



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 3

Neiva, 10 DE SEPTIEMBRE DE 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

NEIVA

El (Los) suscrito(s):

RICARDO VALENZUELA VARGAS, con C.C. No. 1075274067,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o PASANTIA

Titulado EVALUACIÓN PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS PARA UN PROTOTIPO IMPLEMENTADO EN LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA (Oreochromis sp.).

presentado y aprobado en el año 2018 como requisito para optar al título de

INGENIERO AGRICOLA;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 3

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: RICARDO VALENZUELA VARGAS

Firma: _____



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: *Andrés Córdoba G.*

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EVALUACIÓN PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS PARA UN PROTOTIPO IMPLEMENTADO EN LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp.*)

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
VALENZUELA VARGAS	RICARDO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MARTINEZ SILVA	PAULA
AREVALO HERNANDEZ	JOHN JAIRO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SANABRIA MENDEZ	NADIA BRIGITTE
GUTIERREZ GUZMAN	NELSON

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2018 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 49



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas ___ Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general ___ Grabados ___ Láminas ___
 Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o Cuadros ___

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:
 MICROSOFT WORD, ADOBE, NITRO PRO.

MATERIAL ANEXO:

calidad del agua; nitrificación; cultivo de tilapia; filtro de arena; biofloc.

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Calidad de aguas</u>	<u>Water quality</u>	6. _____	_____
2. <u>Nitrificación</u>	<u>Nitrification</u>	7. _____	_____
3. <u>Cultivo de tilapia</u>	<u>Tilapia culture</u>	8. _____	_____
4. <u>Filtro de arena</u>	<u>Sand filter</u>	9. _____	_____
5. <u>Biofloc</u>	<u>Biofloc</u>	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El objetivo de este estudio fue analizar y evaluar parámetros de la calidad del agua como potencial de hidrogeno (pH), temperatura (°c), oxígeno disuelto (ppm), turbidez (NTU), alcalinidad (mgCaCO₃/L), nitratos (mgNO₂/L), amonio total (ppm), Demanda Bioquímica de Oxígeno (mgO₂/L) y Demanda Química de Oxígeno (mgO₂/L) en un sistema cerrado de recirculación implementado para la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) durante 90 días. El sistema está compuesto de un tanque plástico de 500 litros, dos filtros de arena, 20 biobolas, dos bombas de 60W, un soporte de 1.5 metros de altura y un tanque plástico de 60 galones en donde están 10 plantas macrófitas (buchón de agua). Los peces fueron alimentados durante ese periodo de tiempo tres veces al día con el 2% de su peso promedio. Los parámetros de pH y amonio se registraron a diario con la ayuda de indicadores, el oxígeno disuelto con oxímetro y los demás fueron enviados al laboratorio. Se utilizó dos métodos de filtración, mecánico y biológico de los cuales se obtuvo porcentajes de remoción



de sólidos muy altos, manteniendo un ambiente de oxigenación óptimo para el adecuado desarrollo de los peces.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The objective of this study was to analyze and evaluate parameters of water quality such as hydrogen potential (pH), temperature ($^{\circ}$ C), dissolved oxygen (ppm), turbidity (NTU), alkalinity (mgCaCO₃ / L), nitrates (mgNO₂) / L, ammonium (ppm), Biochemical Oxygen Demand (mgO₂ / L) and Chemical Oxygen Demand (mgO₂ / L) in a closed recirculation system implemented for the production of red tilapia (*Oreochromis sp.*) For 90 days. The system is composed of a plastic tank of 500 liters, two sand filters, 20 biobolas, two pumps of 60W, a support of 1.5 meters high and a plastic tank of 60 gallons where there are 10 macrophyte plants (buchón de Water). The fish were fed during that period of time three times a day with 2% of their average weight. The pH and ammonium parameters were recorded daily with the help of indicators, dissolved oxygen with oximeter and the others were sent to the laboratory. Two mechanical and biological filtration methods were used, from which very high removal percentages of solids were obtained, maintaining an optimal oxygenation environment for the proper development of the fish.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Director: PAULA SILVA MARTÍNEZ

Firma:

Nombre Codirector: JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ

Firma:

Nombre Jurado: NADIA BRIGITTE SANABRIA MENDEZ

Firma:

Nombre Jurado: NELSON GUTIERREZ GUZMAN

Firma:



de solidos muy altos, manteniendo un ambiente de oxigenación óptimo para el adecuado desarrollo de los peces.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The objective of this study was to analyze and evaluate parameters of water quality such as hydrogen potential (pH), temperature (° C), dissolved oxygen (ppm), turbidity (NTU), alkalinity (mgCaCO₃ / L), nitrates (mgNO₂) / L, ammonium (ppm), Biochemical Oxygen Demand (mgO₂ / L) and Chemical Oxygen Demand (mgO₂ / L) in a closed recirculation system implemented for the production of red tilapia (*Oreochromis sp.*) For 90 days. The system is composed of a plastic tank of 500 liters, two sand filters, 20 biobolas, two pumps of 60W, a support of 1.5 meters high and a plastic tank of 60 gallons where there are 10 macrophyte plants (buchón de Water). The fish were fed during that period of time three times a day with 2% of their average weight. The pH and ammonium parameters were recorded daily with the help of indicators, dissolved oxygen with oximeter and the others were sent to the laboratory. Two mechanical and biological filtration methods were used, from which very high removal percentages of solids were obtained, maintaining an optimal oxygenation environment for the proper development of the fish.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Director: PAULA SILVA MARTÍNEZ

Firma:

Nombre Codirector: JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ

Firma:

Nombre Jurado: NADIA BRIGITTE SANABRIA MENDEZ

Firma:

Nombre Jurado: NELSON GUTIERREZ GUZMAN

Firma:

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS
PARA UN PROTOTIPO IMPLEMENTADO EN LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA
(*Oreochromis sp.*)

RICARDO VALENZUELA VARGAS

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2018

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS
PARA UN PROTOTIPO IMPLEMENTADO EN LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA
(*oreochromis sp.*)

RICARDO VALENZUELA VARGAS

Proyecto de Grado Presentado como requisito Parcial para optar el Título de Ingeniero
Agrícola

Director:

PAULA MARTINEZ SILVA

Msc. En ecología

Codirector:

JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ

Msc. En ingeniería agrícola

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2018

Nota de aceptación:

Firma del director del proyecto

Firma del codirector del proyecto

Firma de jurado

Firma de jurado

Neiva, Septiembre 2018

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a mis padres y hermanos que gracias a su apoyo he logrado cumplir mis metas personales que me he propuesto en mi vida. Mi padre Marlio Valenzuela Trujillo por brindarme los recursos económicos para desarrollar este nivel académico y a mi madre Mariela Vargas de Valenzuela por su dedicación y motivación emocional.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos:

Primeramente, a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hizo realidad este sueño anhelado.

A mi directora del proyecto de grado Bióloga MSc. Paula Martínez Silva y al ingeniero agrícola MSc. John Jairo Arévalo Hernández por su esfuerzo, dedicación y por incentivar el espíritu investigador que debe desarrollar cualquier profesional.

A la universidad Sur colombiana y a los profesores por darme la oportunidad de estudiar y ser un excelente profesional.

Al SENA, en especial al Tecno parque nodo Neiva por permitirme desarrollar mi proyecto de grado y por su gran aporte económico.

Para aquellas personas que han formado parte de mi vida, me gustaría agradecerles por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. MARCO TEORICO	12
1.1. CULTIVO DE LA TILAPIA ROJA	12
1.2. CALIDAD DEL AGUA PARA EL CULTIVO DE TILAPIA ROJA	12
1.2.1. Potencial Hidrogeno (pH)	13
1.2.2. Temperatura	14
1.2.3. Alcalinidad total	14
1.2.4. Turbidez	14
1.2.5. Nitratos y Nitritos	15
1.2.6. Amonio	15
1.2.7. Oxígeno disuelto	16
1.2.8. Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	17
1.2.9. Demanda química de oxígeno (DQO)	17
1.3. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS	18
1.3.1. Aireación	18
1.3.2. Métodos de filtrado de agua	19
1.3.2.1. Filtrado mecánico	20
1.3.2.2. Filtrado biológico	21
2. METODOLOGIA	23
2.1. AREA DE ESTUDIO	23
2.2. FASES Y METODOS	24
2.3. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS	25
2.4. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO	27
3. RESULTADOS Y DISCUSION	30
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFIA	40
ANEXOS	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos permisibles de algunos parámetros del agua para el cultivo de tilapia Roja	12
Tabla 2. Solubilidad del oxígeno en agua pura en relación con la temperatura	16
Tabla 3. Resumen de las capacidades de aireadores	19
Tabla 4. Técnicas utilizadas para cada parámetro analizo	25
Tabla 5. Características físicas e hidráulicas del sistema de recirculación	26
Tabla 6. Resultados de las pruebas del agua proveniente del tanque de peces	30
Tabla 7. Resultados de las pruebas del agua proveniente del filtro de arena	32
Tabla 8. Resultados de las pruebas del agua proveniente del filtro con plantas	33
Tabla 9. Porcentaje de remoción del filtro de arena	38
Tabla 10. Porcentaje de remoción del filtro con plantas	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de la distribución de las zonas del biofiltro	21
Figura 2. Ubicación geográfica del proyecto tomado de imagen satelital Google earth	23
Figura 3. Esquema de puntos de muestreo del prototipo	24
Figura 4. Vista general del prototipo con sus componentes	27
Figura 5. Tanque de 500 litros donde se encuentran los peces	28
Figura 6. Válvulas de salida de agua del tanque de 500 litros	29
Figura 7. Filtros descendientes de arena	28
Figura 8. Plantas macrófitas de buchón de agua (<i>eichhornia crassipes</i>).	29
Figura 9. Bomba sumergible AQUA60 w Evans	29
Figura 10. Concentración de amonio diaria durante el experimento	34
Figura 11. Concentración de oxígeno disuelto diaria durante el experimento	35
Figura 12. Temperatura diaria durante el experimento	36
Figura 13. Potencial de hidrogeno diaria durante el experimento	37

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Resultados de laboratorio del tanque de los peces	46
ANEXO B. Resultados de laboratorio del filtro de arena	47
ANEXO C. Resultados de laboratorio del filtro con plantas	48
ANEXO D. Análisis de varianza de un factor (ANOVA) para el pH y amonio	49

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar y evaluar parámetros de la calidad del agua como potencial de hidrogeno (pH), temperatura (°c), oxígeno disuelto (ppm), turbidez (NTU), alcalinidad (mgCaCO₃/L), nitratos (mgNO₂/L), amonio total (ppm), Demanda Bioquímica de Oxígeno (mgO₂/L) y Demanda Química de Oxígeno (mgO₂/L) en un sistema cerrado de recirculación implementado para la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) durante 90 días. El sistema está compuesto de un tanque plástico de 500 litros, dos filtros de arena, 20 biobolas, dos bombas de 60W, un soporte de 1.5 metros de altura y un tanque plástico de 60 galones en donde están 10 plantas macrófitas (buchón de agua). Los peces fueron alimentados durante ese periodo de tiempo tres veces al día con el 2% de su peso promedio. Los parámetros de pH y amonio se registraron a diario con la ayuda de indicadores, el oxígeno disuelto con oxímetro y los demás fueron enviados al laboratorio. Se utilizó dos métodos de filtración, mecánico y biológico de los cuales se obtuvo porcentajes de remoción de sólidos muy altos, manteniendo un ambiente de oxigenación óptimo para el adecuado desarrollo de los peces.

Palabras claves: calidad del agua; nitrificación; cultivo de tilapia; filtro de arena; biofloc.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze and evaluate parameters of water quality such as hydrogen potential (pH), temperature (° C), dissolved oxygen (ppm), turbidity (NTU), alkalinity (mgCaCO₃ / L), nitrates (mgNO₂) / L), ammonium (ppm), Biochemical Oxygen Demand (mgO₂ / L) and Chemical Oxygen Demand (mgO₂ / L) in a closed recirculation system implemented for the production of red tilapia (*Oreochromis sp.*) For 90 days. The system is composed of a plastic tank of 500 liters, two sand filters, 20 biobolas, two pumps of 60W, a support of 1.5 meters high and a plastic tank of 60 gallons where there are 10 macrophyte plants (buchón de Water). The fish were fed during that period of time three times a day with 2% of their average weight. The pH and ammonium parameters were recorded daily with the help of indicators, dissolved oxygen with oximeter and the others were sent to the laboratory. Two mechanical and biological filtration methods were used, from which very high removal percentages of solids were obtained, maintaining an optimal oxygenation environment for the proper development of the fish.

Key words: water quality; nitrification; tilapia culture; sand filter; biofloc

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el uso del recurso hídrico para la agricultura ha traído aspectos negativos para el desarrollo de los ecosistemas (OCDE, 2016). En respuesta a eso se han desarrollado diversos programas para el adecuado uso del agua en algunas actividades agrícolas en especial la acuicultura.

En el año 1997 se expidió la ley 373 que establece el programa para el uso eficiente y ahorro de agua, 13 años después, el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial creó la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, que establece como principio el ahorro y uso eficiente del agua, teniendo en cuenta que el agua dulce se considera un recurso escaso y por lo tanto, su uso será racional y se basará en el ahorro y uso eficiente (Ministerio de Ambiente de Colombia, 2014)

Basados en esa legislación, los acuicultores del país se vieron obligados a buscar estrategias técnicas que se acojan a ellas. Lo anterior involucra los sistemas de recirculación de aguas para uso acuícola permitiendo mediante una serie de tratamientos, garantizar una calidad de agua suficiente y adecuada para el mantenimiento de los organismos acuáticos en sus diferentes estados (reproducción, larvario, pre-engorde o engorde) (Carbó, 2016). En estos sistemas el agua de desperdicio cargada con subproductos metabólicos de los peces y /o mariscos, se recicla con purificación biológica y física, reutilizándola en más de un 90 %. (Hernández *et al.*, 2009).

Los sistemas de recirculación de aguas para uso acuícola se han desarrollado en los países industrializados desde hace más de 3 décadas con el fin de disminuir la cantidad de agua utilizada en la producción, aunque tiene la limitante del consumo energético (Timmons *et al.*, 2002). En general estos sistemas se componen de 5 principales etapas entre procesos y operaciones que permiten sostener la calidad del agua, las cuales son circulación de agua, remoción de sólidos, biofiltración, oxigenación y eliminación de gases (Gallego, 2010). Esta tecnología debe adecuarse a unas condiciones de calidad de agua de acuerdo a las exigencias de la especie que se desee cultivar.

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar las condiciones óptimas de pH, temperatura, turbidez, alcalinidad y nitratos para la producción de un cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en un prototipo a escala de estanques con recirculación de agua.

1. MARCO TEORICO

1.1. CULTIVO DE LA TILAPIA ROJA

La tilapia roja es un pez de agua dulce del orden Perciforme que hace parte de la familia CICLIDAE y es un híbrido producto de la cruce de varias especies de tilapias. (Nicovita, 2017).

Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado. La boca es protráctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta. La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, como en todos los peces, esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua. (Saavedra, 2006)

Para Stickney (1993) citado por Perez *et al*, 2004, esta especie posee un crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, resistencia a enfermedades, carne de amplia aceptación y alta capacidad de hibridación.

1.2. CALIDAD DEL AGUA PARA EL CULTIVO DE TILAPIA ROJA

El agua es el elemento primordial para la producción de tilapia, por lo tanto es indispensable conocer la cantidad y calidad óptimas para sustentar el proceso productivo. A continuación, se presenta en la tabla 1, los diferentes parámetros físicos-químicos del agua que se deben tener en cuenta para tal fin:

Tabla 1

Rangos permisibles de algunos parámetros del agua para el cultivo de tilapia Roja

PARÁMETROS	UNIDADES	RANGOS
Temperatura	°C	25-32
Oxígeno disuelto	mg/L	5-9
pH	Unidades de pH	6-9
Alcalinidad Total	mg/L	50-150
Dureza Total	mg/L	80-110
Calcio	mg/L	60-120

Nitritos	mg/L	0-0,1
Nitratos	mg/L	1,5-2
Amonio Total	mg/L	0-0,1
Hierro	mg/L	0,05-0,2
Fosfatos	mg/L	0,15-0,2
Dióxido de carbono	mg/L	5-10
Sulfuro de Hidrogeno	mg/L	0-0,01

Tomado de Saavedra, 2006

Pero los aspectos que tienen mayor importancia son: pH, temperatura, alcalinidad total, Turbidez, Nitratos, Nitritos, Amonios, Oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno.

1.2.1. Potencial Hidrogeno (pH)

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia y también como lo indican Bautista *et al.* (2011), el pH interviene determinando si un cuerpo de agua es dura o blanda, es decir, evalúa los niveles de carbonatos presentes para el desarrollo de una especie acuícola.

Según Cantor (2007) citado por González *et al.* (2011), la tilapia crece mejor en aguas de pH neutro o levemente alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta un pH de 5. Un valor de pH de 10 como suele suceder durante las tardes no las afecta pero si alcanza a 11 que es el límite máximo, el amonio se transforma en amoníaco tóxico. Este fenómeno también puede manifestarse con pH situados también a valores de 8, 9 y 10 dependiendo de otros factores en que se encuentre el agua.

En el artículo Interactions of pH, Carbon Dioxide, Alkalinity and Hardness in Fish Ponds citado por Carvajal (2014), el pH de aguas naturales es modificado, en gran parte, por la concentración de dióxido de carbono en solución, el CO₂ actúa como ácido en el agua, su acumulación tiende a bajar el pH del agua, al formar ácido carbónico (HCO₃), producto de la reacción entre CO₂ y agua (H₂O). Durante las horas del día, las algas utilizan el CO₂ para realizar fotosíntesis, su concentración se reduce y como consecuencia, sube el pH del agua en las horas de sol, en la noche no hay actividad fotosintética, la respiración de los organismos aeróbicos como los peces, fito y zooplancton, bacterias y otros, produce CO₂ y su concentración aumenta hasta la mañana del día siguiente, por lo cual los valores de pH más bajos en el agua de un estanque son encontrados en las horas de la madrugada. El pH deseado para los estanques es un pH cercano de la sangre del pez.

Los niveles bajos de pH producen mortalidad en un periodo de 3 a 5 horas, por fallas respiratorias debido a que el ion Fe⁺⁺ se vuelve soluble afectando las células de los

arcos branquiales y por ende, disminuye los procesos de respiración, además de otros problemas como pérdida de pigmentación e incremento en la secreción de mucus en la piel (Rodríguez & Brito, 2009).

1.2.2. Temperatura

La temperatura afecta directamente la tasa metabólica de los peces, cuando la del agua aumenta, la de los peces también lo hace, y por consiguiente el consumo de oxígeno (Castillo 1994, Chimits 1998 y Fitzsimmons 2000; citado por Borja *et al.* 2006).

Para la tilapia el rango óptimo de temperatura es de 28°-30° Celsius (°C); cuando la temperatura disminuye de los 15°C, la especie deja de comer hasta morir como lo observo Valbuena & Cruz, (2006) que peces de 25 g a 18 °C consumieron $176 \pm 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, en tanto que a 30 °C el consumo promedio fue de $508 \pm 120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. El efecto de la temperatura sobre el consumo de O₂ mostró una relación directamente proporcional; es decir, a mayor temperatura del agua, mayor es el consumo de O₂. Otro rol importante de este parámetro como lo afirma Dawson & Murphy, (1972) junto con Galli & Sal 2007, es la influencia que tiene en la velocidad de remoción de la nitrificación como lo hace en todas las cinéticas de reacciones químicas y biológicas. A menudo, un cambio repentino en la temperatura ocasiona estrés o incluso matar a los peces (Boyd & Lichtkopler, 1979).

1.2.3. Alcalinidad total

Según la definición que nos da Carvajal (2014), la alcalinidad es la concentración total de bases en el agua, expresada como miligramo/litro (mg/L) o partes por millón (ppm) de carbonato de calcio (CaCO₃). La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para resistir cambios en su pH. En aguas que contienen una mayor concentración de bases (bicarbonato + carbonato) tienen una mayor capacidad de amortiguamiento, es decir, sufrirá cambios menos drásticos en su pH.

Se determinó que, para cada gramo de nitrógeno amoniacal reducido a nitrógeno de nitrato, se consumen 7.14 gramos de alcalinidad, esta pérdida se puede reemplazar fácilmente por la adición de bicarbonato de sodio (NaHCO₃) u otro suplemento de bicarbonato. Las aguas se clasifican en moderadamente duras (75-100 mg/l), duras (150-300 mg/l) y muy duras (más de 300 mg/L). La recomendación en cultivos acuicola es aquella que abarca entre 20 y 300 mg/l (Boyd & Lichtkopler, 1979)

1.2.4. Turbidez

De acuerdo con el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia (2007), la turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal

tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente en plancton y otros microorganismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa la luz al ser dispersada y absorbida en vez de transmitida sin cambios en la dirección del nivel de flujo a través de la muestra: en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión.

Los sólidos en suspensión aumentan la turbidez en el agua ocasionando la disminución del oxígeno disuelto. La turbidez se mide en unidades nefelométricas (NTU) dadas por un nefelómetro, instrumento que mide la intensidad de luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de la muestra de agua. En estanques de peces, la turbidez que resulta de organismos planctónicos es deseable, mientras que el causado por partículas de arcilla suspendidas es indeseable (Boyd & Lichtkoppler, 1979). Los valores inferiores a 25 NTU son aptas para el desarrollo de la tilapia, aunque según Oviedo *et al.* (2013) es de 40 NTU.

1.2.5. Nitratos y Nitritos

Son parámetros de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. La toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de cloruros, temperatura y concentración de oxígeno en el agua. Los nitritos son un producto intermedio de la transformación del Amoníaco en nitrato por la actividad bacteriana. El nitrito es tóxico en los peces, mermando la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno, por lo cual su toxicidad está relacionada con el oxígeno disuelto en agua (Carvajal, 2014).

Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas, es detectada cuando se manifiesta un problema de salud en los organismos (Pacheco & Cabrera, 2003). Niveles de nitrato entre 0 y 20 ppm son generalmente seguros para los peces (Boyd & Lichtkoppler, 1979). Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico. Niveles de nitritos superiores a 0,075 ppm en el agua pueden provocar estrés en peces y mayores de 0,1 ppm pueden ser tóxicos como lo observo Yildiz *et al* (2006) manejando el nitrito en un rango de 0.50 y 1.38 mg l⁻¹NO₂-N causó un aumento en los niveles de metahemoglobina¹; sin embargo, los porcentajes de metahemoglobina que van del 16% al 42% representaban una metahemoglobinemia leve.

1.2.6. Amonio

El amoníaco es un compuesto nitrogenado en estado gaseoso, más liviano que el aire, de olor fuerte e incoloro. Altamente soluble en agua. El amoníaco causa daño en las

¹ componente de la sangre responsable de llevar el oxígeno por todo el cuerpo.

membranas de las branquias, inhibe el sistema inmunológico desencadenando enfermedades que pueden causar la muerte de los peces. Bajo condiciones particulares, el Amoníaco puede aumentar fácilmente (a través de la acumulación de sobrealimentación, riqueza de proteínas, desperdicio de comida excesivo y Amoníaco excretado) a niveles peligrosamente altos.

El Amoníaco en el agua existe en dos formas, como iones de Amoníaco (NH_4^+), los cuales no son tóxicos, y como Amoníaco tóxico no ionizado (NH_3). La proporción relativa de uno o el otro depende de la temperatura del agua y el pH. Si el fitoplancton absorbe demasiado CO_2 durante el día, y por lo tanto aumenta el pH a un valor por sobre 8.5, los peces están sujetos, dependiendo de la concentración total de Nitrógeno Amoniacal, a altas concentraciones de Amoníaco (NH_3). Tan poco como 0.6 ppm (mg/l) de Amoníaco libre (NH_3) puede ser tóxico para muchos tipos de peces, causando irritación de las branquias y problemas respiratorios.

La toxicidad del amonio aumenta al incrementar el pH, debido a que en aguas básicas la posibilidad de excretar el amoniaco se ve limitada, por la escasez de concentración de protones (H^+), por lo tanto, se produce una intoxicación por esta sustancia, caso contrario ocurre en agua acidas, donde hay mayor prevalencia de amonio ionizado (NH_4^+), citado por Carvajal, (2014).

1.2.7. Oxígeno disuelto

La solubilidad del oxígeno disminuye a medida que la temperatura del agua aumenta como se puede observar en la tabla 2, cuando el agua contiene concentración de oxígeno igual a la solubilidad de este a la temperatura existente, se dice que el agua está saturada con oxígeno disuelto (Boyd & Lichtkoppler, 1979) y que, además, es el principal factor que afecta el metabolismo respiratorio y la excreción de amonio en organismos acuáticos.

Tabla 2

Solubilidad del oxígeno en agua pura en relación con la temperatura

CONCENTRACIONES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO EN AGUA			
Temperatura (°c)	Concentración (ppm)	Temperatura (°c)	Concentración (ppm)
26	8,09	34	7,16
27	7,95	35	6,93
28	7,81	36	6,82
29	7,67	37	6,71
30	7,54	38	6,61

Tomado de FAO (2017)

Durante la respiración, los peces, al igual que otros animales toman oxígeno y liberan dióxido de carbono. El proceso se realiza por medio de las branquias en la mayoría de los peces, aunque algunos pueden utilizar la piel y otros poseen pulmones como estructuras que utilizan además de las branquias. Cuando un pez respira, un sorbo de agua a presión fluye desde la boca hasta las cámaras branquiales que se encuentran a cada lado de la cabeza. Las branquias, que se localizan en las hendiduras branquiales, dentro de las cámaras branquiales, consisten en filamentos laminares carnosos seccionados por las extensiones llamadas lamelas. A medida que el agua fluye a través de las branquias, el oxígeno que contiene se difunde en la sangre a través de los vasos sanguíneos de los filamentos y de las lamelas. De forma simultánea el dióxido de carbono de la sangre del pez se difunde hacia el agua, que es expulsada del cuerpo.

La Tilapia tiene una tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, aunque su presión parcial sea baja, su sangre es capaz de saturarse de Oxígeno y más aún, de reducir su consumo si la concentración es inferior a 3 mg/l usando un metabolismo semi-anaerobio, con el cual soporta niveles de 1 mg/l e incluso menor por períodos cortos (Morales como se citó en Martínez *et al*, 2015).

1.2.8. Demanda biológica de oxígeno (DBO)

La demanda biológica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en el agua para Boyd (1998), debe tener valores de 5mgO₂/L a 20mgO₂/L.

La DBO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l). Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °c; esto se indica como DBO₅. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla).

1.2.9. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. Los valores aceptables están por entre 40 mgO₂/l - 80 mgO₂/l (Boyd, 1998).

1.3. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUAS

El sistema de recirculación de aguas para la acuicultura es una forma ecológica para la producción de peces. Este sistema tiene como ventaja, el uso racional del agua ya que el volumen de recambio es menor a un 10% del volumen total del sistema permitiendo también el monitoreo y control de los parámetros fisicoquímicos tales como: la temperatura, el oxígeno disuelto, el potencial de hidrogeno (pH), la alcalinidad y los metabolitos como el nitrógeno amoniacal, los nitritos y los nitratos.

Para Jimenes (2012), un sistema de recirculación es eficiente cuando presenta cinco procesos o características:

- a) Remoción de sólidos que consiste en remover los desechos producidos en los sistemas tales como las heces y el alimento no consumido.
- b) Biofiltración que tiene la función de controlar los compuestos nitrogenados producto del metabolismo de los organismos.
- c) Aireación u oxigenación que consiste en adicionar aire u oxígeno al agua.
- d) Desgasificación que es el proceso de eliminar el dióxido de carbono acumulado en el sistema.
- e) Circulación del agua.

1.3.1. Aireación

La aireación es el proceso mecánico por el cual se procura un contacto íntimo del aire con el agua, aunque el objetivo es disolver oxígeno en el agua, la aireación incluye también la remoción del agua de gases indeseables, como dióxido de carbono (CO₂) y metano, este proceso se le denomina desgasificación (NALCO *et al*, 1989).

Un aireador incorpora el oxígeno atmosférico por dos tipos de estrategias:

Llevándolo de la interface liquido- gas: impulsan el agua de los tanques hacia el aire transformando el agua en pequeñas gotas, colocándolas en contacto con el aire atmosférico (estando estas menos oxigenadas) y de esta manera se saturan de oxígeno, que al momento de ingresar al agua nuevamente transferirán oxígeno en esta. Este modelo es utilizado por aireadores de paleta y tipo splash o fuente.

Llevándolo de la interfaz gas-liquido: inyectan aire atmosférico a elevada presión rompiendo la fase líquida e ingresando en forma de pequeñas burbujas, las cuales

trasfieren el oxígeno del aire al agua del tanque (Tucker, 2005). Este modelo es utilizado en un inyector tipo propulsor y las turbinas centrifugas o blowers.

Para el dimensionamiento del equipo de aireación, se puede utilizar la siguiente ecuación (1):

$$H_p = \frac{Q \times \delta \times x \times L}{24 \times q} \quad (1)$$

Donde

Q: flujo (miles de galones día)

L: demanda de oxígeno (partes por millón)

δ : densidad del agua (libra/galones)

q: velocidad de transferencia de oxígeno (lb de O₂/c de f-hr)

El valor de la velocidad de transferencia de oxígeno depende del tipo de aireador que se esté utilizando, en la tabla 3 se presentan los valores de la tasa típica con su respectivo aireador.

Tabla 3

Resumen de las capacidades de aireadores

TIPOS DE AIREADORES	TASA TÍPICAS (lb de O₂/c de f-hr)
Aireadores sumergidos	
Difusores porosos	4.0
Difusores no porosos	1.5
Aireadores de superficie	
Placa	2.0-2.5
Turbina	3.0-3.5
Propulsor	2.5-3.5
Aireadores combinados	2-3

Tomado de NALCO *et al* (1989)

1.3.2. Métodos de filtrado de agua

El uso de filtros en la producción de peces para consumo tiene como objetivo la eliminación de sustancias y organismos indeseables en el agua de cultivo.

Actualmente existen una gran variedad de estos, la selección del tipo correcto para un uso específico requiere del conocimiento de los diferentes tipos de filtros y sus principios básicos de operación.

1.3.2.1. Filtrado mecánico

Es la retención y consecuente remoción de materiales en partículas, principalmente de origen orgánico. Este proceso es importante para mantener la claridad del agua y reducir la materia orgánica biodegradable en el sistema.

El filtro de bioarena es más pequeño y está adaptado para darle un uso continuo, lo cual su contenedor puede estar hecho de concreto o plástico, con capas de arena y grava especialmente seleccionada y preparada para este fin (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology, 2009). Posee cinco zonas bien definidas:

- A. zona de reservorio para el agua de entrada: Es en donde se coloca el agua para el filtro.
- B. zona de agua estancada: Esta agua mantiene la arena mojada a la vez que deja que el oxígeno pase a la biocapa.
- C. zona biológica: Se desarrolla en los 5-10 cm (2-4") superiores de la superficie de arena. La arena de filtración extrae los patógenos, las partículas suspendidas y otros contaminantes.
- D. zona no-biológica: Virtualmente no contiene microorganismos vivos, debido a la falta de nutrientes y oxígeno.
- E. zona de grava: Mantiene la arena en su lugar y evita que el tubo de salida se tapone.

En la figura 1 se puede identificar el lugar que ocupa cada una de las zonas en el biofiltro. Las unidades están en milímetros.

El mantenimiento se realiza de acuerdo a la velocidad de flujo que este tenga, cuando ya sea demasiado lenta se hace una operación básica que consiste en saturar el filtro de agua, se revuelve la parte superficial de la arena y se retira hasta que el flujo vuelva a tener su condición inicial. Adicional se debe limpiar el tubo de salida, las mangueras de entradas y las superficies externas.

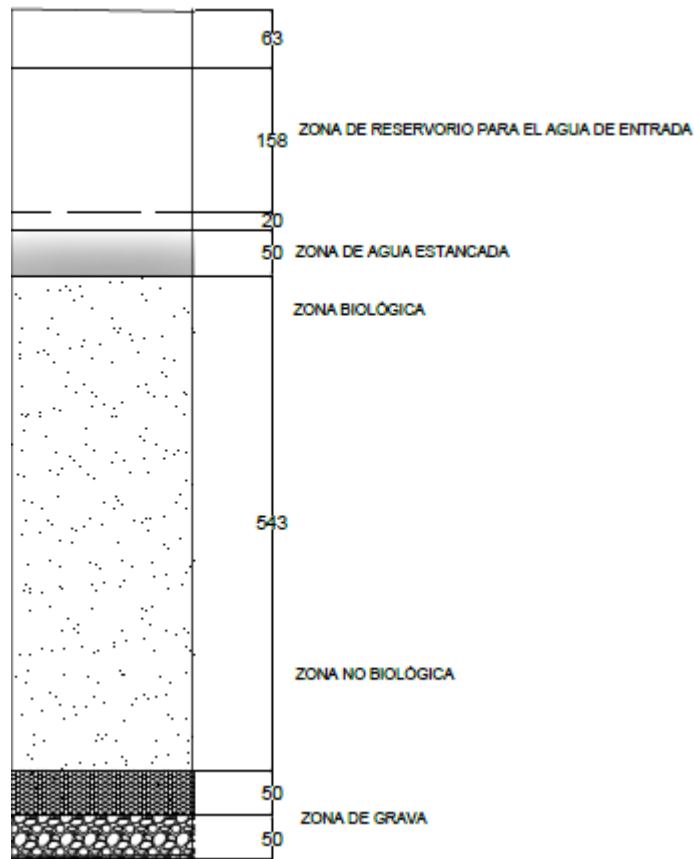


Figura 1. Esquema con la distribución de las zonas en el biofiltro

1.3.2.2. Filtrado biológico

Para el área ambiental de la acuicultura, el Nitrógeno es de central preocupación como componente de los residuos generados en la crianza de peces. En particular, los peces excretan varios productos nitrogenados residuales por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces. La descomposición de estos compuestos nitrogenados es especialmente importante en sistemas de recirculación de acuicultura debido a la toxicidad del amoníaco, nitrito y en algún grado el nitrato. El proceso de la remoción de nitrógeno amoniacal en un filtro biológico se denomina nitrificación, y consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco primero a nitrito y finalmente a nitrato. También existe un proceso de reducción anaeróbica de nitrato a nitrógeno molecular gaseoso denominado desnitrificación (Galli *et al*, 2007).

El uso de macrófitas² y biofloc³ en el tratamiento de aguas provenientes de la producción de cultivo de peces han ocupado la función de filtros biológicos. Las macrófitas como buchón de agua (*Eichornnia crassipes*), son descritas por Vargas (2002) como plantas de hojas redondeadas y de apice obtuso, flores vistosas de color azul o violeta azulado y con el peciolo hinchado que le permite flotar.

² Son formas macroscópicas de vegetación acuática. Comprenden las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas.

³ Sistema acuícola basado en microorganismos se basan en la promoción de la proliferación microbiana (autótrofa o heterótrofa), y se espera que estos microbios usen, reciclen y transformen el exceso de nutrientes de heces, organismos muertos, alimentos no consumido y diversos metabolitos en biomasa

2. METODOLOGIA

2.1. AREA DE ESTUDIO

Para la realización de este proyecto se contó con el apoyo financiero y tecnológico del tecnoparque seccional Neiva- Huila ubicada en la diagonal 20 N°38-16, barrio Buganviles como se puede ver en la figura 2, bajo la dirección del SENA.

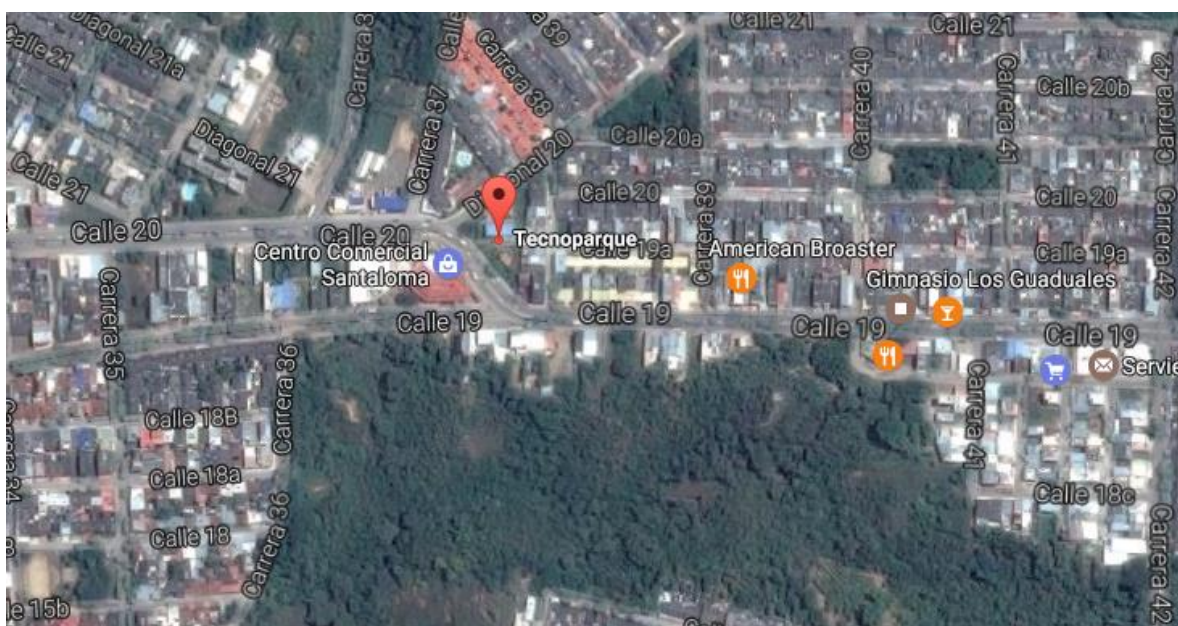


Figura 2. Ubicación geográfica del proyecto tomado de imagen satelital Google earth

En el sistema se sembraron 20 alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) con una longitud aproximada de 3,5 cm y de un peso promedio de 9 gramos, los cuales fueron adquiridos en la finca la esperanza, vereda el bajo juncal municipio de Campoalegre-Huila a los 60 días después de haber eclosionado. El tiempo de la evaluación fue de 90 días. El agua que se utilizó para el llenado del tanque de los peces es proveniente del acueducto de la ciudad de Neiva- Huila pero que se dejó decantar⁴ naturalmente durante 8 días antes de ingresar a los peces, con ese método garantizamos que el cloro se evapore.

⁴ Separar sustancias no miscibles de diferente densidad en un medio líquido, dejándolo reposar en un recipiente.

La región donde se desarrolló el prototipo se encuentra en una zona de vida⁵ de bosque seco tropical, en donde los índices de evaporación están alrededor de 4mm/día por lo tanto se debe hacer recargas del 2%, recomendado por García, citado en Gallego A, (2010).

2.2. FASES Y METODOS

Para el óptimo desarrollo de este proyecto se presentan a continuación las fases con sus respectivos métodos, los cuales tienen como objetivo principal la obtención de los resultados adecuados.

Recolección de datos: La temperatura se midió con un termómetro Aquadene, oxígeno disuelto con un oxímetro Milwaukee® Mw600 y el amonio junto con el pH se midió con los indicadores Alert Series Seachem, estos parámetros se tomaron diariamente en el tanque de producción (P₁) y en el filtro con plantas (P₃) como se puede ver en la figura 3.

Muestreo: para las pruebas de laboratorio se tomó una muestra de agua por cada punto de inspección.

P1: salida del tanque de producción

P2: salida del filtro de arena

P3: salida del filtro biológico

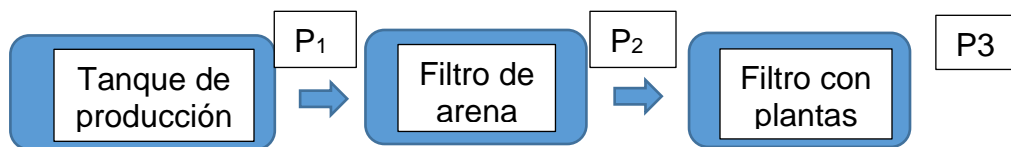


Figura 3. Esquema de puntos de muestreo del prototipo

En la figura 3 se observa el esquema de los puntos de muestreo (P₁, P₂ y P₃) que se utilizaron para la toma de muestras enviadas al laboratorio.

Pruebas de laboratorio: los parámetros de DBO₅, DQO, pH, turbiedad, alcalinidad total y nitritos se realizaron en el laboratorio DIAGNOSTICAMOS, ubicados en la carrera 11 No. 07-45 Neiva-Huila, a los 90 días de haber iniciado el proceso. En la tabla 4 se describe brevemente las técnicas utilizadas para evaluar cada parámetro de calidad de agua.

⁵ Es una región biogeográfica que está delimitada por parámetros climáticos como la temperatura y precipitaciones.

Tabla 4

Técnicas utilizadas para cada parámetro analizado

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO AGUA SUPERFICIAL	
Parámetro	Técnica analítica
DBO ₅	Incubación 5 días y luminiscencia SM 5210B y US EPA 360,3
DQO	Reflujo cerrado colorimetría SM 5220 D
pH	Electrométrico SM 4500 H+ B
Turbiedad	Nefelómetro SM 2130 B
Alcalinidad total	Volumétrico SM 2320
nitritos	Espectrofotométrico SM 4500-NO ₂ B

Fuente: laboratorio de aguas, Diagnosticamos S.A. Neiva-Huila (2017)

2.3. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

El sistema de tratamiento de aguas se compuso de dos unidades, filtro descendiente de arena y tratamiento con buchones de agua. El filtro de arena se construyó basados en las recomendaciones dadas por el Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (2009), las cuales son las siguientes:

- Se paso la arena por los tamices 12mm, 6mm y 1mm.
- El material que no paso por el tamiz 12mm, se desecho.
- El material que no paso por el tamiz 6mm, se utilizo como grava para el drenaje.
- El material que no paso por el tamiz 1mm, se utilizo como grava para separacion.
- La arena que paso por el tamiz 1mm, se utilizo como material filtrante.
- El filtro descendiente de arena se constituye del material mas grueso al mas fino.

De acuerdo a varias investigaciones (Gomez *et al*, 2012; Monroy *et al*, 2013; Mariluz , 2015; Muñoz , 2016) sobre tratamientos de aguas enfocados principalmente en la remocion del nitrogeno del agua de forma natural, se optó por usar plantas macrófitas pero en especial una especie denominada buchón de agua (*eichhornia crassipes*) complementandolo con el uso de la tecnologia biofloc, los cuales brindaban comunidades microbianas heterotrofas beneficiarias para el cultivo de tilapia roja como SpHingomonas, Pseudomonas, Bacillus, Nitrospira, Nitrobacter y la levadura Rhodotorula sp. (Monroy *et al*, 2013).

Según Muñoz (2016) se obtuvo eficiencias en tratamiento con esta planta de hasta 87% en remocion de nitrogeno, ademas de otros parametros fueron afectados favorablemente. En la investigacion de Gomez *et al* (2012) se removió un 94% de nitrogeno amoniacal en el agua,

basados en los trabajos anteriormente dichos, se decidió implementar este sistema para la fitorremediación⁶ del prototipo.

En la tabla 5 se describe las características del sistema de tratamiento de agua utilizado en el prototipo y en la figura 4 están ubicadas en el prototipo.

Tabla 5

Características físicas e hidráulicas del sistema de recirculación

COMPONENTE		DESCRIPCION		
1	Tanque de peces	Tipo de bomba para aireación	Bomba sumergible AQUA60 w Evans	
		Altura máxima elevación máxima de la bomba	2,8	Metros
		Caudal máximo de la bomba	18	Litros por minuto
		Volumen neto del tanque	500	Litros
		Densidad de siembra	20	Peces
		Numero de biofloc	20	Unidades
2	Filtro mecánico	Tipo	Filtro arena por flujo ascendente	
		Zonas	Reservorio	23,7%
			Agua estancada	7,5%
			Arena 1mm	58,1%
			Arena 0,7mm	5,35%
			Arena 6mm	5,35%
Caudal	0,8	Litros por minuto		
3	Filtro con plantas	Plantas	buchones de agua (<i>eichhornia crassipes</i>)	
		Número de plantas	10	Unidades
		Volumen del tanque	30	Litros

⁶ Es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes.

		Control de nivel del agua	Rebose por tubo vertical	
		Caudal de entrada	0,8	Litros por minuto
		Caudal de salida	18	Litros por minuto

Fuente: creación propia

2.4. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

El prototipo se dividió en dos componentes: oxigenación y tratamiento de agua. En la figura 3 se observa de forma general el sistema, con el tanque de 500 litros en donde se encuentran las 20 tilapias con los 20 biobolas, los dos filtros de arena y los tanques con las macrófitas.



Figura 4. Vista general del prototipo con sus componentes

En el componente de oxigenación se empleó una bomba sumergible AQUA60 w Evans (figura 9) que se ubica en la parte interior del tanque de los peces (figura 5). Esta bomba basada en la ecuación 1 proporciona:

$$L = \frac{24 \times q \times h \times p}{Q \times \partial} = \frac{24 \times 2,5 \times 0,1}{0,07 \times 8,34} = 10,3 \text{ ppm}$$

Es decir que la bomba oxigenará lo necesario para garantizar el bienestar de los peces.



Figura 5. Tanque de 500 litros donde se encuentran los peces

Con respecto al tratamiento de agua, esta funciona en la mayoría por gravedad. Los desechos son extraídos por medio de una válvula (figura 6) que se encuentra en la parte inferior del tanque y son depositados a los dos filtros de arena (figura 7). El tanque se encuentra sobre un soporte metálico con una altura de 1,50 metros y cuenta con una pendiente de 2%, de tal manera que los desechos se aglomeren cerca de la válvula y así se puede evacuar la mayor cantidad. El flujo se da por fuerza de gravedad y empuje del agua debido a que el tanque cuenta con una altura de agua de 60 centímetros por lo tanto son 600 kg/m^2 o $0,85 \text{ PSI}$ de presión.



Figura 6. Válvulas de salida de agua del tanque de 500 litros



Figura 7. Filtros descendientes de arena



Figura 8. Plantas macrófitas de buchón de agua (*eichhornia crassipes*).



Figura 9. Bomba sumergible AQUA60 w Evans

Los desechos son retenidos por la arena, dejando pasar solo el agua para luego ser tratada por los buchones de agua (*eichhornia crassipes*) quienes hacen la desnitrificación (figura 8). Luego de que el agua pasa por las raíces de estas plantas es devuelta al tanque de los peces por medio de otra bomba.

El agua llega limpia y en condiciones apropiadas para el desarrollo adecuado de los peces de acuerdo a algunas investigaciones con este tipo de tratamiento de aguas (Valderrama, 1996, Hidalgo *et al*, 2005, Rodriguez *et al*, 2010, Guevara *et al*, 2015).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los parámetros físico- químicos del agua juega un papel muy importante para el desarrollo del cultivo de la tilapia roja, es por eso que se debe tener en cuenta las características del agua en el tanque de producción, filtro de arena y filtro con plantas. Los datos de la tabla 6,7 y 8 son los resultados de las pruebas de laboratorio tomadas a los 90 días de haber iniciado el proyecto y son los primeros en analizar seguidos de las figuras 10, 11, 12 y 13 que corresponden al seguimiento diario del amonio (ppm), oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°c) y pH en el tanque de los peces y filtro con plantas para tener un control del proceso general del tratamiento del agua. En la tabla 6 y anexo A, se presentan los resultados de laboratorio de la muestra extraída del tanque de los peces.

Tabla 6

Resultados de las pruebas del agua proveniente del tanque de peces

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	RANGO OPTIMO
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	20,43	50-150
Demanda biológica de oxigeno	mg O ₂ /L	<10	0-30

Demanda química de oxígeno	mg O ₂ /L	48,3	0-40
Nitritos	mg NO ₂ /L	0,711	0,01
pH	Unidades de pH	5,75	6-9
Turbiedad	NTU	4,42	0-5

Fuente: laboratorio de aguas, Diagnosticamos S.A. Neiva-Huila (2017)

De acuerdo con los resultados, se puede decir que los peces están en un ambiente ligeramente ácido por su nivel de pH y alcalinidad. Según Nicovita (2017) estos son indicadores que el agua no se encuentra en buenas condiciones, el pH de 5.75 y la alcalinidad de 20.43 mg CaCO₃/L pueden afectar el aparato respiratorio y la pigmentación de los peces. La demanda química de oxígeno muestra que el agua presenta valores de agua contaminada con capacidad para auto durarse y la demanda biológica de oxígeno cataloga el agua como aceptable (Boyd, 1973).

El nitrito es el valor más alarmante porque pasa los límites óptimos, pero su toxicidad no es elevada por tener un pH ácido y la oxigenación alta. Con respecto a la turbiedad, las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de Oxígeno Disuelto bajaron, especialmente cerca de la superficie. Los niveles superiores a 5 NTU, no son aptos por la dificultad que tienen los peces para ver el alimento por lo tanto este se desperdicia y va al fondo del tanque, favoreciendo más la contaminación. En las biobolas se acumulan microalgas, ciliados, rotíferos, nematodos y bacterias de los géneros *Sphingomonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Nitrospira*, *Nitrobacter* y la levadura *Rhodotorula* sp. que sirven como fuente de alimento y que además contribuyen al mejoramiento de la calidad del agua del cultivo (Monroy *et al.*, 2013).

Según Mariluz (2015) obtuvo en su investigación, oxígeno disuelto entre 7.54±0.21 a 7.73±0.31 mgO₂/L, pH entre 7.23±0.34 a 7.58±0.35, nitritos entre 0.36±0.03 a 0.39±0.042 mg/L manteniendo una temperatura promedio de 24°C durante un periodo de 180 días. Para Gallego (2010) obtuvo niveles de alcalinidad de 54.46±0.57 mg/L, oxígeno disuelto de 4.86±0.07 mgO₂/L, pH de 6.95±0.07, demanda química de oxígeno de 51±58mg/L, nitritos de 0.250±0.006 mg/L y sólidos suspendidos de 3.64±0.03 mg/L manteniendo una temperatura promedio de 16.76±0.13 °c en un cultivo de trucha Arco Iris durante 150 días. Ingle de la Mora *et al.* (2003), en un estudio con Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistema cerrado de recirculación de agua mantuvo los peces con un pH 8.4±0.13; demanda química de oxígeno 34.3±47.4 mg/L; temperatura 18.9±1.2 °c; oxígeno disuelto 6.4±0.5 mg/L y nitrógeno amoniacal total 0.32±0.22 mg/L en un periodo de 120 días

En la tabla 7 y anexo B, se encuentran los resultados de los parámetros de laboratorio de la muestra proveniente del filtro de arena.

Tabla 7

Resultados de las pruebas del agua proveniente del filtro de arena

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	RANGO OPTIMO
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	26,88	50-150
Demanda biológica de oxígeno	mg O ₂ /L	<10	0-30
Demanda química de oxígeno	mg O ₂ /L	45	0-40
Nitritos	mg NO ₂ /L	0,466	0,01
pH	Unidades de pH	5,88	6-9
Turbiedad	NTU	1,92	0-5

Fuente: laboratorio de aguas, Diagnosticamos S.A. Neiva-Huila (2017)

El pH y la alcalinidad nos muestran que el agua, aunque sigue siendo acida, al pasar por los filtros de arena, subió ligeramente sus niveles debido a la composición del material filtrante. La demanda biológica y química de oxígeno siguen catalogando el agua como contaminada, pero con capacidad de auto depurarse. El nitrito no está en el rango de valores permisibles pero su toxicidad no es letal por los altos niveles de oxigenación. La turbiedad nos demuestra que el agua se encuentra con mayor transparencia.

La utilización de arena como material filtrante se ha usado para tratamiento de aguas para consumo humano como lo hizo Cargua (2014) donde al pasar el agua contaminada por el filtro redujo el pH de 7.54 a 7.27 ; turbiedad de 1.96 a 0.70 NTU; alcalinidad de 119 a 40 mg/L y nitritos mantiene su nivel de 0.01 mg/L; también Valdiviezo (2013) obtuvo una reducción de pH de 6.75 a 6.59; la alcalinidad de 293.67 a 260 mg/L; la turbiedad y los nitritos se mantiene igual, 0.22 NTU y 0.01 mg/L. Con respecto a la piscicultura, Gallego, (2010) obtuvo una reducción de pH de 7.13±0.07 a 6.99±0.07, alcalinidad de 51.42±0.56 a 46.11±0.56 mg/L, nitritos de 0.312±0.006 a 0.201±0.006 mg/L, demanda química de oxígeno de 46.6±0.44 a 43.81±0.37 mgO₂/L y sólidos suspendidos de 3.73±0.04 a 2.06±0.033 mg/L. Ingle de la Mora *et al.*(2003) en su trabajo encontró que el pH se mantuvo en un nivel de 8.4; mientras que el nitrógeno amoniacal total disminuyó de 0.32 a 0.04mg/L y la demanda química de oxígeno aumento de 34.3 a 37.7 mg/L durante un periodo de 120 días. Para Tsukuda *et al.*(2015), consiguió una eficiencia de remoción de nitratos de 26.9 ± 0.9%, eliminando 402 ± 14g NO₃N /m³ aunque las concentraciones de nitrito-N y nitrógeno total de amonio aumentaron levemente 11 y 13% porque no hubo el suficiente carbono orgánico para la degradación de estos.

En la tabla 8 y anexo C, se presentan los resultados de laboratorio de la muestra proveniente del filtro con las plantas acuáticas.

Tabla 8

Resultados de las pruebas del agua proveniente del filtro con plantas

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	RANGO OPTIMO
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	22,58	50-150
Demanda biológica de oxígeno	mg O ₂ /L	<10	0-30
Demanda química de oxígeno	mg O ₂ /L	<10	0-40
Nitritos	mg NO ₂ /L	0,528	0,01
pH	Unidades de pH	6,15	6-9
Turbiedad	NTU	1,26	0-5

Fuente: laboratorio de aguas, Diagnosticamos S.A. Neiva-Huila (2017)

El agua sube el nivel de pH por el aporte de la arena de los filtros a un nivel cada vez más cercano a la neutralidad. Según Zou *et al.* (2016), el pH con mayor desnitrificación se obtiene cuando está en 6.0 porque un ambiente ácido inhibe agentes destrificantes. La demanda biológica y química de oxígeno se encuentran en un rango aceptable, sin rastro de contaminación, de acuerdo a Boyd (1973) por las concentraciones de clorofila del fitoplancton, plantas acuáticas y algas. El nitrito aumentó un poco debido a que las raíces de las plantas pudieron desprender este compuesto al ser movidas en algunas ocasiones por cuestiones de mantenimiento. El agua se encuentra en un estado de transparencia con una turbiedad de 1,26NTU propicia para el desarrollo de esta planta (Thi Nguyen *et al.*, 2015).

Según Gomez & Pinzon (2012), el buchón de agua (*Eichornia crassipes*) es un fitorremediador natural que disminuye los nutrientes que conducen a la eutroficación del agua como lo indica en su trabajo donde el pH se acidificó hasta llegar a 3, el oxígeno disuelto en 6.6 mg/L y nitritos en 0.01 mg/L. El agua contaminada al ser tratada con este sistema tiende a neutralizar su pH y remover hasta en 89% fenoles, 71% fósforo y 87% nitratos (Muñoz, 2016).

En la investigación de Rubim *et al.* (2015), comparo el porcentaje de cobertura de esta planta y su relación con la calidad del agua observo que los parámetros evaluados se redujeron después del paso del biofiltro bajo la presencia de *E. crassipes*: 73.7% para conductividad eléctrica, 15% para pH, 84.5% para turbidez, 86.8% para nitrito, 69% para fósforo total y 77.8% para ortofosfato.

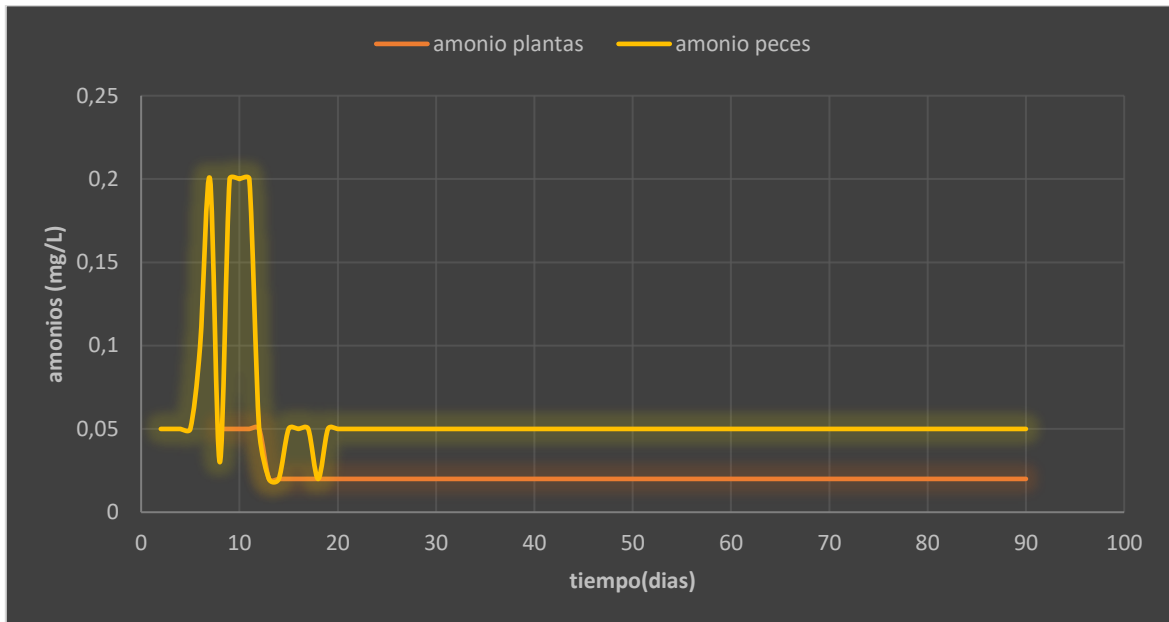


Figura 10. Concentración de amonio diaria durante el experimento

Antes de ser incorporados los peces, el prototipo se llenó de agua y duró 8 días así. En la figura 2 se puede observar el comportamiento del amonio durante todo el experimento. En los primeros 15 días, los niveles de amonio fueron elevados en el tanque de los peces debido a que el sistema aún no se había madurado.

La maduración consiste en dejar desarrollar bacterias nitrificadoras en las biobolas para que oxiden los nutrientes disueltos en el agua y después ser asimilados por los peces, de acuerdo a Gallego (2010) esto se da cuando la concentración amoniaca total se vuelve constante por debajo de 0.2mg N-NH₃/L.

En ese tiempo hubo una mortalidad del 10%. Teniendo en cuenta la figura 1, el nivel promedio de amonio en el tanque de los peces es de 0.06±0.03 mg/L y para las plantas es de 0.02±0.01 mg/L mostrando diferencia estadística significativa entre los dos procesos (filtro de arena y plantas). El porcentaje de remoción de amonio es de 66.67%.

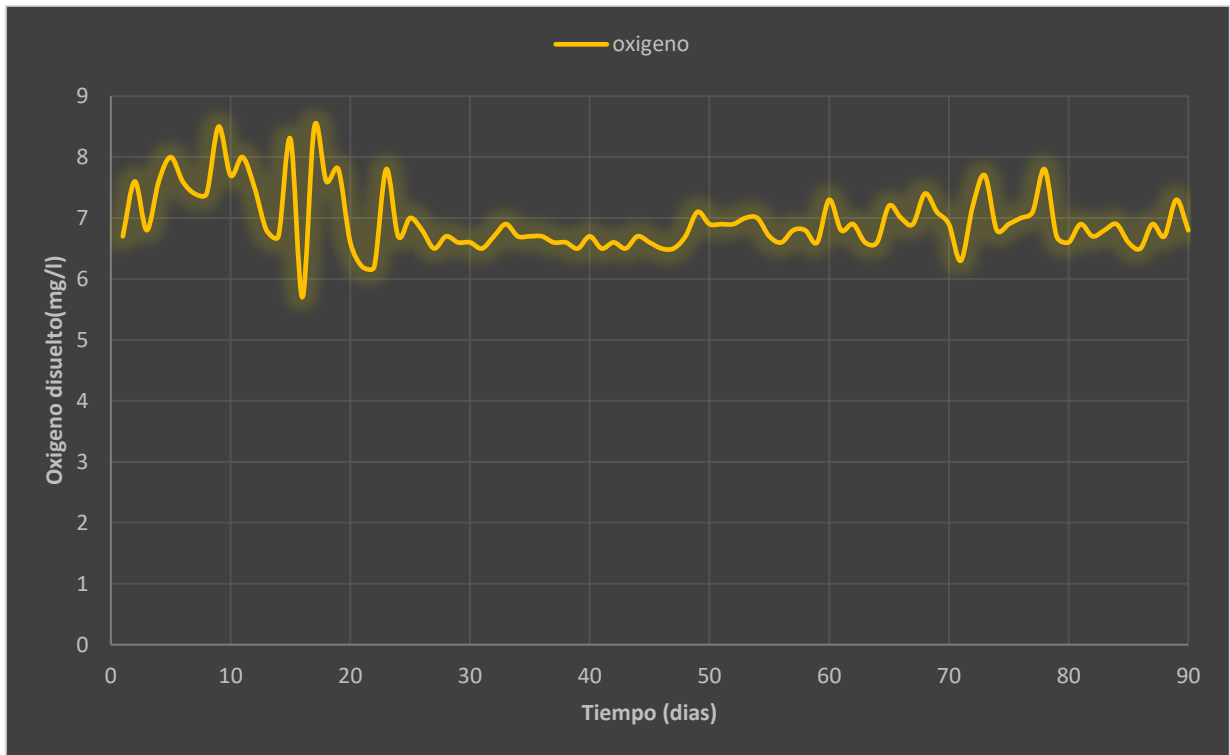


Figura 11. Concentración de oxígeno disuelto diaria durante el experimento

La figura 11 muestra la concentración de oxígeno disuelto en el tiempo con un promedio de $6,95 \pm 0,5 \text{ mg/l}$. Por ser el indicador más importante, fue tomado todos los días y en la jornada de la mañana. El resultado demuestra que el agua está con el oxígeno adecuado con base a lo dicho por Galo, afirmando que debe ser mayor de $4,5 \text{ mg/L}$ citado por Brito (2009) y para Kubitza mayor a $3,5 \text{ mg/L}$ citado por Carvajal (2014).

La temperatura promedio del agua de los peces es de $26,2 \pm 1,5^\circ\text{C}$ como se puede ver en la figura 12, manteniéndose en los rangos admisibles que según Kubitza debe estar entre 28 y 32°C citado por Carvajal (2014) y para Saavedra (2006) entre 25 y 32°C . Aunque en la ciudad de Neiva-Huila la temperatura promedio oscila entre 32 y 34°C , el agua no alcanza a tener esos valores.

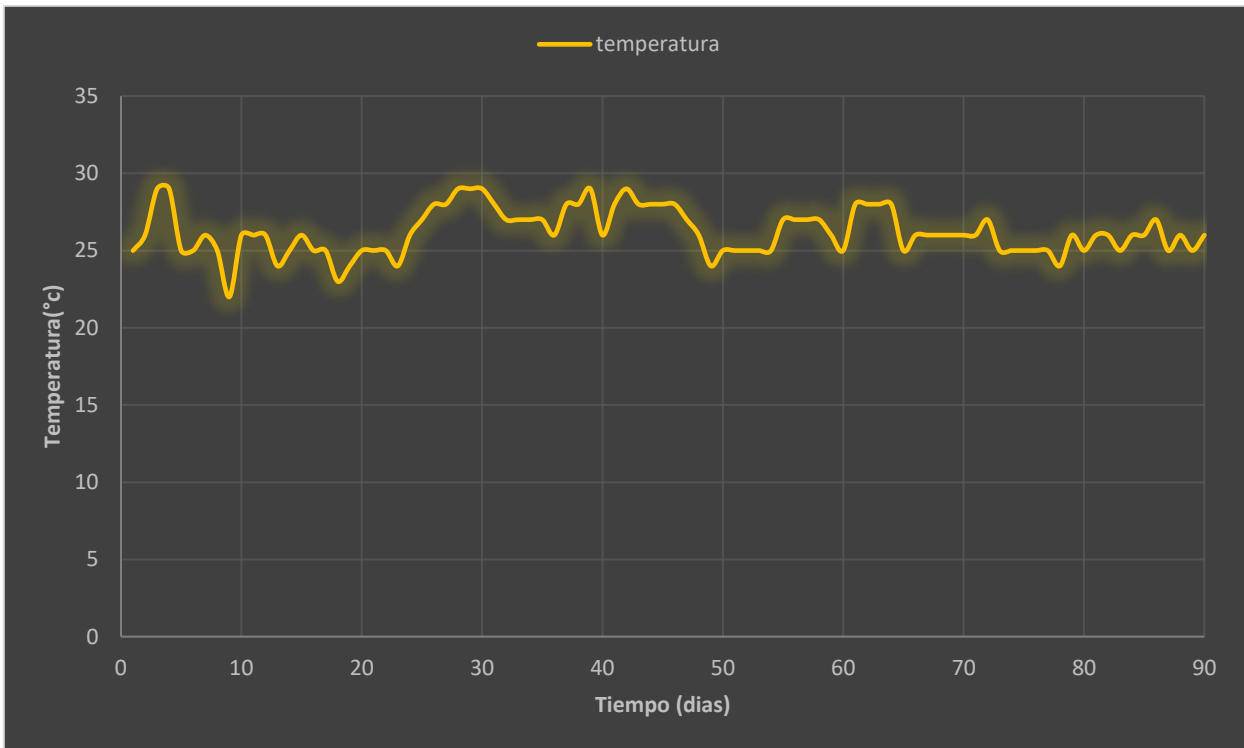


Figura 12. Temperatura diaria durante el experimento

Como se observa en la figura 13, el pH del agua de los peces es en promedio de $6,08 \pm 0,49$ y el pH para el tratamiento con las plantas es de $6,2 \pm 0,22$, arrojando diferencias estadísticamente significativas.

Estos niveles se encuentran en los rangos permisibles de acuerdo a Nicovita, Kubitzka y Southern Regional Aquaculture Center, en donde establecen que un pH entre 6,0 hasta 8,5 son los óptimos para el desarrollo de los peces (Carvajal , 2014).

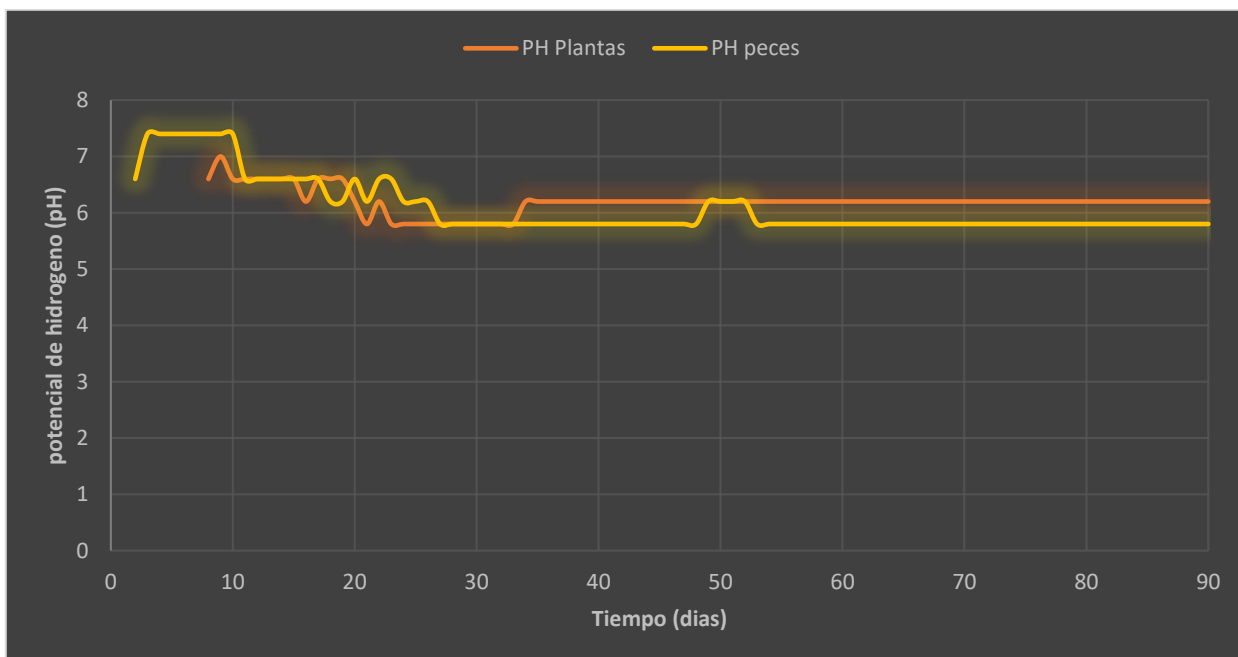


Figura 13. Potencial de hidrogeno diaria durante el experimento

La tabla 9 y 10, muestra el porcentaje de remoción o adsorción que se obtuvo del filtro de arena y del filtro con plantas respectivamente. El parámetro que más diferencia tuvo fue la turbiedad al pasar el agua por el filtro de arena con un 56% de remoción pero no lo suficiente como en otras investigaciones donde utilizan filtro de arena como por ejemplo, Rivas *et al* (2017) obtuvo un 99,98% ,Torres *et al* (2014) un 96,4%,Jafvert *et al* (2011) un 99,9% estos resultados fueron citados por Rivas *et al* (2017) pero Prada (2015) no tuvo esos resultados debido que el agua que trataban no era tan turbia por lo tanto la remoción fue de 16,7%. El nitrito fue retenido en un 34,46% en el filtro de arena afirmando que no solo es un filtro mecánico sino biológico, también por aportar un 31,57% de alcalinidad al sistema. Según Al-Hafedh *et al*, (2003) el filtro de arena tuvo una remoción de nitritos de 26,3% acompañándolo con un tratamiento de biofloc.

Las plantas acuáticas no tuvieron el tiempo suficiente para cumplir su función en este estudio, sin embargo, se llegó a un valor muy cercano a la neutralidad como también lo obtuvo Muñoz (2016) con un pH promedio de 6,73 y el nitrito fue poco reducido que en algún momento aumentaba como se dio en el trabajo de Gomez *et al* (2012) donde en los primeros 19 días alcanzó hasta 0,06 mg/L. En este caso los parámetros que tuvieron un aumento fue nitritos y pH, contrario pasa con la alcalinidad, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y turbiedad.

Tabla 9

Porcentaje de remoción o adsorción del filtro de arena

PARAMETRO	ENTRADA	SALIDA	% REMOCION O ADSORCION
Alcalinidad total	20,43	26,88	+31,57
Demanda biológica de oxígeno	<10	<10	NO APLICA
Demanda química de oxígeno	48,3	45	-6,83
Nitritos	0,711	0,466	-34,46
pH	5,75	5,88	+2,26
Turbiedad	4,42	1,92	-56,56

(+) Adsorción, (-) Remoción

Tabla 10

Porcentaje de remoción o adsorción del filtro con plantas

PARAMETRO	ENTRADA	SALIDA	% REMOCION O ADSORCION
Alcalinidad total	26,88	22,58	-15,99
Demanda biológica de oxígeno	<10	<10	NO APLICA
Demanda química de oxígeno	45	<10	NO APLICA
Nitritos	0,466	0,528	+13,30
pH	5,88	6,15	+4,59
Turbiedad	1,92	1,26	-34,37

(+) Adsorción, (-) Remoción

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Con base en los resultados obtenidos en el desarrollo del sistema de recirculación implementado en la producción de tilapia roja (*oreochromis sp.*) propuesto en este trabajo, se demuestra que esta tecnología es una alternativa viable para ahorro del recurso hídrico en la producción de alimento de alta calidad y gran valor nutritivo. La configuración del tren de tratamiento utilizado (filtro de arena y filtro con plantas) fue la adecuada para producir 20 de tilapias roja a talla comercial (250 g) lo que significó un ahorro de agua de hasta el 98%, comparado con la tecnología vigente. El prototipo permite el 0.5% del consumo de agua de un sistema abierto (tecnología de cultivo tradicional).
- La eficiencia global de remoción obtenida del sistema fue de 71,49% para turbiedad, 66,67% para amonio y 25,7% para nitritos. El filtro de arena disminuyó los niveles de demanda química de oxígeno, nitrato y turbiedad por lo contrario pasa con el filtro con plantas en donde la alcalinidad y la turbiedad disminuyeron y el pH junto con los nitritos aumentaron levemente. Sin embargo, la eficiencia lograda permite contar con agua tratada de calidad suficiente para el cultivo de Tilapia roja (*oreochromis sp.*).
- Los niveles de demanda biológica y química de oxígeno se mantuvieron bajos en el rango de 0 a 10 mg/L, considerándolo como aguas con capacidad de auto depurarse fácilmente.
- La maduración del sistema se alcanzó cuando el nivel del nitrógeno amoniacal total se mantuvo en valores menores a 0,2 mg/L; porque aumentó la producción de fitoplancton y algunas bacterias benéficas que regulaban este nutriente en el agua.
- Esta investigación permite estimar la producción de contaminantes que se generarán durante el ciclo de producción a partir de la biomasa cultivada. Con base en los resultados es posible calcular la producción de amonio en función de la biomasa de tilapia a cultivar, lo que permite realizar un diseño de recirculación de aguas más seguro y apegado a la realidad.

RECOMENDACIONES

- Los resultados de las pruebas físico- químicos del agua deben ser complementadas con muestreo de los peces diariamente para evaluar el estado real del pez y así determinar medidas preventivas o correctivas si lo requiere.
- El control de enfermedades de los peces se regula mediante baños con agua salubre cada mes, este proceso garantiza que los parásitos como el piojo de agua no afecte nuestra producción.
- Se recomienda implementar este sistema bajo sombra para que la radiación solar no interfiera en la calidad del agua ni en la cantidad por fenómeno de evaporación del agua.
- La implementación de software para la programación de la bomba y de la dosificación del alimento sería necesaria para tener un mayor control.

BIBLIOGRAFIA

- Al-Hafedh, Y. S., Aftab, A., & Afaque, A. M. (2003). Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacultural Engineering*, 139-154. doi:[https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00065-7)
- Bautista Covarrubias, J. C., & Ruiz Velazco Arce, J. M. (2011). Calidad del agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. *Revista Fuente*(8), 10-14. Obtenido de <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>
- Borja Gallardo, F. J., Gonzalez Salcedo, L. O., & Quintero de Vallejo, V. E. (2006). Evaluación de alternativas para climatización de estanques con energía solar para cultivo de tilapia roja (*oreochromis* sp), localizados en la zona fría del valle del cauca, colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 59(1). doi:10.15446/rfnam
- Boyd, C. E. (1973). The Chemical Oxygen Demand of Waters and Biological Materials from Ponds. *Transactions of the american fisheries society*, 606-611. doi:[https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1973\)102<606:TCODOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1973)102<606:TCODOW>2.0.CO;2)
- Boyd, C. E. (1998). Water quality for pond aquaculture. Auburn : International Center for aquaculture and Aquatic Environment Alabama Aquacultural Experiment station.
- Boyd, C. E., & Lichtkoppler, F. (1979). Water quality management in pond Fish Culture. Auburn-Alabama: Research and Development Series No. 22 Project: AID/DSAN-G 0039. Obtenido de file:///C:/Users/RICARDO/Downloads/0192FISH%20(2).pdf
- Carbó Bacaicoa, R. (2016). Sistemas de recirculacion para la acuicultura (SRA). *Ipacultura*, 16-17. Obtenido de http://www.observatorio-acuicultura.es/sites/default/files/images/adjuntos/libros/hoja_divulgativa2.pdf
- Cargua Lopez, M. (2014). Diseño de una planta de potabilizacion de agua en la comuna Ainche del Canton Chambo. Riobamba: Escuela Politecnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3418>
- Carvajal Echeverri, J. P. (2014). Comparacion de parametros zootecnicos y de calidad de agua de tres sistemas de precria de tilapia roja (*Oreochromis* Spp.) en el MUunicipio de Puerto Triunfo. Caldas- Antioquia: Corporacion Universitaria Lasallista. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10567/1511>
- Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. (2009). Manual para el filtro de bioarena: Diseño, construccion instalacion, operacion y mantenimiento. Alberta-Canada: Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. Obtenido de <http://docplayer.es/15350886-Manual-del-filtro-bioarena-diseno-construccion-instalacion-operacion-y-mantenimiento.html>
- Cortes Ortiz, D. L. (2016). Diseño e implementacion de un sistema de control regulador de temperatura y oxigeno para un cultivo de tilapia en un estanque construido a escala. Neiva-Huila: Universidad Antonio Nariño.
- Dawson, R., & Murphy, K. (1972). The temperature dependency of biological denitrification. *Water Research*, 71-83. doi:[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(72\)90174-1](https://doi.org/10.1016/0043-1354(72)90174-1)

- FAO. (marzo de 2017). Site Selection For Aquaculture CHEMICAL FEATURES OF WATER. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC183E/AC183E04.htm>
- Gallego Alarcon, I. (2010). Evaluacion y modelacion de un tren de tratamiento de agua residual acuicola con recirculacion y del cultivo de trucha Arco Iris alimentado por cosecha pluvial. Toluca-Mexico: Universidad Autonoma del estado de Mexico. doi:doi: 10.13140 / rg.2.1.3720.1761
- Galli Merino, O., & Sal, F. M. (2007). Sistema de recirculacion y tratamiento de agua. Santa Ana- Corrientes: CENADAC. Obtenido de http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos//000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf
- Gomez Sierra, H., & Pinzon Castañeda, G. P. (2012). Analisis de la mitigacion del impacto ambiental en el lago del parque de Florida, por fitorremediacion usando buchón de agua. Bogota D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10654/7129>
- González Martínez, V. V., Sánchez Zamora, B. R., & Rodríguez López, R. A. (2011). Efecto de dos alimentos comerciales sobre el crecimiento de la Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques de plástico. Leon: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/6336>
- Guevara Granja, M. F., & Ramirez Cando, L. J. (2015). Eichornia Crassipes, su invasividad y potencial fitorremediador. La Granja, 5-11. doi:10.17163/lgr.n22.2015.01
- Hanh, T. N., Pieter, B., Koen, L., Naomi, D. A., Ane, E. F., Peace, S., . . . LM, G. P. (2015). Habitat suitability of the invasive water hyacinth and its relation to water quality and macroinvertebrate diversity in a tropical reservoir. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 52, 67-74. doi:<https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.03.006>
- Hernandez Barraza, C. A., Aguirre Guzman, G., & Lopez Cantu, D. G. (2009). Sistema de produccion de acuicultura con recirculacion de agua para la region Norte, Noreste y Noroeste de Mexico. *Revista Mexicana de agronegocios*.
- Hidalgo, J. C., Junod Montano, J., & Sandoval Estrada, M. (2005). Recientes aplicaciones de la autodepuracion de aguas residuales con plantas acuaticas. 14, 17-25.
- Ingle de la Mora, G., Villarreal Delgado, E., Arredondo Figueroa, J. L., Ponce Palafox, J. T., & Barriga Sosa, I. (2003). Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiologica*, 13(4), 247-253. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57813402>
- Instituto de hidrologia, m. y. (2007). Turbiedad por nefelometria en el equipo Turbiquiant 3000T. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Jimenes Saenz, A. J. (2012). Sistemas de recirculación en acuicultura: una visión y retos diversos para Latinoamérica. Peru.

- M., R., P., I. S., & P., P. (2015). Biofilter efficiency of *Eichhornia crassipes* in wastewater treatment of fish farming in Amazonia. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, 84(1), 244-251. Obtenido de <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/phyton/article/view/8133/7342>
- Mariluz Fernandez, A. A. (2015). Evaluacion de los parametros productivos y de calidad de agua en el cultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* en sistemas de recirculacion cerrada en laboratorio. Callao: Universidad Nacional del Callao. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1000>
- Martinez Suarez, J. L., Perez Delgado, A., Sanchez Armas, S. E., & Diaz Orejan, E. T. (2015). Propuesta de un medidor de oxigeno disuelto en cultivos de Tilapia. Puebla- Mexico: Universidad Tecnologica de Tehuacan.
- Mejia Maravilla, E., Rosales Cristena, F., Rojas Garcia, J. A., & Molina Segura, C. (2016). Evaluacion de la calidad de agua. Marco institucional para la gestion del agua en la cuenca, 101-102.
- Ministerio de Ambiente de Colombia. (16 de enero de 2014). Politica Nacional para la gestion integral del recurso hidrico. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>
- Monroy Dosta, M., De Lara Andrade, R., Castro Mejía, J., Castro Mejía, G., & Coelho Emerenciano, M. G. (2013). Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(3), 511-520. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47929283009>
- Muñoz Cruz, F. A. (2016). Evaluación de la remoción de fenoles, fósforo y nitratos en agua residual doméstica rural en Bruselas Huila, a partir de un sistema de fitorremediación con buchones de agua (*eichhornia crassipes*). Pitalito-Huila: Universidad Nacional abierta y a distancia- UNAD. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10596/8581>
- NALCO chemical company, K. F., & McCallion, J. (1989). Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones (Vol. II). Mexico: McGRAW-HILL.
- Nicovita. (18 de 08 de 2017). Manual de crianza de tilapia. Obtenido de <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>
- Oviedo P., M., Brú C., S., Atencio G., V., & Pardo C, S. (2013). Potencialidad de la región costera de Córdoba -Colombia- para el cultivo de tilapia nilótica. *Revista MVZ Córdoba*, 18(3), 3781-3789. doi:<https://doi.org/10.21897/rmvz.148>
- Pacheco Ávila, J., & Cabrera Sansores, A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*, 7(2), 47-54. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46770204>
- Perez, J., Muñoz, C., Huaquin, L., & Nirchio, M. (2004). Riesgos de la introducción de tilapias (*Oreochromis sp.*) (Perciformes: Cichlidae) en ecosistemas acuáticos de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77(1), 195-199. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100015>


- Prada Matiz, A. (2015). innovación en tecnologías alternativas para la potabilización del agua en pequeña escala. caso instituto clara theresia, monte redondo, guayabetal, cundinamarca, colombia. Guarracuco.
- R.D., V. V., & Cruz Casallas, P. E. (2006). Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis sp*). *ORINOQUIA*, 57-63. doi:<https://doi.org/10.22579/20112629.200>
- Ramirez Medina, L. (2011). Filtracion lenta con arena para tratamiento de agua en comunidades rurales. CIGET pinar del Rio.
- Rivas Arrieta, M. J., & Garcia Mendez, W. J. (2017). Evaluacion de la filtracion lenta de arena para la potabilizacion del agua en el corregimiento de San jose de Playon. Cartagena DT y C: Universidad de Cartagena.
- Rodriguez Miranda, J. P., Gomez, E., Garavito, L., & Lopez, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnologias y ciencias del agua*, 1(1).
- Rodríguez, L. C., & Brito Suárez, F. G. (2009). Efecto de la reutilizacion del agua en la crianza y produccion de tilapia roja. Cuenca-Ecuador: Universidad de Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/584>
- Saavedra Martinez , M. A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Managua, Nicaragua. Secretaria de agricultura, ganaderia, pesca y alimentos de la Nacion Argentina. (2006). Sistema de recirculacion en acuicultura. Buenos Aires: Ministerio de agricultura Argentina .
- Timmons, M., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., & Vinci, B. J. (2002). Recirculating aquaculture systems. *Cayuga Aqua Ventures*.
- Tsukuda, S., Christianson, L., Kolb, A., Saito, K., & Summerfelt, S. (2015). Heterotrophic denitrification of aquaculture effluent using fluidized sand biofilters. *Aquacultural Engineering*, 64, 49-59. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.10.010>
- Tucker, C. (September de 2005). Pond Aeration. Southern Regional Aquaculture Center(3700). Obtenido de <http://www.aces.edu/dept/fisheries/aquaculture/SRAC3700>
- Valderrama, L. T. (1996). Uso de dos especies de macrofitas acuaticas, *Limnobium Laevigatum* y *Eichornia Crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales. *Universitas Scientiarum*, 3(1-2), 83-97.
- Valdiviezo Sanchez, P. S. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento para la potabilizacion del agua en la parroquia San Andres del Canton Guano, Provincia de Chimborazo. Riobamba: Escuela de ingenieria de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/3220>
- Vargas, W. G. (2002). Guia ilustrada de las plantas de las montañas del Quindio y lo Andes centrales. Manizales: Universidad de Caldas. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/321006132/Guia-Ilustrada-Plantas-Del-Quindio>
- Yildiz, H., Köksal , G., Borazan, G., & Benli, D. (2006). Nitrite-induced methemoglobinemia in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Appiled Ichthyology*, 22(5), 427-426. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00761.x>

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J. , Xie, H., Christophe, G., & Fang, Y. (Junio de 2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource Technology*, 210, 81-87. doi:doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079

ANEXOS

ANEXO A. Resultados de laboratorio del tanque de los peces


SISLAB-17025 SI-TECNOLOGIA LTDA..
Página 1

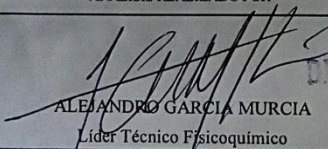
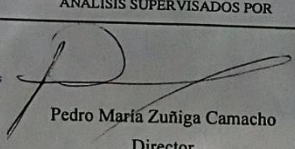


DIAGNOSTICAMOS



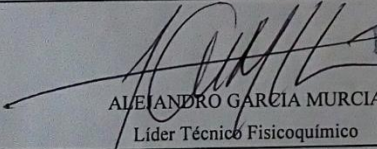
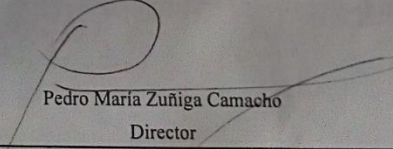
DIVISION AMBIENTAL

800.179.073-9
Carrera 11 No 7 - 45 teléfonos (578) 8723922-8714977-8717909 Ext. 303
Celular 3204124326 - Neiva - Huila




REPORTE DE RESULTADOS N°	8874	FECHA DE EMISIÓN	2017-SEP-01					
DATOS DEL CLIENTE								
NOMBRE	RICARDO VALENZUELA VARGAS	DIRECCIÓN	NO REPORTA					
CONTACTO	RICARDO VALENZUELA VARGAS	TELÉFONO	NO REPORTA					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	AGUA SUPERFICIAL					
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	8874					
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE TOMA	2017-AGO-18					
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE RECEPCIÓN	2017-AGO-18					
FUENTE DE MUESTREO	TANQUE DE PECES	FECHA DE ANÁLISIS	2017-08-18 / 2017-09-01					
LUGAR DE MUESTREO	TECNOPARQUE NEIVA	PUNTO DE MUESTREO	N°1					
OTROS ¿Cuáles?	NO REPORTA							
REPORTE DE RESULTADOS								
CONV.	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
a.	ALCALINIDAD TOTAL	SM 2320 B	mg CaCO3/L	20.43	0.0127	2017-08-28	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C	mg O2 /L	< 10	2.76	2017-08-24	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	SM 5220 D	mg O2 /L	48.3	2.74	2017-08-31	NO APLICA	NO APLICA
a.	NITRITOS	SM 4500-NO2- B	mg NO2-/L	0.711	0.008	2017-08-24	NO APLICA	NO APLICA
a.	PH	SM 4500-H+ B	Unidades de pH	5.75	0.20	2017-09-01	NO APLICA	NO APLICA
a.	TURBIEDAD	SM 2130B	NTU	4.42	0.016	2017-08-31	NO APLICA	NO APLICA
ANÁLISIS REALIZADO POR	ANÁLISIS SUPERVISADOS POR							
 ALEJANDRO GARCIA MURCIA Líder Técnico Físicoquímico	 Pedro María Zuñiga Camacho Director							

ANEXO B. Resultados de laboratorio del filtro de arena

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> DIVISION AMBIENTAL 800.179.073-9 Carrera 11 No 7 - 45 teléfonos (578) 8723922-8714977-8717909 Ext. 303 Celular 3204124326 - Neiva - Huila </div>  </div>								
REPORTE DE RESULTADOS N°		8875		FECHA DE EMISION		2017-SEP-01		
DATOS DEL CLIENTE								
NOMBRE		RICARDO VALENZUELA VARGAS		DIRECCIÓN		NO REPORTA		
CONTACTO		RICARDO VALENZUELA VARGAS		TELÉFONO		NO REPORTA		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
MATRIZ DE LA MUESTRA		AGUA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		AGUA SUPERFICIAL		
MUESTRA TOMADA POR		CLIENTE		RADICADO INTERNO		8875		
PLAN DE MUESTREO		NO APLICA		FECHA DE TOMA		2017-AGO-18		
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		NO APLICA		FECHA DE RECEPCIÓN		2017-AGO-18		
FUENTE DE MUESTREO		FILTRO DE ARENA		FECHA DE ANÁLISIS		2017-08-18 / 2017-09-01		
LUGAR DE MUESTREO		TECNOPARQUE NEIVA		PUNTO DE MUESTREO		N°2		
OTROS ¿Cuáles?		NO REPORTA						
REPORTE DE RESULTADOS								
CONV.	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANALISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
a.	ALCALINIDAD TOTAL	SM 2320 B	mg CaCO3/L	26.88	0.0127	2017-08-28	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C	mg O2 /L	< 10	2.76	2017-08-24	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	SM 5220 D	mg O2 /L	45	2.74	2017-08-31	NO APLICA	NO APLICA
a.	NITRITOS	SM 4500-NO2- B	mg NO2-/L	0.466	0.008	2017-08-24	NO APLICA	NO APLICA
a.	PH	SM 4500-H+ B	Unidades de pH	5.88	0.20	2017-09-01	NO APLICA	NO APLICA
a.	TURBIEDAD	SM 2130B	NTU	1.92	0.016	2017-08-31	NO APLICA	NO APLICA
OBSERVACIÓN:								
Nota 1: Cuando se incluya la incertidumbre en un informe, el resultado se reporta como: "Resultado ± Uc mg/L; la incertidumbre expandida se calculó con un factor de cobertura de 2, que equivale a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %". Nota 2: a- Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 2682 del 28 de octubre de 2013, 2354 de octubre de 2015, 2746 de diciembre de 2015 y 0834 de mayo 2016 para aguas crudas y residuales. Parámetros solicitados por el cliente								
ANÁLISIS REALIZADO POR					ANÁLISIS SUPERVISADOS POR			
 ALEJANDRO GARCIA MURCIA Líder Técnico Físicoquímico					 Pedro Maria Zuñiga Camacho Director			
Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados. ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02								

ANEXO C. Resultados de laboratorio del filtro con plantas

SLAB-17025 SI-TECNOLOGIA LTDA.. Página 1 de



DIAGNOSTICAMOS
DIVISION AMBIENTAL
800.179.073-9
Carrera 11 No 7 - 45 teléfonos (578) 8723922-8714977-8717909 Ext. 303
Celular 3204124326 - Neiva - Huila



IDEAM
INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES
Laboratorio Acreditado
NTC ISO/IEC 17025
Resolución IDEAM
2746 de 2015

REPORTE DE RESULTADOS N°		8876	FECHA DE EMISIÓN		2017-SEP-01			
DATOS DEL CLIENTE								
NOMBRE	RICARDO VALENZUELA VARGAS		DIRECCIÓN	NO REPORTA				
CONTACTO	RICARDO VALENZUELA VARGAS		TELÉFONO	NO REPORTA				
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	AGUA SUPERFICIAL				
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE		RADICADO INTERNO	8876				
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA		FECHA DE TOMA	2017-AGO-18				
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA		FECHA DE RECEPCIÓN	2017-AGO-18				
FUENTE DE MUESTREO	FILTROS DE PLANTAS		FECHA DE ANÁLISIS	2017-08-18 / 2017-09-01				
LUGAR DE MUESTREO	TECNOPARQUE NEIVA		PUNTO DE MUESTREO	N°3				
OTROS ¿Cuáles?	NO REPORTA							
REPORTE DE RESULTADOS								
CONV.	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
a.	ALCALINIDAD TOTAL	SM 2320 B	mg CaCO ₃ /L	22.58	0.0127	2017-08-28	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C	mg O ₂ /L	< 10	2.76	2017-08-24	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	SM 5220 D	mg O ₂ /L	< 10	2.74	2017-08-31	NO APLICA	NO APLICA
a.	NITRITOS	SM 4500-NO ₂ - B	mg NO ₂ -/L	0.528	0.008	2017-08-24	NO APLICA	NO APLICA
a.	PH	SM 4500-H+ B	Unidades de pH	6.15	0.20	2017-09-01	NO APLICA	NO APLICA
a.	TURBIEDAD	SM 2130B	NTU	1.26	0.016	2017-08-31	NO APLICA	NO APLICA
ANÁLISIS REALIZADO POR  ALEJANDRO GARCIA MURCIA Líder Técnico Físicoquímico	ANÁLISIS SUPERVISADOS POR  Pedro María Zuñiga Camacho Director							

ANEXO D. Análisis de varianza de un factor (ANOVA) para el pH y amonio

RESUMEN DEL pH

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
PH Plantas	83	514,6	6,2	0,05073171
PH peces	89	541,8	6,08764045	0,24723187

ANALISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,54220016	1	0,54220016			
Dentro de los grupos	25,9164045	170	0,15244944	3,55659006	0,06101501	3,89674196
Total	26,4586047	171				

RESUMEN DEL AMONIO

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Amonios peces	89	5,44	0,0611236	0,00121691
Amonios plantas	83	2,08	0,02506024	0,00012774

ANALISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,05585627	1	0,05585627			
Dentro de los grupos	0,11756234	170	0,00069154	80,7704677	4,7489E-16	3,89674196
Total	0,1734186	171				