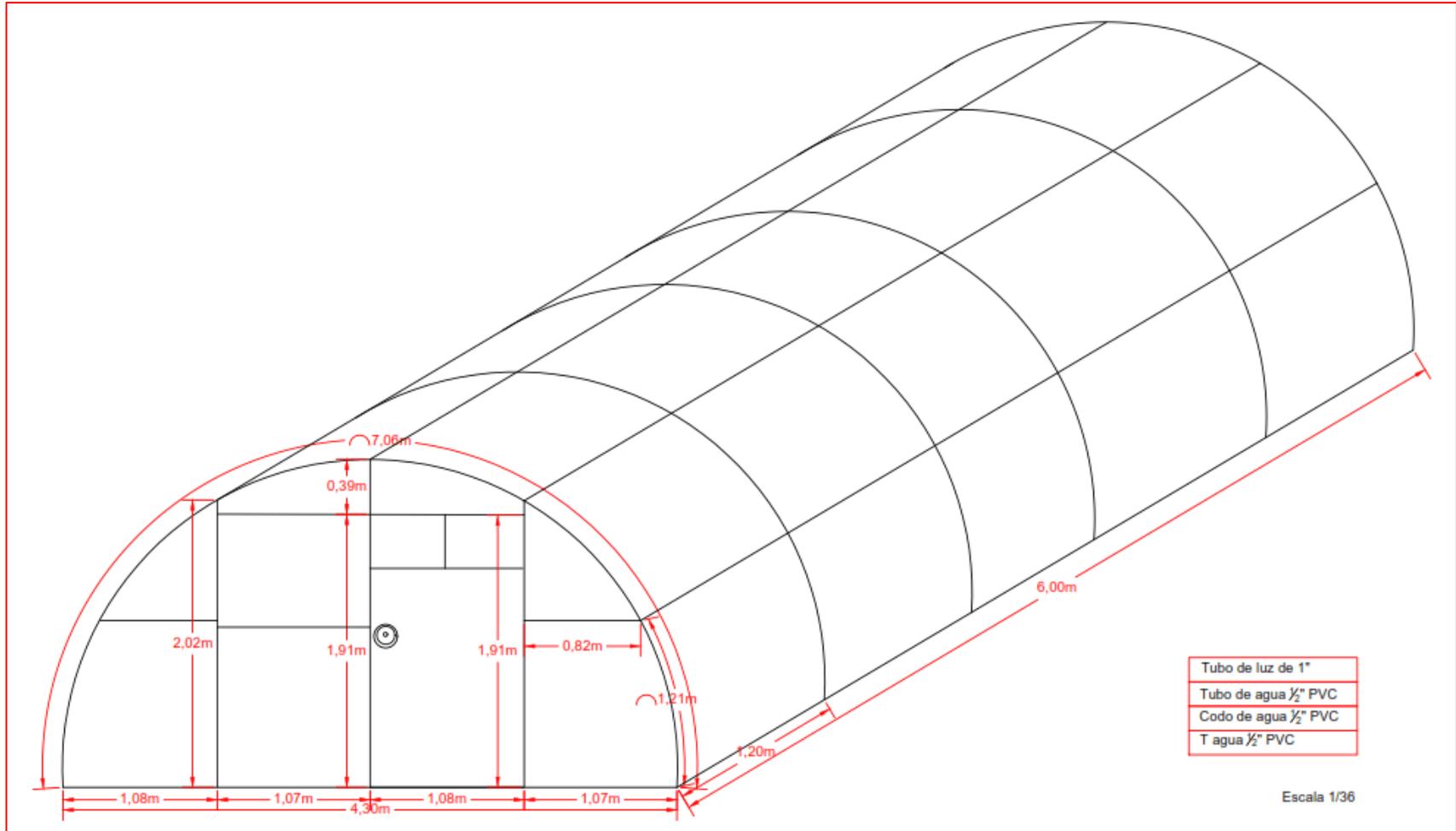


Figura 8

Invernadero tipo macro-túnel con recubierta de plástico agrofil calibre 8.



3.3.3. Procedimiento

En el procedimiento a seguir se realizó en 3 etapas:

3.3.3.1. Selección del área y construcción del sistema

- Se gestionó el permiso para la instalación del sistema de recirculación acuapónico, a través de una solicitud dirigida al director de la I.E. Coronel Cortegana.
- Para la selección el área, se tuvo en cuenta la topografía del terreno, las condiciones climáticas, dirección del sol y viento; se realizó la limpieza del terreno teniendo en cuenta que el área requerida es 4.30 x 6.00 m con un área total de 25.8 m².
- Se construyó un invernadero de tipo de macro túnel con una altura de 2.30 m, 6.00 m de largo y 4.30 m de ancho, estuvo recubierto con plástico Agrofil calibre 8.
- Se construyó un estanque recubierto con geomembrana para albergar a las tilapias (*Oreochromis niloticus*) con una altura efectiva de 0.70 m x 1.10 m de ancho y 3.30 m de largo (2.54 m³), también contó con un reservorio de agua, que abastece al estanque de los peces, para compensar la pérdida del agua por evaporación y otros factores.
- Se construyó tres camas del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) de tipo raíz flotante con una altura efectiva de 0.25 m x 1 m de ancho y largo (0.25 m³).

3.3.3.2. Instalación del sistema acuapónico

- Se instaló un sedimentador de 20 L de capacidad, cuya función es de retener los residuos generados por la excreción y resto de alimento; además se instaló tres

biofiltros de 20 L de capacidad, para el primer biofiltro T1, compuesto por una capa de grava de río de 0.5” una altura de 6 cm, seguida por 2 esponjas de un diámetro de 90 cm, una altura de 10 cm, para el segundo biofiltro T2, compuesto por una capa de grava de río de 0.5” una altura de 6 cm seguida de una capa de tapas de plástico (256) y para el tercer biofiltro T3, compuesto por una capa de grava de río de 0.5” una altura de 6 cm otra capa de tapas de plástico seguido de 2 esponjas alrededor de toda la superficie.

- Se instaló una motobomba sumergible en el estanque de las tilapias, para que el agua sea elevada hacia el sedimentador, y por gravedad el agua recorre por los biofiltros luego pasa a las camas de lechuga y retornando nuevamente hacia el estanque de las tilapias. Haciendo un sistema de recirculación cerrada. La motobomba estuvo automatizada mediante un TIMER para ser activada cada 2 horas por un tiempo de 30 minutos.
- La motobomba sumergible también tuvo la función de incorporar oxígeno dentro del sistema
- Las conexiones se realizaron con tuberías de PVC de ½”, codos PVC ½” y Te PVC ½” y llaves de paso para controlar el caudal.

3.3.3.3. Manejo del sistema acuapónico

- Una vez que estuvo instalado el sistema de recirculación acuapónico se mantuvo la recirculación del agua durante 15 días, agregando 0.4 g de alimento de tilapia cada dos días para poder generar las bacterias nitrificantes en los distintos tipos de

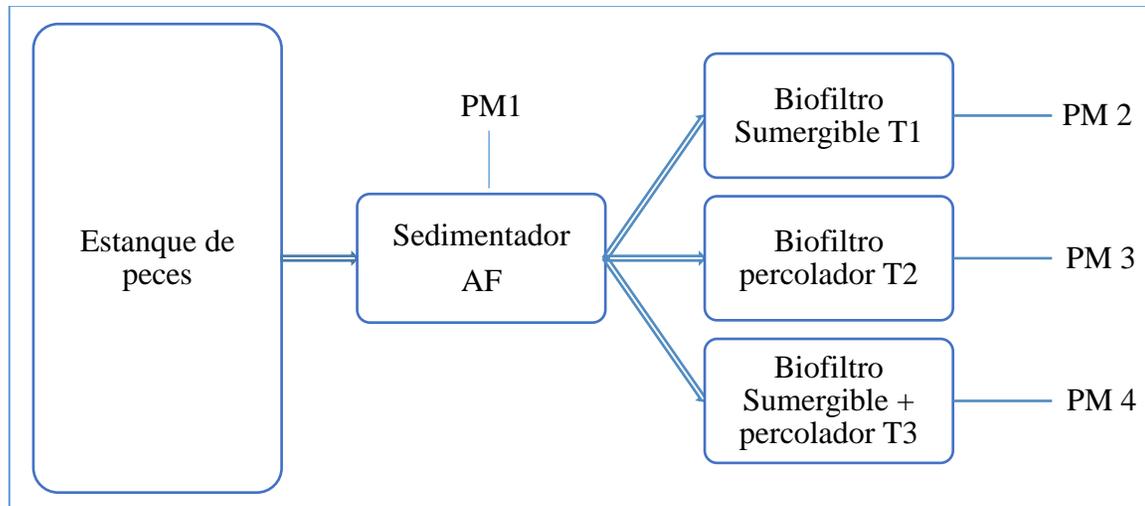
biofiltros, pasados los 15 días se incorporaron 85 alevines de tilapia, de 4.7 g de peso y 8 cm de longitud aproximadamente, provenientes de un cultivo acuícola del Limón, provincia de Celendín. Los alevines fueron aclimatados en un invernadero en el estanque rectangular.

- Los alevines fueron alimentados 5 veces al día mediante una ración de alimento extruido para trucha de la marca NALTECH que tiene los ingredientes (Harina de pescado, harina de soya, aceite de pescado con omega 3 y 6, subproductos de molinería, vitaminas y minerales esenciales (Vitamina A, Vitamina C, Vitamina D3, Vitamina E, Vitamina K3, Vitamina B1, Vitamina B2, Vitamina B6, Vitamina B12, Niacina, Acido pantoténico, Ácido fólico, Biotina, Cobre, Hierro, Yodo, Manganeso, Selenio, Zinc), cloruro de colina, cloruro de sodio y antioxidante), con 42 % de proteína y a una tasa de alimentación de 5 %. La frecuencia de alimentación se mantuvo en la fase experimental. Se realizaron biometrías quincenales para registrar el crecimiento en peso (g) y talla (cm) para acostumbrar a los peces al manejo. Se alimentó a los peces durante tres meses, alcanzando un peso y talla aproximado de 100 g y 16 cm.
- Una vez incorporados los alevines se procedió a germinar semillas de lechuga en un sustrato inerte (fibra de coco) previamente desinfectado con cloro al 20 % durante 24 horas, pasado 15 días de la germinación se procedió a colocarlos en esponjas de 5 x 5 cm y una altura de 6 cm, las esponjas se colocaron en un vaso de plástico, que a su vez fueron colocados en un soporte de tecnopor de 1 x 1 m con orificios de 3 cm de diámetro y el espaciado entre orificios fue de 25 cm, los recambios de agua se

hicieron cada 15 días, una cantidad del 20 % del total de agua del estanque de las tilapias (508 L).

Figura 9

Puntos de monitoreo en el sistema de recirculación acuapónico



Dónde:

- PM1: Punto de monitoreo 1
- PM2: Punto de monitoreo 2
- PM3: Punto de monitoreo 3
- PM4: Punto de monitoreo 4

Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de monitoreo se realizó en 2 fases

a) Fase de campo

En la **Tabla 6**, muestra la frecuencia de muestreo para los parámetros de estudio, que se realizaron cada 15 días por un periodo de 3 meses, iniciando el 18 de mayo hasta el 4 de agosto del 2022, los análisis de las muestras de concentración de nitrógeno amoniacal total se

analizaron en el Laboratorio Regional del Agua con un límite de detección de 0.1500 y para la determinación de los parámetros de oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica, se realizó en el laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental la cual se determinó mediante el Multiparámetro Hanna. A diferentes horas del día como son las 9:00 am, 1:00 pm y 5:00 pm.

Tabla 6

Frecuencia de muestreo.

Punto muestreo	Parámetros	Mes					
		1		2		3	
		18/05/2022	2/06/2022	17/06/2022	04/07/22	19/07/2022	4/08/2022
AF		x	x	x	x	x	x
T1	NAT, OD, pH, T, Ce	x	x	x	x	x	x
T2		x	x	x	x	x	x
T3		x	x	x	x	x	x

En la **Tabla 7**, muestra el volumen recolectado. En el que se utilizaron frascos de plástico con tapa rosca de 250 ml. Los cuales fueron debidamente codificados y etiquetados con plumón indeleble, el origen, punto de muestreo, código, responsable, fecha y hora; para la preservación de las muestras se le agregaron 15 gotas de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a los 4 puntos de muestreo.

Tabla 7

Volumen de muestra y reactivos de preservación.

Parámetro	N° de Muestras			Volumen	Preservación y Conservación
	Afluente	Efluente	Total		
NAT	6	18	24	250 ml	Se refrigeró a 4°C

b) Fase de laboratorio

Las muestras recolectadas fueron entregadas al laboratorio en el menor tiempo posible

de haberse realizado el muestreo, cumpliendo con los requisitos de volumen, preservación y conservación de la muestra, según los informes de ensayo del laboratorio. Los análisis de estudio para el NAT se realizaron en el laboratorio Regional del Agua acreditada por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL - DA con registro N° LE-084.

Tabla 8

Método de ensayo del NAT

Parámetro	Método de Ensayo
mgN-NH ₃ /L	<i>SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH₃, 23rd Ed. 2017: Nitrógeno (Amoniacal). Ammonia-selective Electrode Method.</i>

Fuente. Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete consistió en el análisis y sistematización de los resultados obtenidos por el parámetro de estudio en las diferentes muestras del agua residual; mediante los cuales se determinó la eficiencia en los tres tipos de biofiltros para tratamiento de aguas residuales producidos por los peces.

3.3.4. Tratamiento y análisis de datos

El tratamiento y análisis de datos se realizó mediante dos fases:

1. Se registraron los resultados emitidos por el laboratorio (nitrógeno amoniacal total) los cuales fueron procesados para obtener el porcentaje de reducción y la tasa volumétrica en los tres tipos de biofiltros.
2. La determinación del porcentaje de reducción y la tasa volumétrica de nitrógeno amoniacal total de los biofiltros se realizó de la siguiente manera:

Se calculó el promedio aritmético del parámetro de nitrógeno amoniacal total para ello se aplicó la siguiente fórmula:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Donde:

\bar{x} = promedio aritmético

x = valor de cada parámetro

n = número de datos

Haciendo uso del promedio aritmético de los parámetros se procedió a calcular los indicadores de eficiencia.

- **Indicadores de eficiencia.** La eficiencia del biofiltro se calculó mediante la metodología descrita en la **sección 4.2.6** reducción de nitrógeno amoniacal total (NR en %):

$$\% \text{ NR} = \frac{(\text{NAT}_i - \text{NAT}_s)}{\text{NAT}_i} * 100$$

- **La tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total (VTR por sus siglas en inglés):** La tasa volumétrica se calculó mediante la metodología descrita en la **sección 4.2.7**

$$\text{VTR g/m}^3 = (\text{NAT}_i \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - \text{NAT}_s \text{g/m}^3) * \frac{Q_i \text{ m}^3/\text{d}}{V_b \text{ m}^3}$$

- **Tiempo de retención hidráulico;** Se determinó en cada biofiltro con la siguiente fórmula.

$$\text{TRH} = \frac{V \text{ m}^3}{Q \text{ m}^3/\text{día}}$$

Donde: TRH: tiempo de retención hidráulica (días).

V: volumen del reactor (m^3).

Q: caudal ($\text{m}^3/\text{día}$).

- **Caudal;** este parámetro se determinó con el uso de las llaves de agua que fue instaladas en cada uno de los biofiltros, a través del uso de un cronómetro.
- **Temperatura;** se determinó a través del uso de un termómetro para agua en cada uno de los biofiltros.

Análisis estadístico de datos.

Para Romaina (2012), el uso de la ciencia estadística permite superar estas dificultades, requiriendo la recolección de datos experimentales que permitirán una estimación imparcial de los efectos del tratamiento y la evaluación de las diferencias del tratamiento a través de pruebas de significación basadas en mediciones del error experimental. El análisis de varianza es una técnica mediante la cual se prueban las medias de los tratamientos y se observan las fuentes de variabilidad de la variable de respuesta.

Modelo estadístico del diseño completamente al azar (DCA)

El modelo aditivo lineal de este diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t;$$

t = número de tratamientos

$$j = 1, 2, \dots, r;$$

r = número de repeticiones por tratamiento

Donde:

μ = es el efecto medio

τ_i = es el efecto de i – ésimo tratamiento

ε_{ij} = error experimental

Tabla 9

Esquema del diseño completamente al azar (DCA) para igual número de muestras por tratamiento

Repeticiones	Tratamientos				Gran total
	1	2	...	T	
1	Y_{11}	Y_{21}	...	Y_{t1}	
2	Y_{12}	Y_{22}	...	Y_{t2}	
·				Y_{tr}	
R	Y_{1r}	Y_{2r}	...		
Total, tratamiento	Y_1	Y_2	...	Y_t	$Y_{..}$
Media	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	...	\bar{Y}_t	$\bar{Y}_{..}$
Tamaño de muestra	n	n	...	n	N

Fuente. (Romaina, 2012).

Análisis de variancia

Tabla 10

Esquema del análisis de variancia del diseño completamente al azar (DCA)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	$t - 1$	$\frac{\sum y_1^2}{r} - TC$	$\frac{SCt}{t - 1}$	$\frac{CMt}{CME}$	*
Error	$t(r - 1)$	$SCT - SCt$	$\frac{SCE}{t(r - 1)}$		**
Total	$rt - 1$	$\sum y_{ij}^2 - TC$			

*Diferencia estadística significativa

**Diferencia estadística altamente significativa

Dónde:

$t = N^\circ$ de tratamientos

$r = N^\circ$ de repeticiones

$SCt =$ suma de cuadrado de tratamientos

$SCT =$ suma de cuadrados totales

$SCE =$ suma de cuadrado del error

$CMt =$ cuadrado medio del tratamiento

$CME =$ cuadrado medio del error

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

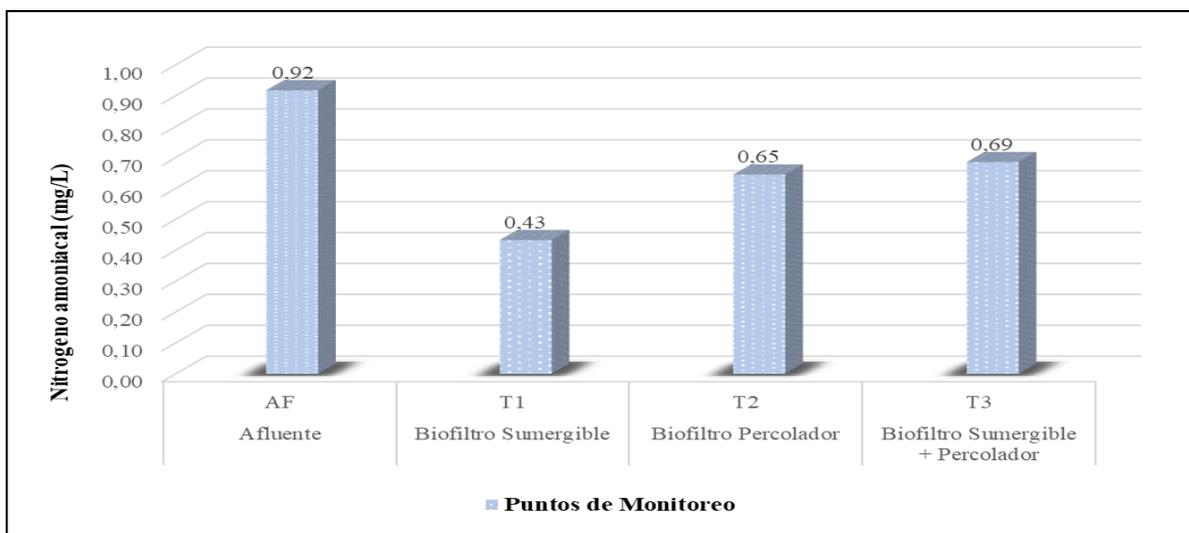
4.1. Análisis de varianza (ANOVA)

4.1.1. Nitrógeno amoniacal total (NAT)

Se registraron concentraciones de nitrógeno amoniacal total, desde un valor mínimo de 0.321 mg/L, en el T1, (4-Ago-2022) hasta un valor máximo de 1.085 mg/L, en el AF (2-Jun-2022). Asimismo, los promedios variaron entre un mínimo de 0.43 mg/L, en el T1 hasta un valor máximo de 0.92 mg/L, en el AF, determinándose que existe mayor reducción del NAT en el efluente del T1 con respecto al afluente, se aprecian en la **Figura 10**.

Figura 10

Nitrógeno amoniacal total en promedio



Los valores no excedieron los límites recomendados para este compuesto, de acuerdo a FAO (2009) en sistemas acuapónicos el rango seguro debe ser menor a 3 mg/L, mientras que Nelson (2007) sugiere un rango de 1 mg/ L para peces de agua fría, asimismo, Timmons y Ebeling (2007) sugiere un rango 2 o 3 mg/ L para peces de agua cálida.

Los valores obtenidos de NAT resultaron menores al ser comparados con los parámetros expuestos por Campos (2013) con una media de 16.56 ± 20.47 mg/L, en las entradas y de 7.93 ± 13.86 mg/L en las salidas de un sistema de acuaponía, manteniendo el efluente de tilapia en condiciones salinas. Asimismo, fueron similares a lo reportado por Mora et al., (2003) que oscilaron entre 0.82 ± 0.97 mg/L, en los estanques de peces y de 0.36 ± 0.42 mg/L en los otros componentes de un sistema cerrado de recirculación.

Tabla 11

Análisis de varianza (ANOVA) para el nitrógeno amoniacal total (NAT)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	3	0.7103	0.2368	19.4290	0.0000038
Error	20	0.2437	0.0122		
Total	23	0.9540			

CV = 30 %

En la **Tabla 11** se observa los resultados del análisis de varianza para el NAT, en los cuales se observa que existe significación estadística en los biofiltros. Dado que el valor de significación (p-valor: 0.0000038) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de NAT en los diferentes tratamientos se deben a la influencia del tipo de biofiltros. Es decir, que el tipo de biofiltro ejerce efecto significativo en el NAT.

El coeficiente de variación es 30 %, este valor índico la variabilidad del NAT dentro de los tratamientos.

Tabla 12

Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para nitrógeno amoniacal total (NAT)

	AF	T1	T2	T3
AF		0.4847	0.2730	0.2323
T1			-0.2117	-0.2523
T2				-0.0407
T3				

HSD = 0.18

En la **Tabla 12** se muestra los resultados de los arreglos entre los grupos de la prueba de Tukey al 5 % para el NAT, obtenido según el tipo de biofiltro. Se aprecia que existe diferencia significativa del afluente con los tres efluentes de los tratamientos, seguido de la diferencia significativa de los tratamientos, T1 con el T2 y T3, ya que el valor obtenido supera la diferencia significativamente honesta (HSD) 0.18 para el NAT; existiendo más diferencia significativa entre el afluente y el tratamiento T1 (0.4847) que pertenece al biofiltro sumergible.

4.1.2. Eficiencia de porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total

La eficiencia de reducción de NAT como se muestra en la **Tabla 13** y la **Figura 11** se aprecia en el tratamiento T1, T2 y T3 alcanzaron una reducción del 52.79, 29.73 y 25.30 % de tal manera que la mayor eficiencia en reducción de NAT se obtuvo en el tratamiento T1 perteneciente al tipo de biofiltro sumergible con un valor de 52.79 %, esta reducción significa que las bacterias nitrificantes transforman los desechos de peces del NAT a nitrato aprovechable para las lechugas, mantienen el agua limpia, este proceso de nitrificación involucra dos bacterias, las bacterias del género nitrosomonas que oxidan el amoníaco a nitrito y las bacterias

del género nitrobacter que oxidan el nitrito a nitrato. mejorando la optimización y desempeño ambiental, social y sanitario.

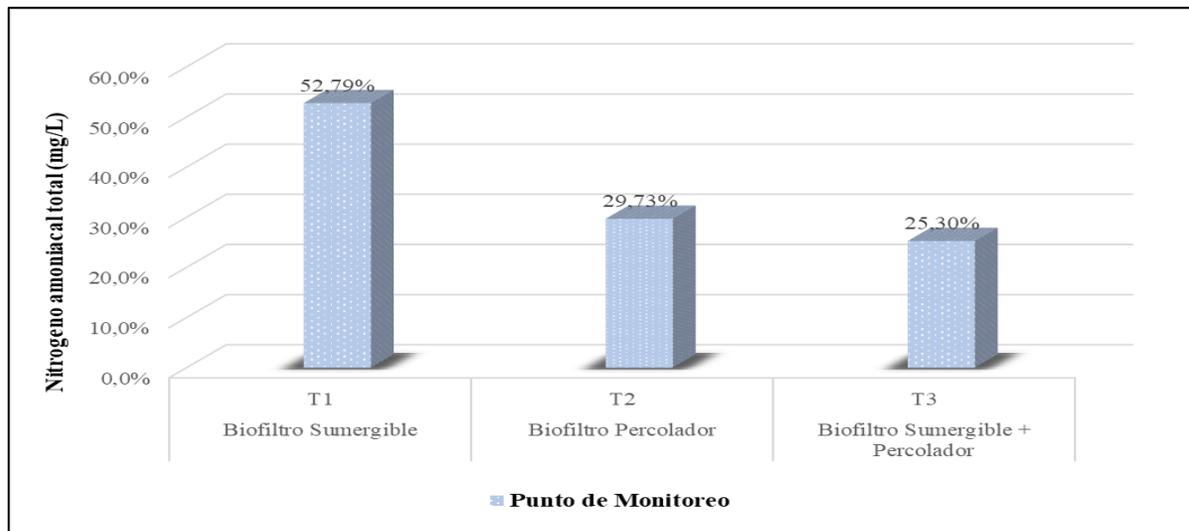
Tabla 13

Eficiencia de porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total

Puntos de muestreo	Concentración promedio (mg/L)		Porcentaje reducción %
	Afluente	Efluente	
T1	0.92	0.43	52.79
T2		0.65	29.73
T3		0.69	25.30

Figura 11

Eficiencia de porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total (NR)



En la **Tabla 13** se muestra la eficiencia de porcentaje de reducción de nitrógeno amoniacal total que varió entre un mínimo de 25.30 % en el T3, hasta un valor máximo de 52.79 % en el T1, dichos resultados coinciden con los obtenidos por Delgado (2020), quien obtuvo un valor de 47.61 %, encontrándose los resultados del T1 y T2 aceptables a lo estableció por Kir

(2009), indicando que la remoción puede ser del 30 al 50 %, mientras que el T3, está fuera de los rangos aceptable por Kir (2009).

Mientras que Pandia (2017) obtuvo porcentaje de eliminación de NAT de 17 a 79 %, registrando una temperatura alrededor de los 20 °C, que comparado a la reducción obtenida en este estudio se puede determinar que la temperatura es un factor importante que tiene que ver con el desempeño del biofiltro, considerándose la tolerancia de las bacterias nitrificantes es de 17 - 34 °C (Somerville et al., 2014) por lo tanto, esta podría ser la razón principal de que el tratamiento T1 fue el más eficiente, ya que la temperatura promedio obtenida fue de 19.70 °C.

4.1.3. Tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total

En la **Tabla 14** muestra la tasa de conversión volumétrica de NAT, se aprecia que en el tratamiento T1 tiene mayor rendimiento de 110.67 g/m³ día⁻¹, seguidos de los tratamientos T2 y T3 (62.34 y 53.05 g/m³ día⁻¹ respectivamente).

Tabla 14

Tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total

Puntos de muestreo	Concentración promedio (mg/L)		conversión volumétrica g/m ³ día ⁻¹
	Afluente	Efluente	
T1	0.92	0.43	110.67
T2		0.65	62.34
T3		0.69	53.05

Según Guerdat et al., (2010) la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total es el incremento diario de nitrógeno amoniacal convertido a nitratos por unidad de volumen, que determina la carga de nutrientes que puede soportar un biofiltro, ya que para 1 m² de cultivos de hojas (lechugas) se necesita 40 - 50 gramos de alimento/día.

En la **Tabla 14** se muestra la tasa de conversión volumétrica del NAT que varió entre un valor mínimo de $53.05 \text{ g/m}^3 \text{ día}^{-1}$ en el T3, hasta un valor máximo de $110.67 \text{ g/m}^3 \text{ día}^{-1}$ en el T1, dichos resultados coinciden con los obtenidos por Gallego et al., (2017), quien obtuvo un valor de $147.12 \pm 59.26 \text{ g de NAT/m}^3\text{d}$; encontrándose estos resultados aceptables de lo que estableció Pandía (2017), una tasa conversión volumétrica de NAT de 29 a $281 \text{ g.m}^{-3} \cdot \text{día}^{-1}$.

Según INTAGRI (2017) los desbalances más comunes son: cuando existe un exceso de plantas y pocos peces, lo cual conlleva a que el alimento transformado no sea suficiente para cubrir la demanda nutricional de las plantas; cuando hay más peces y el alimento transformado en nutrientes es más de lo que las plantas pueden consumir, se eleva la cantidad de nitratos; los peces exceden la capacidad del biofiltro se concentra el amonio que es perjudicial para los peces. INTAGRI (2017) recomienda que se utilice las proporciones 1 a 1 (biomasa de peces proporcional cantidad de plantas). Por la misma razón, en el SRA se trabajó con una biomasa de 400 gramos de tilapias para 75 plantas de lechuga por los tres biofiltros con el fin de garantizar un suministro de alimento constante para las lechugas, y que estas absorban estos nutrientes dejando el agua limpia para la sobrevivencia de los peces.

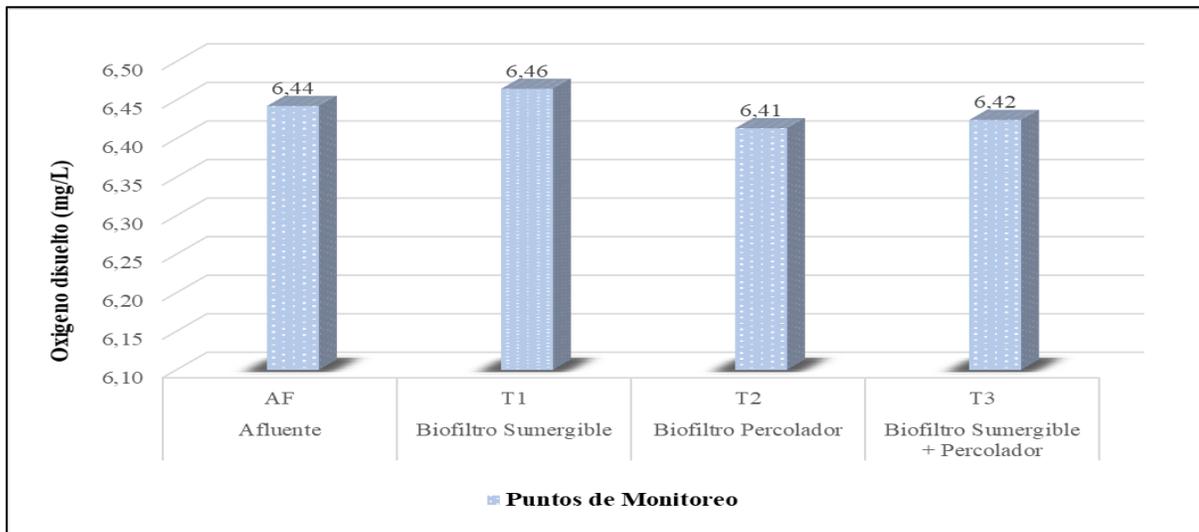
4.2. Parámetros de campo

4.2.1. Oxígeno disuelto

Se registraron concentraciones de oxígeno disuelto desde un valor mínimo de 6.31 mg/L en el AF (17-Jun-2022) hasta un valor máximo de 6.53 mg/L en el T1 (4-Jul-2022). Asimismo, los promedios variaron entre un mínimo de 6.41 mg/L en el T2 hasta un valor máximo de 6.46 mg/L en el T1, se aprecian en la **Figura 12**.

Figura 12

Oxígeno disuelto en promedio.



Según estos resultados se evidencia que el tipo de biofiltro influye en el oxígeno disuelto. Según García (2020), existe eutrofización en concentraciones bajas de oxígeno. Según Somerville et al., (2014) el rango deseable de OD del agua en el biofiltro es de 4.0 a 8.0 mg/L; lo que significa que en el SRA se encuentra dentro de estos rangos.

Asimismo, Nelson (2007) sostiene que en acuaponía los niveles de OD están entre 6 y 7 mg/L por niveles debajo de 3 mg/L causan estrés a la vida acuática y niveles menores de 1.0 mg/L son letales. Por otro lado, el OD está en función de la temperatura del agua y tienen una relación única que puede afectar la producción de alimentos acuapónicos (FAO 2014). En este caso, la solubilidad del oxígeno fue la adecuada a las temperaturas registradas en el presente estudio de 19.65 y 19.71° C en promedio, logrando mantener concentraciones de OD dentro de los niveles óptimos.

En la **Tabla 15** se observa los resultados del análisis de varianza para el oxígeno disuelto. En los cuales se observa que existe significación estadística para el tipo de biofiltro,

dado que el valor de significación (p-valor: 0.0100) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que la diferencia del oxígeno en los diferentes tratamientos se debe a la influencia del tipo de biofiltro. Es decir, que el tipo de biofiltro ejerce efecto significativo en el oxígeno disuelto.

El coeficiente de variación (CV) es 0.94 % este valor indica la variabilidad del oxígeno disuelto dentro de los biofiltros.

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto (OD)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	3	0.0406	0.0135	3.9752	0.0100
Error	104	0.3541	0.0034		
Total	107	0.3947			

CV = 0.94 %

Tabla 16

Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para oxígeno disuelto (OD)

	AF	T1	T2	T3
AF		-0.0222	0.0289	0.0181
T1			0.0511	0.0403
T2				-0.0107
T3				

HSD = 0.04

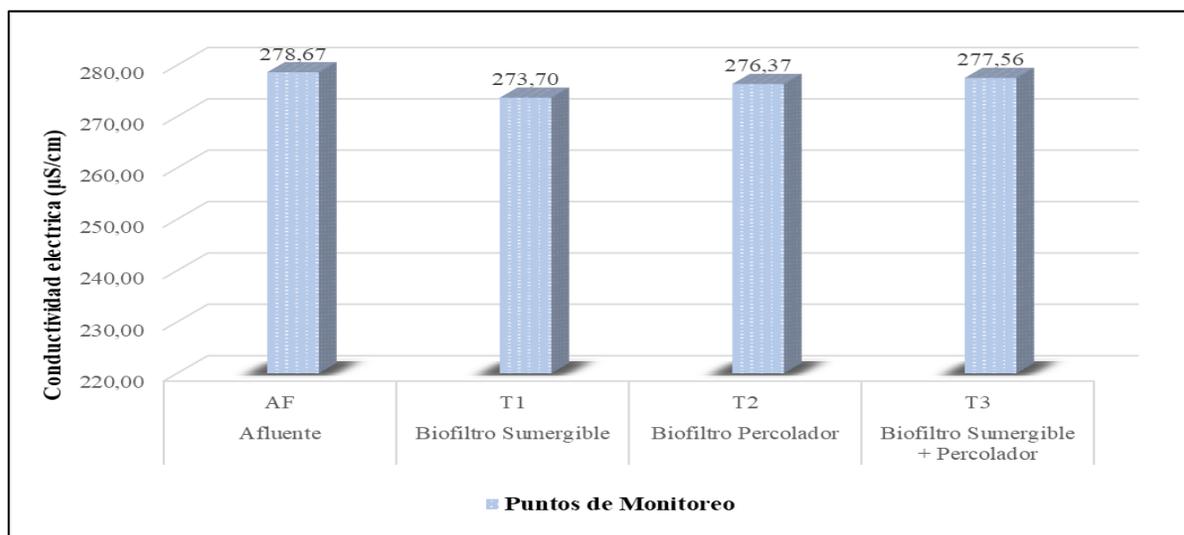
En la **Tabla 16** se muestra los resultados de los arreglos entre grupos de la prueba de Tukey al 5 % para el OD obtenido según el tipo de biofiltro, se aprecia la diferencia significativa entre el tratamiento T1 y T2 perteneciendo al biofiltro sumergible y percolador respectivamente. Este valor obtenido (0.0511) supera la diferencia significativamente honesta

4.2.2. Conductividad eléctrica

Se registraron concentraciones de conductividad eléctrica desde un valor mínimo de 213 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el AF (18-May-2022) hasta un valor máximo de 328 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el T3 (17-Jun-2022). Asimismo, los promedios variaron entre un mínimo de 273.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el T1 hasta un valor máximo de 278.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el AF, se aprecian en la **Figura 13**.

Figura 13

Conductividad eléctrica en promedio



Los niveles de conductividad eléctrica registrados en la **Figura 13** determinan una adecuada concentración de sales disueltas en el agua del sistema acuapónico, presentando un promedio de 273.70 $\mu\text{S}/\text{cm} \pm 278.67 \mu\text{S}/\text{cm}$, valor que se encuentran dentro del establecido en la norma de calidad ECA para agua DS 004-2017-MINAM para la Cat 3-D1 es 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Los valores obtenidos de la CE en el sistema acuapónico resultaron menores al ser comparados con los parámetros expuestos por Delgado (2020) con un promedio de 300 \pm 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

De acuerdo con el rango de valores de conductividad eléctrica registrados, las aguas presentan concentraciones que las clasifican dentro de las categorías de salinidad baja, de acuerdo con la clasificación del USDA (2018) para aguas de irrigación. Es importante señalar que valores elevados de conductividad eléctrica indicarían aguas contaminadas o aguas en contacto con altas concentraciones de minerales.

En la **Tabla 17** se observa los resultados del análisis de varianza para la conductividad eléctrica, en los cuales se observa que no existe significancia estadística para los tipos de tratamientos, dado que el valor de significancia (p-valor: 0.941) para esta fuente de variación es mayor al 0.05 (5 %).

El coeficiente de variación (CV) es 10.87 %, este valor índico la variabilidad.

Tabla 17

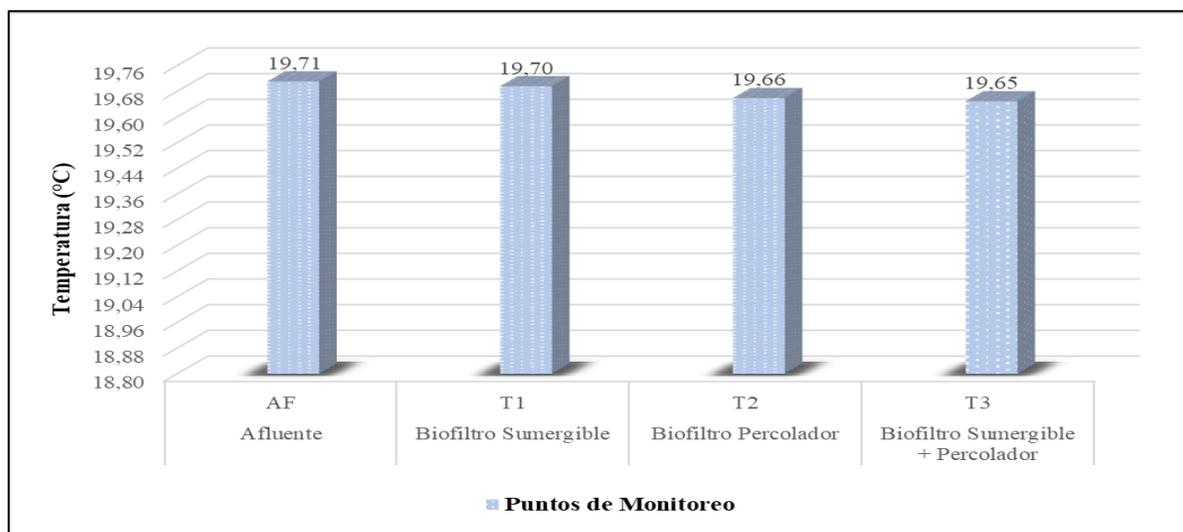
Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica (Ce)

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	3	367.815	122.605	0.132	0.941
Error	104	96298.593	925.948		
Total	107	96666.407			

CV = 10.87 %

4.2.3. Temperatura

Se registró la amplitud térmica desde un promedio mínimo de 19.65 °C en el T3 hasta un valor máximo de 19.71 °C en el AF, encontrándose un comportamiento normal de las aguas residuales del estanque de los peces y los biofiltros. Se obtuvo datos de temperatura similar a los análisis realizados por Franco et al., (2019) valores de 18 - 20 °C. Según Somerville et al., (2014) la tolerancia de bacterias en los biofiltros está en el rango de 17 - 34 °C; lo que significa que en el SRA se encuentra dentro de estos rangos, se aprecian en la **Figura 14**.

Figura 14*Temperaturas en promedio*

En la **Tabla 18** se observa los resultados del análisis de varianza para la temperatura, en los cuales se observa que no existe significación estadística para los tipos de biofiltros, dado que el valor de significación (p-valor: 0.9974) para esta fuente de variación es mayor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de las temperaturas obtenidas en los diferentes tratamientos no se deben a la influencia del tipo de biofiltro.

El coeficiente de variación (CV) es 6.37 % este valor índico la variabilidad Temperaturas dentro de los biofiltros.

Tabla 18*Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura (°C)*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	3	0.0749	0.0250	0.0155	0.9974
Error	104	167.9718	1.6151		
Total	107	168.0466			

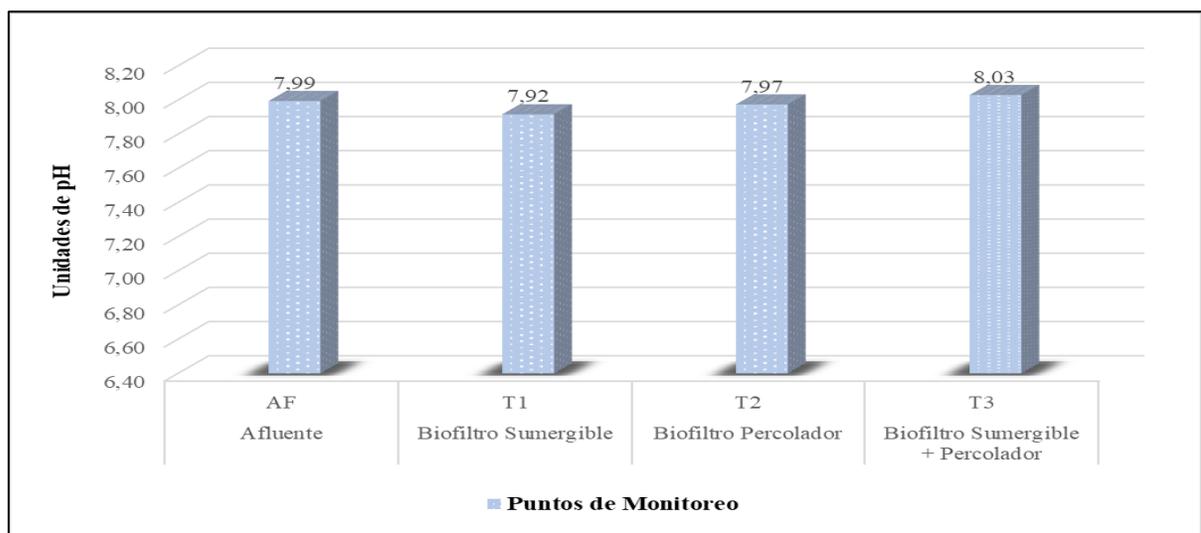
CV = 6.37 %

4.2.4. pH

Se registraron concentraciones de potencial de Hidrógeno desde un valor mínimo de 7.77 unidades en el AF y T3 (04-Ago-2022) hasta un valor máximo de 8,32 unidades en el T3 (04-Jul-2022). Asimismo, los promedios variaron entre un mínimo de 7,92 unidades en el T1 hasta un valor máximo de 8,03 unidades en el T3, se aprecian en la **Figura 15**

Figura 15

pH en promedio



Según estos resultados se evidencia que el pH presenta una tendencia creciente en los tratamientos. Es decir, que el pH al aumentar se vuelve más alcalino, aumentando también la presencia de algas porque esto es un factor importante para la eliminación de materia orgánica. Según Nelson (2007), el pH alto genera la muerte de bacterias y crecimiento de algas de compuestos tóxicos extracelulares y agotamiento de nutrientes.

Según Somerville et al., (2014) los rangos de pH dentro del biofiltro son de 6.5 – 8.5 und. pH, los que significa que en el SRA se encuentra dentro de estos rangos.

Los resultados obtenidos se asemejan a los valores de pH obtenidos por Delgado (2020) con pH en promedio de 7.6 – 8.57 und. pH

los valores promedios más bajos se dieron en el efluente del T1, en este caso se debió probablemente a la temperatura ya que a una temperatura optima hay más actividad de las bacterias que transforman el NAT a nitrato, las plantas al absorber los nutrientes del agua producen un descenso del pH (Smart, 2012).

Valores similares de pH se presentan en el estanque de tilapia. Siendo, además, los peces participó de las fluctuaciones del mismo, debido a los procesos biológicos propios como la liberación de amoníaco y desechos a través de las branquias que son disueltos en el agua (Rakocy, 2007).

Sin embargo, al mantenerse cercano a los niveles óptimos de pH se consiguió un desarrollo normal reflejado en su crecimiento y alto porcentaje de sobrevivencia de las tilapias dentro del SRA.

En la **Tabla 19** se observa los resultados del análisis de varianza para el pH, en los cuales existe significación estadística para el tipo de biofiltro, dado que el valor de significación (p-valor: 0.0265) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de los pH obtenidos en los diferentes biofiltros se deben a la influencia del tipo de biofiltro. Es decir, que el tipo de biofiltro ejerce efecto significativo en el pH de los tratamientos.

El coeficiente de variación es 1.77 %, este valor índico la variabilidad del pH dentro de los biofiltros.

Tabla 19*Análisis de varianza (ANOVA) para el pH*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	3	0.1811	0.0604	3.1990	0.0265
Error	104	1.9627	0.0189		
Total	107	2.1438			

CV = 1.77 %

Tabla 20*Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para pH*

	AF	T1	T2	T3
AF		0.0778	0.0200	-0.0352
T1			-0.0578	-0.1130
T2				-0.0552
T3				

HSD = 0.112

En la **Tabla 20** se muestra los resultados de los arreglos entre grupos de la prueba de Tukey al 5 % para el pH obtenido según el tipo de biofiltro, se aprecia la diferencia significativa entre los tratamientos T1 y T2 siendo el biofiltro sumergible y el biofiltro sumergible + percolador respectivamente. El valor obtenido (0.0552) supera la diferencia significativamente honesta (HSD) 0.112 para el pH.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De los tres tratamientos, el tratamiento T1 perteneciendo al biofiltro sumergible fue el más eficiente. Ya que el porcentaje de reducción de NAT y la tasa de conversión volumétrica alcanzó un 52.79 % y $110.67 \text{ g/m}^3 \text{ día}^{-1}$ respectivamente, estos rangos se mantuvieron en el margen en los que operan la mayoría de los biofiltros (Guerra & Silva, 2013).

El oxígeno disuelto en los SRA se tiene un valor mínimo de 6.41 mg/L en el tratamiento T2 y un máximo de 6.46 mg/L en el tratamiento T1. Siendo favorable para la tilapia según Rebaza et. al (1999). La temperatura en el SRA se mantuvo un valor mínimo de 19.65 °C en el T3 hasta un valor máximo de 19.71 °C en el AF 19.67 °C en promedio. Estos rangos de temperatura son óptimos para la nitrificación bacteriana (Kir, 2009).

El pH en el SRA se mantuvo en 7.97 en promedio, con una variación de 7.92 en el tratamiento T1 hasta 8.03 en el tratamiento T3, encontrándose en el sistema valores comprendidos entre el rango recomendado para el cultivo de tilapia (Franco et al., 2019). La conductividad eléctrica en los tanques con SRA se mantuvo en 276.5 $\mu\text{S/cm}$ en promedio, con una variación de 273.70 $\mu\text{S/cm}$ en el tratamiento T1 hasta 278.67 $\mu\text{S/cm}$ en el afluente.

En cuanto a las plantas de hortalizas, se cultivaron 75 lechugas en un tipo de raíz flotante, cada cama contó con 25 por tratamiento (T1, T2 y T3). Esto con el fin de observar la eficiencia

de los biofiltros. Se aprecia un mejor crecimiento en el tratamiento T1 perteneciendo al tipo de biofiltro sumergible, ya que en dicho biofiltro hubo una mayor transformación del NAT a nitrato, encontrándose mayor cantidad el NO_3^- , siendo absorbidos por las raíces y asimilado por las lechugas para su desarrollo. Mientras que en el T1 y T2, hubo una menor transformación del NAT a nitrato, encontrándose mayores cantidades el NH_4^+ que es altamente tóxico para las células vegetales ya que inhibe la formación de ATP, produce destrucción de clorofila y cloroplastos de tal manera se ve un menor crecimiento de las lechugas en dichos tratamientos, **(ver anexos foto 8)**.

Respecto a los peces, se introdujeron 85 alevines de 4.7 g de peso con un tamaño aproximado de 8 cm; no se presentó mortalidad en los peces, pasado 3 meses alcanzaron un peso de 100 g y un tamaño de 16 cm.

5.2. Recomendaciones

- Comprobar la eficacia de reducción de NAT en biofiltros de sistemas de recirculación monitoreados en 24 horas, probando con frecuencias la reducción del NAT de 1 a 2 días.
- Se recomienda mantener los niveles de pH por debajo de 7.9 en los biofiltros de tipo sumergido. Mejorando la reducción de NAT.
- Se recomienda monitorear frecuentemente el suministro de oxígeno para el biofiltro. Si esta no sea la óptima, se adiciona un mecanismo de aireación como piedras difusoras.
- Se recomienda que en los sistemas de recirculación acuapónico se utilice filtros de tipo biológico acompañado de un filtro mecánico como de arena para mejorar la reducción de NAT y la conversión de amoníaco al nitrato que es esencial para el desarrollo óptimo de las hortalizas en estos tipos de sistemas.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltrano José y Gimenez Daniel O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Universidad Nacional de la Plata. Editorial de la Universidad de La Plata 47 N. ° 380 / La Plata B1900AJP / Buenos Aires, Argentina. p170. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Bermejillo Adriana I. y Zuluaga José M. (2015) *Contenido de nitratos en lechuga (Lactuca sativa L.) cultivada en la 3ª Zona de Riego del Río Mendoza*. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza – Argentina. p14-15. Disponible en: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/6681/tesis-brom.-anala-valds.pdf
- Bocioc. E; Cristea. V; Patriche. N; Grecu. I; Ion. SP; Coadă. MT; Ionescu. TI. (2011). *Water quality monitoring into a recirculating aquaculture system for intensive rearing of carp (Cyprinus carpio) juveniles fed with probiotics supplement*. *Lucrari stiintifice - Seria Zootehnie*. Universitatea de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara Ion Ionescu de la Brad. *Romania*. Vol. 5. 289-294.
- Blom Zandstra G. (1995). *The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (Lactuca sativa L.) grown at different light intensities*. *J. Exp. Bot.* 36, 1043-52.

- Campos, R. 2013. *Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía*. Tesis para optar el grado de Maestro en Agroecosistemas Tropicales, Veracruz, México. 112 p.
- Casas. D. (2008). *Sistema de recirculación de agua para la cría intensiva de cachama blanca (Piaractus brachyomus)*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Cabudare-Venezuela. Universidad Centroccidental. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/253604808/Cria-Intensiva-de-Cachamas#scribd>.
- Cisneros Ruiz Kathya L. (2021) *producción acuapónica de tilapia del Nilo (oreochromis niloticus) y lechuga (lactuca sativa) con adición de nutrientes deficitarios en el sistema*. Universidad Nacional Agraria La Molina Lima-Perú. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/482041695>. P68
- Colagrosso. A. (2015). *Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala*. s.l. Youcanprint. 74 p. Disponible en https://play.google.com/books/reader?id=t_1_CgAAQBAJ&pg=GBS.PP1
- Delgado G. (2020). *“aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia (oreochromis sp.) en acuaponía”*. Lima – Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3218/Jose_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2003. Definición de Acuicultura (en línea). s.l. s.e. Disponible en <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/aquaculture-defs.htm>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2009. *Cyprinus carpio*. In *Cultured aquatic species fact sheets*. Text by Peteri. A. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New. CD-ROM multilingual (en línea). s.l. Disponible en https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_commoncarp.htm
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible (en línea). Roma. Disponible en <http://www.fao.org/3/i9540es/i9540es.pdf>
- Fitzsimmons, K. (2009). *Tilapia production systems in the Americas: technical advances, Trends and Challenges*. Reviews in Fisheries Science. 10(3-4):465-498.
- Franco, H.; Pelaez, M. (2009). *Cría y producción de pirarucú en cautiverio- experiencias en el Piedemonte Caqueteño*. Florencia (Caquetá-Colombia): Universidad de la Amazonia. 50 p.
- García, M. (2020). *Eutrofización* (en línea). Universidad autónoma de Coahuila. México. Disponible en <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>
- Gallego, I; García, D; García, P. (2017). *Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena*. *Tecnología y ciencias del agua* 08(1):81-93 (en línea).

Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200724222017000100081

Guerra. M; Silva. (2013). *Tratamiento de efluentes de la acuicultura*. Ministerio de agricultura ganadería y pesquería: p3 (en línea). Argentina.

Guerdat, T., Losordo, T., Classen, J., Osborne, J., And Delong, D (2010). *Anevaluation of commercially available biological filters for recirculating aquaculturesystems*. *Aquacultural Engineering*. Vol. 42: 38-49 p.

Hernández. R; Fernández. C; Baptista. P. (2008). *Metodología de la investigación*. 4 ed. México. *Editorial McGraw-Hill*. 850 p.

Hutchinson. W; Jeffrey. M; O'Sullivan. D; Casement. D; Clarke. S. (2004). *Recirculating aquaculture systems: minimum standards for design, construction and management*. Inland Aquaculture Association of South Australia. 70p.

Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura (INTAGRI, 2017). *Acuaponia para la Producción de Plantas y Peces*. Serie Horticultura Protegida Núm. 32. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p. disponible en www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces.

Jiménez. A. (2016). *Acuaponía: Herramienta educativa para el aprendizaje transversal de las ciencias* (en línea). s.l. s.e. Disponible en: <https://docplayer.es/44719668-Acuaponia-herramienta-educativa-para-el-aprendizaje-transversal-de-las-ciencias.html>.

- July E. Chiroque Montalban y Roislen Castaño Concepción (2019) *Caracterización de la Lechuga (Lactuca sativa.)* en la unidad Guayabal Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/caracterizacion-lechuga-lactuca-sativa-t44527.htm>
- Kir. M. (2009). *Nitrification performance of a submerged biofilter in a laboratory scale size of the recirculating shrimp system.* Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 9(2). 209-214. (en línea). Muğla. *Turquía*. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/265715970_Nitrification_performance_of_a_submerged_biofilter_in_a_laboratory_scale_size_of_the_recirculating_shrimp_system
- Kubitza. F. (2006). *Sistemas De Recirculacion Cerrada.* p 9.
- Malone. F; Pfeiffer. J. (2006). *Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating aquaculture systems.* Aquacultural engineering. (en línea). EE. UU. Disponible en <https://naldc.nal.usda.gov/download/27535/PDF>
- Martínez. L. (2002). *Efecto de la dieta y otros factores sobre la excreción de amonio y el aprovechamiento del nitrógeno por la Dorada (Sparus aurata).* y su incidencia en los cultivos de esta especie. Tesis Ph.D. Barcelona. ES. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). p 177.
- Mendoza Rossel T. (2015) *Evaluación del medio filtrante (UAEMex-1).* Tesis Universidad Autónoma del Estado de México. p7 Disponible en <https://core.ac.uk/reader/55526290>
- Ministerio de la Producción (2019). *Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola.* (En línea). Disponible en <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-documentos-publicaciones/boletines-pesca/item/876-2019-diciembre-boletin-del-sector-pesquero>

- Ministerio de la Producción (Ministerio de la Producción – Produce. Perú). (2017). *Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola*. (En línea). Disponible en <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oeo-documentos-publicaciones/boletines-pesca/item/876-2017-diciembre-boletin-del-sector-pesquero>
- Mora et al., (2003). *evaluación de biofiltros de flujo ascendente y descendente para tratamiento de aguas residuales de un sistema de recirculación acuícola para cultivo de tilapia* (en línea). Colombia Revista Investigación Pecuaria Universidad de Nariño. Disponible en <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/articulo/download/405/415/>.
- Nelson. RL. (2007). *Acuaponía*. s.l.. Nelson/Pade Multimedia. 80 p.
- Pandia. TM. (2017). *Evaluación de las vías de transformación de los compuestos nitrogenados en dos sistemas cerrados de cultivo de paiche Arapaima gigas* (en línea). Lima. Perú. universidad nacional agraria la molina facultad de pesqueria. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3278/mollapaza-pandia-teresa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pepe. R; Silva. A; Vega. A; Araya. M; Cornejo. L. (2012). *Efecto del Aumento de la Temperatura. Frecuencia de Alimentación y Ración de Alimento en el Crecimiento de Juveniles de Turbot (Psetta máxima)*. International Journal of Morphology. 30(3). 902-907p.
- Pereira. LP; Mercante. CT. (2005). *A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água*. Umarevisão. B. Inst. Pesca. São Paulo. 31(1): 81 – 88 p.

- Piedrahita, R.H. (2003). *Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation*. *Aquaculture* 226: 35–44 pp.
- Rakocy, J. (2007). *Diseño y operación de un sistema acuapónico*. s.l. s.e 16p.
- Rebaza, M.; Alcántara, F.; Valdivieso, M. 1999. *Tratado de Cooperación amazónica*. Manual de piscicultura del paiche *Arapaima gigas* Cuvier. Caracas, VE. 72p.
- Rodríguez ame (2020) *qué necesita tu planta para vivir: Cómo se alimentan y viven las plantas*. Caracas, 2p. <https://be.green/es/blog/que-necesita-tu-planta-para-vivir-como-se-alimentan-y-viven-las-plantas>
- Sandu, SI; Boardman, GD; Watten, BJ; Brazil, BL. (2002). *Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium*. *Aquacultural Engineering* 26:41-59p.
- Somerville, C; Cohen, M; Pantanella, E; Stankus, A; Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production*. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome. FAO. 262 p.
- Smart F. M. (2012). *Relación Amonio y Nitrato*. Disponible en: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/ammonium-nitrateratio>.
- Timmons, M; Ebeling, J; Wheaton, F; Summerfelt, S; Vinci, B. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems 2nd Edition*. Northeastern Regional Aquaculture Center. Publication No. 01-002. New York, USA.

Tilley, E; Ulrich, L; Lüthi, C; Reymond, P; Schertenleib, R; Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Segunda edición en español. Suiza. Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática

Departamento de Agricultura de USA (USDA, 2018) *Índice sub manejo, análisis de aguas* (En línea). Disponible en https://buleria.unileon.es/bitstream/10612/9678/32/SUBAENJO_2.2_AnalisisAguas.pdf

Vallejo A, Estrada E. 2004. Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, 347 p.

Watson. CA; Hill. JE. (2006). *Design criteria for recirculating. marine ornamental production systems*. *Aquacultural Engineering*. 34(3). 157-162p.

Wurts. WA; Durborow. RM. (1992). *Interactions of pH. carbon dioxide. alkalinity and hardness in fish ponds*. Southern Regional Aquaculture Center. Stoneville. Mississippi: N° 464 (1-4 p).

CAPÍTULO VII.

ANEXOS

ANEXO 1. Presentación de la información y matriz de consistencia.

ANEXO 2. Cálculos de los resultados.

ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo del sistema.

ANEXO 4. Panel fotográfico de la construcción, instalación y análisis del sistema.

ANEXO 5. Resultados de los análisis del laboratorio regional del agua.

ANEXO 1. Presentación de la información y matriz de consistencia.

La metodología del trabajo de investigación es de tipo experimental porque se administra un estímulo o tratamiento y después aplicar una medición de una o más variables.

Metodología de la investigación.

Modelo estadístico del diseño completamente al azar (DCA)

El modelo aditivo lineal de este diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t;$$

t = número de tratamientos

$$j = 1, 2, \dots, r;$$

r = número de repeticiones por tratamiento

Donde:

μ = es el efecto medio

τ_i = es el efecto de i – ésimo tratamiento

ε_{ij} = error experimental

Tabla 21

Esquema del diseño completamente al azar (DCA) para igual número de muestras.

Repeticiones	Tratamientos				Gran total
	1	2	...	t	
1	Y_{11}	Y_{21}	...	Y_{t1}	
2	Y_{12}	Y_{22}	...	Y_{t2}	
·		·		Y_{tr}	
·		·			
R	Y_{1r}	Y_{2r}			
Total, tratamiento	Y_1	Y_2	...	Y_t	$Y_{..}$
Media	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	...	\bar{Y}_t	$\bar{Y}_{..}$
Tamaño de muestra	n	n	...	n	N

Fuente. (Romaina. 2012).

Análisis de variancia

Tabla 22

Esquema del análisis de varianza del diseño completamente al azar (DCA)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	t - 1	$\frac{\sum y_i^2}{r} - TC$	$\frac{Sct}{t-1}$	$\frac{CMt}{CME}$	*
Error	t(r - 1)	SCT - Sct	$\frac{SCE}{t(r-1)}$		**
Total	rt - 1	$\sum y_{ij}^2 - TC$			

*Diferencia estadística significativa

**Diferencia estadística altamente significativa

Dónde:

t = N° de tratamientos

r = N° de repeticiones

Sct = suma de cuadrado de tratamientos

SCT = suma de cuadrados totales

SCE = suma de cuadrado del error

CMt = cuadrado medio del tratamiento

CME = cuadrado medio del error

Tabla 23

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Unidad de análisis	de
¿Cuál es la eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal total usando tres tipos de biofiltros en un sistema de recirculación acuapónico? en la I.E. Coronel Cortegana - Celendín?	<p>Objetivo principal</p> <p>Evaluar la eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal total usando tres tipos de biofiltros en un sistema de recirculación acuapónico. en la I.E. Coronel Cortegana - Celendín.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determina el porcentaje de reducción y la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total en los tres tipos de biofiltro. - Analizar los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto. conductividad eléctrica. temperatura. pH 	La eficiencia de reducción de nitrógeno amoniacal total (NAT) es de 27 % a 51%.	<p>Variable independiente:</p> <p>Tipos de biofiltros.</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Eficiencia de reducción</p> <p>Variable influyente:</p> <p>Características fisicoquímicas del agua en el sistema de tratamiento.</p>	Agua procedente del sistema de recirculación acuapónico.	

ANEXO 2. Cálculos de los resultados.

Resultados de los muestreos para análisis de NAT

Primer muestreo para análisis de NAT

Parámetros	Puntos de monitoreo			
	AF	T1	T2	T3
NAT	0.621	0.392	0.596	0.598

Segundo Muestreo para Análisis de NAT

Parámetros	Puntos de monitoreo			
	AF	T1	T2	T3
NAT	1.034	0.512	0.651	0.711

Tercer Muestreo para Análisis de NAT

Parámetros	Puntos de monitoreo			
	AF	T1	T2	T3
NAT	1.085	0.521	0.701	0.721

Cuarto Muestreo para Análisis de NAT

Parámetros	Puntos de monitoreo			
	AF	T1	T2	T3
NAT	1.061	0.514	0.682	0.775

Quinto Muestreo para Análisis de NAT

Parámetros	Puntos de monitoreo			
	AF	T1	T2	T3
NAT	0.887	0.341	0.687	0.698

Sexto Muestreo para Análisis de NAT

Parámetros	Puntos de monitoreo			
	AF	T1	T2	T3
NAT	0.821	0.321	0.554	0.612

Cálculos del promedio de los resultados de NAT

$$AF = \frac{0.621 + 1.034 + 1.085 + 1.061 + 0.887 + 0.821}{6} = 0.918$$

El promedio de los resultados para AF (Afluente) es 0.918 mg/L.

$$T1 = \frac{0.392 + 0.512 + 0.521 + 0.514 + 0.341 + 0.321}{6} = 0.434$$

El promedio de los resultados para T1 (Efluente) es 0.434 mg/L.

$$T2 = \frac{0.596 + 0.651 + 0.701 + 0.682 + 0.687 + 0.554}{6} = 0.645$$

El promedio de los resultados para T2 (Efluente) es 0.645 mg/L.

$$T3 = \frac{0.598 + 0.711 + 0.721 + 0.775 + 0.698 + 0.612}{6} = 0.686$$

El promedio de los resultados para T3 (Efluente) es 0.686 mg/L.

Cálculos de eficiencia de reducción de NAT.

- Procesamiento de datos para la eficiencia de NAT del biofiltro sumergible (T1) del sistema de reticulación acuapónico.

$$T1 = \frac{0.92 - 0.43}{0.92} * 100 = 52.79 \%$$

La eficiencia en el biofiltro sumergible (T1) es de 52.79 %.

- Procesamiento de datos para la eficiencia de NAT del biofiltro percolador (T2) del sistema de reticulación acuapónico.

$$T2 = \frac{0.92 - 0.65}{0.92} * 100 = 29.73 \%$$

La eficiencia en el biofiltro percolador (T2) es de 29.73 %.

- Procesamiento de datos para la eficiencia de NAT del biofiltro sumergible + percolador (T3) del sistema de reticulación acuapónico.

$$T3 = \frac{0.92 - 0.69}{0.92} * 100 = 25.30 \%$$

La eficiencia en el biofiltro sumergible + percolador (T3) es de 25.30 %.

La Tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total (VTR por sus siglas en inglés):

$$VTR \text{ g/m}^3 = \left(NAT_i \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - NAT_s \text{ g/m}^3 \right) * \frac{Q_i \text{ m}^3/\text{d}}{V_b \text{ m}^3}$$

- Procesamiento de datos para la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total del biofiltro sumergible (T1) del sistema de reticulación acuapónico.

$$VTR \text{ g/m}^3 \text{ día}^{-1} = \left(0.92 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 0.43 \text{ g/m}^3 \right) * \frac{3.1968 \text{ m}^3/\text{d}}{0.014_b \text{ m}^3}$$

Tasa de conversión volumétrica en el biofiltro sumergible (T1) es de 110.67 g/m³ día⁻¹

- Procesamiento de datos para la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total del biofiltro percolador (T2) del sistema de reticulación acuapónico.

$$VTR \text{ g/m}^3 \text{ día}^{-1} = \left(0.92 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 0.65 \text{ g/m}^3 \right) * \frac{3.1968 \text{ m}^3/\text{d}}{0.014_b \text{ m}^3}$$

Tasa de conversión volumétrica en el biofiltro percolador (T2) es de 62.34 g/m³ día⁻¹.

- Procesamiento de datos para la tasa de conversión volumétrica de nitrógeno amoniacal total del biofiltro sumergible + percolador (T3) del sistema de reticulación acuapónico.

$$\text{VTR g/m}^3 \text{ día}^{-1} = \left(0.92 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 0.69 \text{ g/m}^3\right) * \frac{3.1968 \text{ m}^3/\text{d}}{0.014_b \text{ m}^3}$$

Tasa de conversión volumétrica en el biofiltro sumergible + percolador (T3) es de 53.05 g/m³ día⁻¹.

Tiempo de retención hidráulico; Se determinó en cada biofiltro con la siguiente formula.

$$\text{TRH} = \frac{V \text{ m}^3}{Q \text{ m}^3/\text{hora}}$$

$$\text{TRH} = \frac{0.017 \text{ m}^3}{0.0084 \text{ m}^3/\text{hora}} = 1.7 \text{ h}$$

El tiempo de retención hidráulico en los biofiltros es de 1 hora con 7 minutos.

ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo del sistema de recirculación acuapónico.

Tabla 24

Tabla de muestreos preprueba

Preprueba	Biofiltro	Parámetro	OD	pH	T	Ce	TRH	Caudal	NAT
		Unid. De Medida	mg/L	Unidad	°C	µS/cm	Hora	L/min	mg/L
Primer muestreo	Biofiltro								
18/05/2022	Afluente	AF	6.48	8.2	19.4	221	-	0	0.621
	Sumergible	T1	6.42	8.1	19.1	216	1.7	2.2	0.392
	Percolador	T2	6.45	8.17	17.1	223	1.7	2.2	0.596
	Sumergible + Percolador	T3	6.41	8.19	18.6	218	1.7	2.2	0.598
Segundo muestreo	Biofiltro		OD	pH	T	Ce	TRH	Q	NAT
2/06/2022	Afluente	AF	6.47	7.88	19.3	238	-	0	1.034
	Sumergible	T1	6.46	8.02	19.8	236	1.7	2.2	0.512
	Percolador	T2	6.33	8.18	19.7	222	1.7	2.2	0.651
	Sumergible + Percolador	T3	6.32	8.2	19.8	224	1.7	2.2	0.711
Tercer muestreo	Biofiltro		OD	pH	T	Ce	TRH	Q	NAT
17/06/2022	Afluente	AF	6.47	7.99	19.9	323	-	0	1.85
	Sumergible	T1	6.48	7.98	18.9	304	1.7	2.2	0.521
	Percolador	T2	6.32	7.78	20.1	323	1.7	2.2	0.701
	Sumergible + Percolador	T3	6.31	8.1	19.7	321	1.7	2.2	7.21
Cuarto muestreo	Biofiltro		OD	pH	T	Ce	TRH	Q	NAT
4/07/2022	Afluente	AF	6.53	8.15	16.9	290	-	0	1.061

	Sumergible	T1	6.53	7.92	17.1	281	1.7	2.2	0.514
	Percolador	T2	6.35	7.7	17.1	280	1.7	2.2	0.682
	Sumergible + Percolador	T3	6.48	8.32	17.3	290	1.7	2.2	0.775
Quinto muestreo	Biofiltro		OD	pH	T	Ce	TRH	Q	NAT
	Afluente	AF	6.31	7.78	18.2	290	-	0	0.887
19/07/2022	Sumergible	T1	6.42	7.78	18.4	291	1.7	2.2	0.341
	Percolador	T2	6.33	7.81	18.3	290	1.7	2.2	0.687
	Sumergible + Percolador	T3	6.34	7.8	18.3	290	1.7	2.2	0.698
Sexto muestreo	Biofiltro		OD	pH	T	Ce	TRH	Q	NAT
	Afluente	AF	6.39	7.88	19	288	-	0	0.821
4/08/2022	Sumergible	T1	6.43	7.78	18.9	288	1.7	2.2	0.321
	Percolador	T2	6.39	7.82	18.9	287	1.7	2.2	0.534
	Sumergible + Percolador	T3	6.38	7.89	18.93	286	1.7	2.2	0.612

Tabla 25

Tabla de muestreos posprueba

Muestreo Posprueba			Unidad de Medida					
Primer muestreo	Hora	Biofiltros	OD mg/L	pH Unidad	T °C	CE µS/cm	TRH Hora	Caudal L/min
18/05/2022	09:00	AF	6.48	8.2	19.4	221	-	-
		T1	6.42	8.1	19.1	216	1.7	2.22
		T2	6.45	8.17	17.1	223	1.7	2.22
		T3	6.41	8.19	18.6	218	1.7	2.22
	13:00	AF	6.48	8.14	18.8	213	1.7	2.22
		T1	6.44	8.14	19.5	213	1.7	2.22
		T2	6.34	8.21	19.4	227	1.7	2.22
		T3	6.33	8.22	19.2	277	1.7	2.22
	17:00	AF	6.44	8.02	19.8	215	1.7	2.22
		T1	6.45	8.00	19.6	216	1.7	2.22
		T2	6.34	8.04	19.8	218	1.7	2.22
		T3	6.35	8.02	19.7	215	1.7	2.22
Segundo muestreo	Hora	Biofiltros	OD	pH	T	CE	TRH	Caudal
28/05/2022	09:00	AF	6.47	7.88	19.3	238	-	-
		T1	6.46	8.02	19.8	236	1.7	2.22
		T2	6.33	8.18	19.7	222	1.7	2.22
		T3	6.32	8.2	19.8	224	1.7	2.22
	13:00	AF	6.46	8.15	22.4	237	1.7	2.22
		T1	6.48	8.01	22.4	237	1.7	2.22
		T2	6.47	8.13	22.4	223	1.7	2.22
		T3	6.45	8.1	22.5	220	1.7	2.22
	17:00	AF	6.47	8.01	19.7	220	1.7	2.22
		T1	6.47	7.79	19.7	238	1.7	2.22
		T2	6.39	8.02	19.7	224	1.7	2.22
		T3	6.48	8	19.8	224	1.7	2.22
Tercero muestreo	Hora	Biofiltros	OD	pH	T	CE	TRH	Caudal
7/06/2022	09:00	AF	6.47	7.99	19.9	323	-	-

		T1	6.48	7.98	18.9	304	1.7	2.22
		T2	6.32	7.78	20.1	323	1.7	2.22
		T3	6.31	8.1	19.7	321	1.7	2.22
		AF	6.45	8.16	22.5	322	1.7	2.22
	13:00	T1	6.46	8.01	22.3	305	1.7	2.22
		T2	6.44	8.16	22.5	324	1.7	2.22
		T3	6.45	8.15	22.4	320	1.7	2.22
		AF	6.45	8.03	19.9	313	1.7	2.22
	17:00	T1	6.44	7.79	19.6	276	1.7	2.22
		T2	6.44	8.05	19.9	325	1.7	2.22
		T3	6.43	8.02	19.7	328	1.7	2.22
Cuarto muestreo	Hora	Biofiltros	OD	pH	T	CE	TRH	Caudal
		AF	6.53	8.15	16.9	290	-	-
	09:00	T1	6.53	7.92	17.1	281	1.7	2.22
		T2	6.35	7.7	17.1	280	1.7	2.22
		T3	6.48	8.32	17.3	290	1.7	2.22
		AF	6.47	8.1	20.8	294	1.7	2.22
17/06/2022	13:00	T1	6.48	8.01	20.2	280	1.7	2.22
		T2	6.47	8.18	20.9	281	1.7	2.22
		T3	6.43	8.12	20.7	282	1.7	2.22
		AF	6.49	8	19.7	292	1.7	2.22
	17:00	T1	6.49	7.78	19.1	276	1.7	2.22
		T2	6.48	8.05	19.3	278	1.7	2.22
		T3	6.4	8.01	19.1	275	1.7	2.22
Quinto muestreo	Hora	Biofiltros	OD	pH	T	CE	TRH	Caudal
		AF	6.31	7.78	18.2	290	-	-
	09:00	T1	6.42	7.78	18.4	291	1.7	2.22
		T2	6.33	7.81	18.3	290	1.7	2.22
		T3	6.34	7.8	18.3	290	1.7	2.22
		AF	6.33	8.01	20.8	288	1.7	2.22
27/06/2022	13:00	T1	6.49	7.79	20.8	292	1.7	2.22
		T2	6.39	8	20.9	291	1.7	2.22
		T3	6.48	8.01	20.7	289	1.7	2.22
		AF	6.43	7.89	19.3	288	1.7	2.22
	17:00	T1	6.42	7.88	19.1	286	1.7	2.22
		T2	6.41	7.9	19	290	1.7	2.22
		T3	6.41	7.92	19.1	289	1.7	2.22
Sexto muestreo	Hora	Biofiltros	OD	pH	T	CE	TRH	Caudal
		AF	6.39	7.88	19	288	-	-
	09:00	T1	6.43	7.78	18.9	288	1.7	2.22
		T2	6.39	7.82	18.9	287	1.7	2.22
		T3	6.38	7.89	18.93	286	1.7	2.22
		AF	6.48	8.01	20.8	286	1.7	2.22
7/07/2022	13:00	T1	6.53	7.79	20.9	291	1.7	2.22
		T2	6.51	8	20.8	290	1.7	2.22
		T3	6.49	8.01	20.9	289	1.7	2.22
		AF	6.45	7.78	19.3	287	1.7	2.22
	17:00	T1	6.46	7.79	19.4	289	1.7	2.22
		T2	6.45	7.79	19.5	289	1.7	2.22
		T3	6.48	7.78	19.4	287	1.7	2.22
Séptimo muestreo	Hora	Biofiltros	OD	pH	T	CE	TRH	Caudal
17/07/2022	09:00	AF	6.52	8.17	16.8	289	-	-
		T1	6.51	7.94	17.8	280	1.7	2.22

		T2	6.32	7.78	17.8	278	1.7	2.22
		T3	6.51	8.31	17.7	279	1.7	2.22
		AF	6.46	8.12	20.9	295	1.7	2.22
	13:00	T1	6.47	8.01	20.5	279	1.7	2.22
		T2	6.48	8.12	20.7	280	1.7	2.22
		T3	6.46	8.11	20.7	280	1.7	2.22
		AF	6.51	8.01	19.8	288	1.7	2.22
	17:00	T1	6.51	8.02	19.4	277	1.7	2.22
		T2	6.49	8.03	19.2	279	1.7	2.22
		T3	6.42	8.02	19.3	278	1.7	2.22
Octavo muestreo	Hora	Biofiltros	OD	pH	T	CE	TRH	Caudal
		AF	6.32	7.79	18.4	289	-	-
	09:00	T1	6.35	7.78	18.5	290	1.7	2.22
		T2	6.32	7.82	18.5	289	1.7	2.22
		T3	6.32	7.91	18.6	288	1.7	2.22
		AF	6.34	8.03	20.9	294	1.7	2.22
27/07/2022	13:00	T1	6.51	8.02	20.8	290	1.7	2.22
		T2	6.52	8.01	20.9	290	1.7	2.22
		T3	6.49	8.02	20.8	290	1.7	2.22
		AF	6.44	7.88	19.4	289	1.7	2.22
	17:00	T1	6.45	7.92	19.3	287	1.7	2.22
		T2	6.4	7.93	19.2	289	1.7	2.22
		T3	6.48	7.91	19.3	288	1.7	2.22
Noveno muestreo	Hora	Biofiltros	OD	pH	T	CE	TRH	Caudal
		AF	6.38	7.89	19.1	287	-	-
	09:00	T1	6.42	7.92	18.8	289	1.7	2.22
		T2	6.38	7.84	18.9	290	1.7	2.22
		T3	6.39	7.87	18.9	289	1.7	2.22
		AF	6.49	8.02	20.9	294	1.7	2.22
4/08/2022	13:00	T1	6.51	8.01	20.8	293	1.7	2.22
		T2	6.52	8.02	20.9	290	1.7	2.22
		T3	6.48	8.03	20.8	290	1.7	2.22
		AF	6.44	7.77	19.5	294	1.7	2.22
	17:00	T1	6.47	7.78	19.6	290	1.7	2.22
		T2	6.44	7.78	19.4	292	1.7	2.22
		T3	6.49	7.77	19.5	288	1.7	2.22

ANEXO 4. Panel fotográfico de la construcción, instalación y análisis del sistema de recirculación acuapónico.



Foto 1. Representantes de la I.E. Corone Cortegana; director, sub director y presidente de APAFA.



Foto 2. Construcción de las camas de lechuga y la poza para los peces del sistema de recirculación acuapónico.



Foto 3. Construcción del invernadero tipo macro-túnel con tubo de luz de una pulgada y colocado del plástico agrofil calibre 8 al invernadero.



Foto 4. Agregando los sustratos a los biofiltros (T1, T2 y T3) en donde se van albergaron las bacterias nitrificantes.



Foto 5. Germinación de lechuga en fibra de coco.



Foto 6. Recojo de las muestras en los puntos de monitoreo para la medición del nitrógeno amoniacal total.



Foto 7. Medición de los parámetros de campo y desarrollo de las lechugas durante 3 meses.



Foto 8. Desarrollo de las lechugas en las camas de los tres biofiltros T1, T2 y T3, donde se aprecia claramente que en el T1 las lechugas se desarrollaron mejor.



Foto 9. Desarrollo de las lechugas en las camas a una semana después de haber implementado el biofiltro de tipo sumergible, lo que se aprecia una mejoría en su desarrollo, se puede concluir que los biofiltros sumergibles ayudan en la reducción del nitrógeno amoniacal total.



Foto 10. Medición de peso y talla durante el desarrollo del proyecto para sacar su taza de alimentación de las tilapias (*Oreochromis niloticus*).

ANEXO 5. Resultados de los análisis del laboratorio regional del agua

DATOS DEL CLIENTE			
Razon Social/Nombre	CANCINO PAREDES PERCY LUIS		
Dirección	-		
Persona de contacto	CANCINO PAREDES PERCY LUIS	Correo electrónico	plcancinop12@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha del Muestreo	18.05.22	Hora de Muestreo	10:55 a 11:15
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	04		
Ensayos solicitados	Químicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendín		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC-476	Cadena de Custodia	CC - 356 - 22
Fecha y Hora de Recepción	18.05.22	15:50	Inicio de Ensayo 25.05.22 10:10
Reporte Resultado	27.05.22	12:00	


 Edder Neyra Jaico
 Responsable de Laboratorio
 CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 27 de mayo de 2022

Página: 1 de 2

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU
 e-mail: laboratorio@regionalcajamarca.gob.pe 199000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0522356

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra	Biofiltro Percolador T2	Biofiltro Sumergible + Percolador T3	Sedimentador AF	Biofiltro Sumergible T1	-	-	-	-
Código Laboratorio	0522356-01	0522356-02	0522356-03	0522356-04	-	-	-	-
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	-	-	-	-
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Celendin	Celendin	Celendin	Celendin	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	0.1500	0.596	0.598	0.621	0.392	-	-

Leyenda: LCM: Limite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Nitrógeno Amoniacal, Amoniaco	mgN-NH ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D, 23rd Ed. 2017: Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
 (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
 ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
 ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
 ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
 ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 27 de mayo de 2022



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Página: 2 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0622399

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **CANCINO PAREDES PERCY LUIS**
Dirección -
Persona de contacto **CANCINO PAREDES PERCY LUIS** Correo electrónico plcancinop12@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **02.06.22** Hora de Muestreo **9:20 a 9:21**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **04**
Ensayos solicitados **Químicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
Referencia de la Muestra: **Celendín**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-476** Cadena de Custodia **CC - 399 - 22**
Fecha y Hora de Recepción **02.06.22 16:05** Inicio de Ensayo **07.06.22 11:00**
Reporte Resultado **14.06.22 16:05**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 14 de junio de 2022

Página: 1 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0622399

ENSAYOS			QUÍMICOS				
Código de la Muestra	Biofiltro Sumergible	Biofiltro Percolador T2	Biofiltro Sumergible + Percolador T3	Sedimentador AF	-	-	
Código Laboratorio	0622399-01	0622399-02	0622399-03	0622399-04	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	-	-	
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-	
Localización de la Muestra	Celendín	Celendín	Celendín	Celendín	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH3/L	0.1500	0.512	0.651	0.711	1.034	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Nitrógeno Amoniacal, Amoniacal	mgN-NH3/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017: Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo, luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 14 de junio de 2022



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0622420

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **CANCINO PAREDES PERCY LUIS**
Dirección **-**
Persona de contacto **CANCINO PAREDES PERCY LUIS** Correo electrónico **plcancinop12@unc.edu.pe**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **17.06.22** Hora de Muestreo **9:20 a 10:10**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**
Procedimiento de Muestreo **-**
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **04**
Ensayos solicitados **Químicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
Referencia de la Muestra: **Celendín**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-476** Cadena de Custodia **CC - 420 - 22**
Fecha y Hora de Recepción **20.06.22 16:25** Inicio de Ensayo **27.06.22 10:30**
Reporte Resultado **01.07.22 16:25**


Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 01 de julio de 2022

Página: 1 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0622420

ENSAYOS			QUÍMICOS				
Código de la Muestra	Biofiltro Sumergible	Biofiltro Percolador T2	Biofiltro Percolador + Sumergible	Afuente AF	-	-	
Código Laboratorio	0622420-01	0622420-02	0622420-03	0622420-04	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	-	-	
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-	
Localización de la Muestra	Celendín	Celendín	Celendín	Celendín	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH3/L	0.1500	0.521	0.701	0.721	1.085	

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)



Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Nitrógeno Amoniacal, Amoniaco	mgN-NH3 /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017: Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

✓ Los resultados indicados en este informe conciernen única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas in campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 01 de julio de 2022

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0722440

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **CANCINO PAREDES PERCY LUIS**
 Dirección -
 Persona de contacto **CANCINO PAREDES PERCY LUIS** Correo electrónico plcancinop12@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **04.07.22** Hora de Muestreo **9:21 a 9:35**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
 Procedimiento de Muestreo -
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **04**
 Ensayos solicitados **Químicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
 Referencia de la Muestra: **Celendin**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-476** Cadena de Custodia **CC - 440 - 22**
 Fecha y Hora de Recepción **04.07.22 16:19** Inicio de Ensayo **08.07.22 10:30**
 Reporte Resultado **13.07.22 16:50**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FAU
 00403744188 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 13/07/2022 17:08:41 05:00

Edder Neyra Jaico
 Responsable de Laboratorio
 CIP: 147028

Cajamarca, 13 de Julio de 2022



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0722440

ENSAYOS			QUÍMICOS				
Código de la Muestra	Biofiltro Percolador T2	Biofiltro Sumergible T1	Biofiltro Percolador + Sumergible	Afluente AF	-	-	
Código Laboratorio	0622420-01	0622420-02	0622420-03	0622420-04	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	-	-	
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-	
Localización de la Muestra	Celendín	Celendín	Celendín	Celendín	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH3/L	0.1500	0.682	0.514	0.775	1.061	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Nitrógeno Amoniacal, Amoniacal	mgN-NH3 /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017: Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
 (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
 - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 - ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
 - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
 - ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 13 de Julio de 2022



Firmado digitalmente por COLINA
 VENEGAS Juan Jose FAU
 20453744168 soft
 Motivo: Day V°B°
 Fecha: 13.07.2022 17:01:52 -05:00



Firmado digitalmente por LOPEZ
 LEON Freddy Humberto FAU
 20453744168 soft
 Motivo: Day V°B°
 Fecha: 13.07.2022 17:04:34 -05:00



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0722466

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	Afluente AF	Biofiltro Percolador + Sumergible	Biofiltro Percolador T2	Biofiltro Sumergible T1	-	-
Código Laboratorio	0722466-01	0722466-02	0722466-03	0722466-04	-	-
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-
Localización de la Muestra	Celendín	Celendín	Celendín	Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH3/L	0.1500	0.887	0.698	0.687	0.341

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Nitrógeno Amoniacal, Amoniacal	mgN-NH3 /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017: Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
 (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
 - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 - ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
 - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
 - ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 02 de Agosto de 2022

FIRMA DIGITAL
 V°B° GRC
 GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
 Firmado digitalmente por COLINA VENEGAS Juan Jose FAU
 20453744168 soft
 Motivo: Doy V°B°
 Fecha: 02.08.2022 15:11:26 -05:00

FIRMA DIGITAL
 V°B° GRC
 GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
 Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Esteban Miguel FAU
 20453744168 soft
 Motivo: Doy V°B°
 Fecha: 02.08.2022 15:30:20 -05:00



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0822498

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **CANCINO PAREDES PERCY LUIS**
 Dirección -
 Persona de contacto **CANCINO PAREDES PERCY LUIS** Correo electrónico plcancinop12@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **04.08.22** Hora de Muestreo **9:00 a 9:30**
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
 Procedimiento de Muestreo -
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de puntos de muestreo **04**
 Ensayos solicitados **Químicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
 Referencia de la Muestra: **Celendín**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-476** Cadena de Custodia **CC - 498 - 22**
 Fecha y Hora de Recepción **04.08.22 11:54** Inicio de Ensayo **08.08.22 10:05**
 Reporte Resultado **10.08.22 15:00**

**LABORATORIO REGIONAL
 DEL AGUA**

FIRMA DIGITAL Firmado digitalmente por NEYRA
 JAICO Edder Miguel FAU
 204820744158.pdf
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 10/08/2022 16:52:10 -05:00

Edder Neyra Jaico
 Responsable de Laboratorio
 CIP: 147028

Cajamarca, 10 de Agosto de 2022



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0822498

ENSAYOS			QUÍMICOS			
Código de la Muestra	Afluente	Biofiltro Sumergible T1	Biofiltro Percolador T2	Biofiltro Sumergible + Percolador T3	-	-
Código Laboratorio	0822498-01	0822498-02	0822498-03	0822498-04	-	-
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	-	-
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	-	-
Localización de la Muestra	Celendín	Celendín	Celendín	Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH3/L	0.1500	0.821	0.321	0.554	0.612

LEYENDA: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Firmado digitalmente por NEYRA
 JAICO Estier Miguel FAU
 20453744168 scdt
 Motivo: Doy V°B°
 Fecha: 10.08.2022 16:51:57 -05:00

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Nitrógeno Amoniacal, Amoniacal	mgN-NH3 /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D, 23rd Ed. 2017: Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
 (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe conciernen única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
 - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 - ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
 - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
 - ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 10 de Agosto de 2022



Firmado digitalmente por COLINA
 VENEZAS, Juan Jose FAU
 20453744168 scdt
 Motivo: Doy V°B°
 Fecha: 10.08.2022 16:36:57 -05:00