



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERA EN MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:
FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA REDUCCIÓN DE AMONIACO
EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA DE USO
ACUÍCOLA.**

**AUTORAS:
ÁLVAREZ SÁNCHEZ MARIELA ALEJANDRA
ZAMBRANO CENTENO YULEIXI KARINA**

**TUTOR:
Q.F PATRICIO JAVIER NOLES AGUILAR, MsC.**

CALCETA, NOVIEMBRE 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

MARIELA ALEJANDRA ÁLVAREZ SÁNCHEZ y **YULEIXI KARINA ZAMBRANO CENTENO**, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la **Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López**, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

**MARIELA ALEJANDRA ÁLVAREZ
SÁNCHEZ**

**YULEIXI KARINA ZAMBRANO
CENTENO**

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Q.F. PATRICIO NOLES AGUILAR, MsC, certifica haber tutelado el trabajo de titulación **FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA REDUCCIÓN DE AMONÍACO EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA DE USO ACUÍCOLA**, que ha sido desarrollada por **MARIELA ALEJANDRA ÁLVAREZ SÁNCHEZ Y YULEIXI KARINA ZAMBRANO CENTENO**, previo a la obtención del título de Ingeniero (a) en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Q.F. PATRICIO NOLES AGUILAR, MsC.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA REDUCCIÓN DE AMONIACO EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA DE USO ACUÍCOLA**, que ha sido propuesto, desarrollado por **MARIELA ALEJANDRA ÁLVAREZ SÁNCHEZ Y YULEIXI KARINA ZAMBRANO CENTENO**, previa la obtención del título de Ingeniero(a) Medio Ambiental de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Verónica Vera Villamil, MsC.

MIEMBRO

Ing. Jonathan Chicaiza Intriago, MsC.

MIEMBRO

Blga. Fernanda Pincay Cantos., MsC.

PRESIDENTA

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual se forjaron nuestros conocimientos profesionales día a día;

A Dios, por regalarnos la oportunidad de poder contar con nuestros padres y hermanos, quienes nos sirvieron de apoyo, fortaleza y motivación en esta etapa de vida,

A nuestro tutor por habernos guiado con el tema, y

Al ingeniero Joffre Andrade quien a través de sus conocimientos en el tema realizado se convirtió en un pilar fundamental en el desarrollo de esta investigación.

LAS AUTORAS

DEDICATORIA

A mis padres y a mis hermanos por el amor, la paciencia y su incondicional apoyo en cada decisión; por acompañarme, a pesar de la distancia, en cada momento de dificultad; y por sus palabras de aliento para darme fuerzas para seguir luchando para cumplir todas mis metas y sueños.

A mis compañeros por brindarme durante estos cinco años sus conocimientos, amistad y generosidad.

A mi compañera de tesis por ser una gran persona, compañera y amiga; por las experiencias vividas juntas de alegrías, tristezas, corajes, angustias y demás, y

A la universidad y a los profesores por brindarnos las condiciones necesarias para que este proyecto se llevara a cabo fomentando este tipo de investigaciones.

MARIELA ALEJANDRA ÁLVAREZ SÁNCHEZ

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por creer firmemente en mí y en mis capacidades, por el apoyo moral y económico, sirviendo de motivación en cada momento y siendo testigos de la dedicación y constancia puesta en esta etapa de mi vida.

A mis compañeros de clases por la amistad brindada en este tiempo haciéndome sentir como si los hubiera conocido toda una vida, y

De manera muy especial, a mi compañera de tesis por su confianza y por la oportunidad de compartir este logro.

YULEIXI KARINA ZAMBRANO CENTENO

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL	viii
CONTENIDODECUADROSY FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. USO DE FILTROS BIOLÓGICOS EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN EN PISCINAS ACUÍCOLAS	5
2.1.1. FACTORES QUE AFECTAN AL FUNCIONAMIENTO DE UN BIOFILTRO	6
2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO DE FILTROS PERCOLADORES	7
2.3. MEDIOS FILTRANTES PARA BIOFILTROS	8
2.3.1. CARBÓN ACTIVADO	8
2.3.2. ZEOLITA	9
2.3.3. ARENA DE SÍLICE	9
2.4. SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA EN ACUICULTURA	9
2.5. CÁLCULO DE TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA	11
2.6. CÁLCULO CARGA SUPERFICIAL	11
2.7. AMONÍACO EN EL AGUA	12
2.8. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DE USO ACUÍCOLA	13
2.8.1. OXÍGENO DISUELTO	14
2.8.2. TEMPERATURA Y pH	15
2.9. BACTERIAS NITRIFICANTES	16

2.9.1. PROBIÓTICOS EN LA ACUACULTURA	16
2.10. CULTIVOS DE TILAPIA ROJA	17
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	18
3.1. UBICACIÓN.....	18
3.2. DURACIÓN.....	18
3.3. MÉTODOS.....	18
3.4. FACTORES EN ESTUDIO.....	18
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	19
3.7. VARIABLES A MEDIR	19
3.7.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	19
3.7.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	19
3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO	20
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. ELABORAR UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CON FILTRACIÓN BIOLÓGICA A PARTIR DE DIFENTES MEDIOS FILTRANTES CON VARIACIÓN DE VOLÚMENES.....	25
4.2. DETERMINAR LA REDUCCIÓN DE AMONIACO EN AGUAS TRATADAS MEDIANTE FILTROS BILÓGICOS.....	27
4.3. CONSTATAR ESTADÍSTICAMENTE EL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE PARA LA REDUCCIÓN DE AMONIACO.	34
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
5.1. CONCLUSIONES.....	41
5.2. RECOMENDACIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS.....	48

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 2.1. Parámetros de calidad de agua de uso acuícola.....	14
Cuadro 2.2. Condiciones de temperatura (°C) para especies acuáticas	14
Cuadro 2.3. Condiciones de temperatura (°C) para especies acuáticas	14
Cuadro 3.1. Factores y tratamientos	19
Cuadro 3.2. Diseño experimental	19
Cuadro 3.3. Dimensiones para cada medio filtrante	21
Cuadro 3.4. Análisis de varianza	24
Cuadro 4.1. Dimensiones de medios filtrantes	25
Cuadro 4.2. Aleatorización	26
Cuadro 4.3. Parámetros analizados previos al tratamiento.....	28
Cuadro 4.4. Reducción de amoníaco Semana 1 Día 1	29
Cuadro 4.5. Reducción de amoníaco Semana 1 Día 2	30
Cuadro 4.6. Reducción de amoníaco Semana 2 Día 3	30
Cuadro 4.7. Reducción de amoníaco Semana 2 Día 4	31
Cuadro 4.8. Reducción de amoníaco Semana 3 Día 5	32
Cuadro 4.9. Reducción de amoníaco Semana 3 Día 6	32
Cuadro 4.10. Reducción de amoníaco Semana 4 Día 7	33
Cuadro 4.11. Reducción de amoníaco Semana 4 Día 8	34
Cuadro 4.12. Prueba de homogeneidad de varianzas Concentración final de amoníaco	35
Cuadro 4.13. Análisis estadístico Semana 1 Día 1.....	36
Cuadro 4.14. Análisis estadístico Semana 1 Día 2.....	36
Cuadro 4.15. Análisis estadístico Semana 2 Día 1.....	37
Cuadro 4.16. Análisis estadístico Semana 2 Día 2.....	37
Cuadro 4.17. Análisis estadístico Semana 3 Día 1.....	38
Cuadro 4.18. Análisis estadístico Semana 3 Día 2.....	38
Cuadro 4.19. Análisis estadístico Semana 4 Día 1.....	39
Cuadro 4.20. Análisis estadístico Semana 4 Día 1.....	39
Cuadro 4.21. Idoneidad de material.....	40

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de diferentes medios filtrantes y variación de volúmenes con la reducción de amoníaco mediante uso de sistemas de recirculación de agua con filtración biológica para uso acuícola. Se planteó un diseño experimental bifactorial completamente al azar, factor A: medios filtrantes que varió entre el carbón activado y la zeolita, y el factor B: diferentes alturas (0,2 m, 0,25 m y 0,30 m) que se manejaron en el factor anterior. Los tratamientos contaron con tres réplicas. Para el manejo de la investigación se elaboraron 18 filtros que equivalen a los seis tratamientos y repeticiones, también se colocó arena silícica, gravilla y un complejo bacteriano del orden nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*); el agua a tratar era descarga del cultivo de tilapia roja (*Oreochromis*) criada en un estanque de 0,5 m³. Se realizaron los análisis en el estanque de producción y en las salidas de los filtros mediante un espectrofotómetro, con esos datos se determinó el porcentaje de reducción de amoníaco y se aplicó un ANOVA con el 5% de probabilidad de error. Finalmente se aceptó la H_{1A} , siendo el factor A influyente en la reducción de amoníaco; se estableció que el mejor tratamiento contenía zeolita con una altura de 0,3 m; el oxígeno disuelto, pH y temperatura son primordiales para tratar estas aguas; y, los filtros son una alternativa viable en sistemas de recirculación de agua en la producción acuícola.

PALABRAS CLAVE

Bacterias nitrificantes, carbón activado, zeolita, reducción.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the influence of different filter media and volume variation with the reduction of ammonia through the use of water recirculation systems with biological filtration for aquaculture use. A completely randomized bifactorial experimental design was proposed, factor A: filter media that varied between activated carbon and zeolite, and factor B: different heights (0.2 m, 0.25 m, and 0.30 m) that were handled in the previous factor. The treatments had three replicas. For the management of the research 18 filters were elaborated equivalent to the six treatments and repetitions, silicic sand, gravel and a bacterial complex of the nitrifying order were also placed (*Nitrosomonas and Nitrobacter*); the water to be treated was the discharge of the red tilapia culture (*Oreochromis*) raised in a pond of 0.5 m³. The analysis were carried out in the production tank and in the filter outputs by means of a spectrophotometer, with this data the ammonia reduction percentage was determined and an ANOVA with a 5% error probability was applied. Finally, H1A was accepted, being the factor A influential in the reduction of ammonia; it was established that the best treatment contained zeolite with a height of 0.3 m; dissolved oxygen, pH and temperature are essential to treat these waters; and, filters are a viable alternative in water recirculation systems in aquaculture production.

KEY WORDS

Nitrifying bacteria, active carbon, zeolite, reduction.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La población en el mundo se encuentra en crecimiento continuo. Es por ello que los pronósticos de la Organización de Naciones Unidas– ONU(2017) esperan que la población mundial supere los 9 mil 800 millones de habitantes en 2050. Este crecimiento poblacional conlleva a una alta demanda de alimentos de origen acuático, por ende, la demanda de recursos para obtenerlos. Esto genera la expansión y el desarrollo de la acuicultura en casi todas las regiones del mundo (Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos de España, 2015).

Según la FAO (2015) citado por López, Ruíz, y Moncayo(2014), la acuicultura en el Ecuador es relativamente contemporánea; genera degradación ambiental, ya que estos ecosistemas se desarrollan en ambientes artificiales y afectan a los recursos hídricos por la cantidad de efluentes que contienen materia orgánica (Pardo, Suárez, y Soriano, 2006). También se generan impactos económicos y sociales con respecto al mal manejo y a las pocas investigaciones dadas.

Los cultivos acuícolas son afectados por factores físicos, químicos y biológicos, como: enfermedades, contenido de oxígeno disuelto (OD), aumento en la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), pH, temperatura, crecimiento exagerado de algas, eutrofización, químicos utilizados en la producción, alto contenido de amoníaco y otros parámetros que determinan la calidad del agua (López, 2017).

El amoníaco en concentraciones altas es muy tóxico para los peces, provocando hasta la muerte; o puede tener efectos negativos en estos como la disminución en las tasas de crecimiento, una baja conversión alimenticia y una menor resistencia a enfermedades (McDermid, 2013), lo que va a afectar a la cosecha total.

La aplicación de tecnologías como los filtros biológicos se utiliza para la óptima recirculación del agua y para la reducción de amoníaco. Estos tratamientos con filtros permiten monitorear y controlar constantes de las variables

fisicoquímicas y sanitarias del agua, la reutilización del agua y producciones de altas densidades (Merino y Sal, 2007).

Es por esta razón que se formula la siguiente interrogante: ¿Cómo influyen medios filtrantes a diferentes volúmenes en la reducción de amoníaco mediante sistemas de recirculación de agua con filtración biológica para uso acuícola?

1.2. JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación tendrá como beneficiarios al sector acuícola que en la actualidad está creciendo con gran ímpetu, enmarcando la parte social de manera que existan mayores oportunidades de producción para el sector que se dedica a dicha actividad sin causar efectos negativos al ambiente; los sistemas de recirculación son parte de la clasificación de los modelos sustentables de acuicultura los cuales se han venido desarrollando desde hace más de treinta años, principalmente en los países en desarrollo (Gallego y García, 2017).

Este proyecto se ajusta a las políticas y lineamientos estratégicos recogidos en el Plan Nacional del Desarrollo 2017-2021 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017) dentro del objetivo 3 se establece garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones; bajo esta perspectiva se pretende disminuir el grado de vulnerabilidad de la naturaleza, es por esto la necesidad de tomar decisiones responsables para asegurar el patrimonio natural y las condiciones para la recuperación de los ciclos vitales, enfocándose especialmente en el recurso agua. Y el objetivo 5 del mismo donde se pretende impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistributiva y solidaria; esto en relación con la transformación de la producción de alimentos de manera que se adopten nuevas tecnologías de producción y de esta forma se de paso a una economía solidaria donde los ciudadanos sean los principales actores.

Según la FAO (1999) citado por Pardo *et al.*, (2006) se espera que la acuicultura contribuya significativamente con la seguridad alimentaria y la disminución de la pobreza en el mundo. En 1987, desde la Reunión de la

Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU se identificó que la pesca y la acuicultura son actividades consideradas estratégicas.

La producción acuícola intensiva tiene una desventaja que se presenta debido a un sinnúmero de factores como las variaciones de temperatura, clima, nutrientes, tratamientos químicos o biológicos al agua, recambios de agua o condiciones físico – químicas, que al final repercuten en una sola variable “la concentración de amoníaco dentro de los estanques”, y esta a su vez incide en la producción.

La presente propuesta está ligada a disminuir las concentraciones de nitrógeno amoniacal mediante el uso de filtros percoladores que tendrán inoculados complejos bacterianos del orden *Nitrobacter* y *Nitrosomonas*, asimismo se utilizará como medio filtrante zeolita y carbón activado pues de acuerdo con Claude (2001) y a López (2017) estos pueden disminuir la concentración de amoníaco.

Por lo que la investigación se basa en la reducción de amoníaco mediante filtros biológicos que contribuyan a la eficiencia de los sistemas de recirculación de agua de uso acuícola.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la influencia de diferentes medios filtrantes y variación de volúmenes con la reducción de amoníaco mediante el uso de sistemas de recirculación de agua con filtración biológica para uso acuícola.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Elaborar un sistema de recirculación de agua con filtración biológica a partir de diferentes medios filtrantes con variación de volúmenes.
- Determinar la reducción de amoníaco en aguas tratadas mediante filtros biológicos.
- Constatar estadísticamente el tratamiento más eficiente para la reducción de amoníaco.

1.4. HIPÓTESIS.

Los diferentes medios filtrantes a diferentes alturas influyen en la reducción de amoníaco en aguas de origen acuícola.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. USO DE FILTROS BIOLÓGICOS EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN EN PISCINAS ACUÍCOLAS

En acuicultura, la implementación de filtros biológicos tiene la finalidad de eliminar sustancias y organismos no deseados en el agua; estos filtros son una alternativa para incrementar el rendimiento y producción de engorde de peces y para disminuir los vertidos de aguas contaminadas al medio ambiente y aguas ricas en nutrientes (Cárdenas y Cañavate, 1998). Según Kubitzka (2006) los biofiltros son fundamentales para la salud de un sistema acuícola.

Según Merino y Sal (2007) existen filtros de diferentes tipos, ya sean filtros mecánicos, filtros de gravedad, filtros químicos y filtros biológicos o denominados también biofiltros; en la clasificación de biofiltros se encuentran los biofiltros sumergidos, que consisten en la concentración de sólidos junto con la masa celular compuesta por bacterias nitrificantes y heterotróficas (Merino, Barraza, Emperanza, Varela, y Silva, 2014).

Estos biofiltros operan de manera que el agua residual fluye hacia abajo y mantiene la película bacteriana mojada, pero nunca completamente sumergida (Wheaton y Gendrop, 1993). Ya que los espacios vacíos son rellenados con aire en lugar de agua, las bacterias nunca entran en carencia de este. Los filtros percoladores han sido ampliamente utilizados en acuicultura, porque son fáciles de construir y operar, son autoaireantes, muy efectivos para desgasificar dióxido de carbono.

Según Hargreaves (1998) citado por Jiménez, Zamora, y Zúñiga (2015) mediante la filtración biológica se controla y se disminuye la acumulación de amoníaco; debido a que es un proceso oxidativo microbial que transforma los metabolitos tóxicos como amoníaco (NH_3^+) o nitrito (NO_2^-) en formas químicas menos tóxicas para los organismos de cultivo mediante la intervención de bacterias nitrificantes. Asimismo, asevera que algunas de las bacterias nitrificantes son: Nitrosomonas que convierten el amonio en nitrito y, las Nitrobacter que convierten el nitrito que se acumula en el cultivo en nitrato.

Durante este proceso se consumen cerca de 4,6 g de oxígeno por cada gramo de amoníaco oxidado a nitrito. La capacidad de reducción de amoníaco de los filtros biológicos va a depender de la superficie total disponible para el desarrollo de las bacterias nitrificantes.

Existen cinco fases diferenciadas en la vida de un filtro biológico: ausencia de nitrificación (alta concentración de amonio), activación (alta concentración de nitritos), madurez, senilidad e inactivación. La fase de madurez es la ideal para la buena marcha del sistema. Un filtro biológico se considera maduro cuando las poblaciones microbianas oxidan rápidamente todos los aportes de amonio a nitratos, sin apenas aparición de los nitritos intermedios (Puigcerver y Tort, 1996).

Los sustratos más utilizados en biofiltros para acuicultura son arena, roca molida o ripio de río, algunas formas de materia de plástico o cerámica en forma de pequeños gránulos o grandes esferas, anillos, sillas de montar o trozos de telgopor. Algunos de 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 (Jiménez y Balcázar, 2003).

2.1.1. FACTORES QUE AFECTAN AL FUNCIONAMIENTO DE UN BIOFILTRO

El medio que se debe utilizar en un biofiltro debe “ser inerte, no comprensible y no degradable biológicamente” (Merino y Sal, 2007). Para el buen funcionamiento de los biofiltros es necesario que los parámetros físicos, químicos y biológicos permanezcan totalmente controlados y monitoreados. Según el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (2012) existen factores que pueden perjudicar en el funcionamiento:

- Factores químicos: pH del medio, la alcalinidad del agua, la concentración de amoníaco y nitritos, el oxígeno existente, los sólidos suspendidos, la salinidad, la tasa de difusión de los gases.
- Factores físicos: temperatura, la profundidad de ubicación del filtro, la sección transversal de éste, el material de confección, la luz, etc.

- Factores biológicos: la cantidad en peso de las células bacterianas existentes, la formación de un lecho de bacterias para el inicio del funcionamiento del biofiltro, etc.

Según Muñoz (2012) para la óptima operación de un biofiltro se toma en cuenta:

- Las bacterias nitrificantes, que se encuentran en ambientes terrestres y acuáticos;
- El sustrato para que las bacterias se adhieran (arena, grava, plásticos, etc.);
- El oxígeno,
- Un componente hidropónico.

Los biofiltros tienen una etapa denominada “etapa de aclimatación”. Esta etapa consiste en el tiempo que necesitan los biofiltros para iniciar su funcionamiento en forma completa. Existen métodos para acelerar este proceso de aclimatación o maduración como inóculos de bacterias vivas que puede agregarse al filtro; esto acorta el tiempo natural necesario para el establecimiento de bacterias *Nitrosomonas* o *Nitrobacter* (Muñoz, 2012).

Un biofiltro especializado en la nitrificación se evalúa con base en la tasa volumétrica de conversión de nitrógeno amoniacal (TVNA), definida como el incremento diario de nitrógeno amoniacal convertido a nitritos por unidad de volumen (García, Gallego, Díaz, Fall, y Burrola, 2011).

2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO DE FILTROS PERCOLADORES

En filtros percoladores convencionales, el lecho está constituido por rocas o cantos rodados con diámetros entre 0,05 y 0,10 m. También se usa medios plásticos; estos brindan mayor superficie de contacto para el crecimiento biológico y tienen un menor peso específico, lo que permite la construcción de filtros de mayor profundidad (Valencia, 1976). En estos filtros solo la porción superior del lecho (los primeros 0,8-1,5 m) tiene un recubrimiento biológico

considerable. Como consecuencia de esto, la parte inferior del filtro puede estar poblada por organismos autótrofos nitrificadores que convierten el amoníaco a nitratos, lográndose así un buen grado de nitrificación en el sistema.

Grupp(2010) menciona que para el diseño de los filtros biológicos percoladores se deben determinar dos parámetros: carga orgánica y carga hidráulica. La carga orgánica determina la eficiencia de los filtros ya que determina la profundidad que debe tener el medio filtrante; y la carga hidráulica hace referencia a la resistencia del medio filtrante a colocar en función del área del mismo ya que define el área a utilizarse para un caudal dado.

2.3. MEDIOS FILTRANTES PARA BIOFILTROS

Existen varios materiales que pueden ser usados como medios de filtración para adsorción de compuestos durante el tratamiento de agua, entre los que se destacan la zeolita natural y el carbón activado (Vera, Rojas, Chávez, y Arriaza, 2016).

2.3.1. CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado es un producto comercial con superficie específica alta, es microporoso y tiene una alta capacidad de adsorción. Elimina una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos y metales pesados presentes en medios acuosos (Vera, Rojas, Chávez, y Arriaza, 2016).

Según Espinal (2014), citado por Avila y Moreno(2016) el carbón activado es un material natural con millones de agujeros microscópicos que atrae, captura y rompe moléculas de contaminantes presentes. Las propiedades de este medio filtrante hacen que la materia orgánica causante de olores y sabores, al igual que el cloro residual que se encuentra en el agua, sean absorbidas en las superficies del medio filtrante, eliminándolas así del líquido a tratar.

Los biofiltros que contienen carbón activado como medio filtrante, son una alternativa para el tratamiento de efluentes acuícolas, ya que ofrecen soporte a poblaciones microbianas (capaces de biodegradar o nitrificar), al tiempo que remueven contaminantes por adsorción (Aragón, Ramírez, Coronel, Lucho, y Vázquez, 2013).

2.3.2. ZEOLITA

Las zeolitas naturales son aluminio silicatos que poseen una capacidad de intercambio catiónico alta, así como propiedades de tamiz molecular y características útiles para la eliminación de sustancias del agua residual; es un absorbente natural por su alto grado de hidratación (Avila y Moreno, 2016).

Las zeolitas del tipo clinoptilolita, permiten llevar a cabo tratamiento de agua en forma mucho más eficiente y económica, gracias a sus diversas modificaciones catiónicas. En biofiltros se pueden alcanzar niveles de purificación de aguas bastante notables y logra no solo la reducción de amonio, sulfatos y fosfatos sino también la eliminación de metales pesados (Pachón y Parrado, 2017).

Según AQUANOVEL (2013) las zeolitas se utilizan en el proceso de purificación y/o aireación, como material de soporte para bacterias, como medio filtrante para la extracción de sólidos y partículas en suspensión, y la extracción de iones no deseados al mismo tiempo.

2.3.3. ARENA DE SÍLICE

La arena sílica o arena de sílice es un compuesto resultante de la combinación de la sílice con el oxígeno. Su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de oxígeno, formando una molécula muy estable: SiO_2 .

La arena sílica produce resultados satisfactorios en la filtración de agua, es por ello que se utiliza como lecho filtrante para depuración y potabilización de aguas (para la retención de los flóculos de tamaños muy pequeños que no son separados por decantación).

2.4. SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA EN ACUICULTURA

Los sistemas de recirculación de agua (SRA) de uso acuícola son una serie de procesos y componentes que se utilizan para el cultivo de organismos acuáticos (Hernández, Bückle, Murillo, Flores, y Velenzuela, 2015). Este sistema se encarga de limpiar y reutilizar continuamente el agua.

Se considera que el uso racional del agua es una ventaja, siendo el volumen de recambio menor a 10% diario del volumen total del sistema. Este tipo de sistemas permite el monitoreo y control de los parámetros fisicoquímicos tales como: la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, el potencial de hidrogeno (pH), la alcalinidad y los metabolitos como el nitrógeno amoniacal, los nitritos y los nitratos.

Estos sistemas de recirculación promueven el crecimiento de los cultivos acuáticos; se usan a nivel industrial, principalmente para la producción de semillas de peces y moluscos marinos, tilapia, bagre africano, y anguila.

Losordo *et al.*, (1992) citado por Frías(2009) menciona cinco procesos o características para que un sistema de recirculación sea eficiente y provea un ambiente óptimo:

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

Según Muñoz (2012) los elementos esenciales de un sistema de recirculación acuícola son:

- Un tanque para mantener los peces (u otros organismos acuáticos), este debe ser fácil de limpiar y accesible para el manejo.
- Un clarificador para la reducción de partículas originadas a partir de los desechos de los peces, las algas y la comida no consumida.
- Un biofiltro para convertir el amonio tóxico liberado por los peces en nitrato inofensivo. Para ello se necesitan bacterias nitrificantes, medio filtrantes (arena, grava, plásticos, etc.) y oxígeno.

- Un sumidero, donde el agua pueda ser recolectada para que sea direccionada de nuevo hacia el tanque de cultivo de peces, esto se hace mediante una bomba.

El principal problema que presentan los sistemas cerrados de recirculación de agua utilizados en la acuicultura es la eliminación constante de los metabolitos tóxicos, como el amoníaco (NH_3) y el nitrito (NO_2^-); por esta razón existe la gran necesidad de un biofiltro o algún producto que se encargue del proceso de nitrificación (Ingle de la Mora, Villareal, Arredondo, Ponce, y Barriga, 2003).

2.5. CÁLCULO DE TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

El tiempo de retención hidráulica, tiempo de residencia del agua, tasa de retención o tasa de flujo se define teóricamente según Roldán y Ramírez(2008) como:

$$R = \frac{V}{Q} \text{Ec. [2.1.]}$$

Donde:

V: es el volumen en m^3

Q: el flujo en m^3/s

El mantenimiento de la calidad y cantidad de agua de un SRA, se controla por medio del tiempo de retención hidráulico (TRH). Colt *et al.*, citado por Casanova y Mejía(2013) proponen que los TRH para este tipo de sistemas y especialmente en cultivo de peces de agua fría, varía entre 0,17 h- 0,34 h si el agua no es aireada y entre 0,48 h- 0,96 h si se utiliza oxígeno puro, estos valores son para el agua de la piscina acuícola.

2.6. CÁLCULO CARGA SUPERFICIAL

Según la Universidad de las Américas Puebla (2006) la velocidad de filtración es inversamente proporcional a la eficiencia del filtro. La velocidad en que pasa el agua por el medio filtrante se mide como tasa de filtración o carga superficial, con la siguiente expresión:

$$Cargasuperficial \left(m^3 / m^2 \times min \right) = \frac{Q (m^3 / min)}{Superficie (m^2)} \text{ Ec. [2.2.]}$$

Donde:

Q: el flujo en m³/s

Superficie: es el área en m²

La tasa de filtración se mide en m³/m²/s, mientras que la velocidad suele indicarse en m/s. El medio filtrante también influye en la eficiencia de la filtración ya que ésta es inversamente proporcional al diámetro de las partículas del filtro.

2.7. AMONIACO EN EL AGUA

Para Avnimelech y Ritvo (2003) citado por Aguilar (2014) el amonio es un compuesto químico que se produce por la excreta directa de las especies acuáticas, como el resultado del metabolismo de las proteínas; a partir de la mineralización de nitrógeno orgánico en las heces, alimentos que no son consumidos y otros tipos de materia orgánica. Por tal razón se relaciona directamente la alimentación de las especies (cantidad) con la acumulación del ion amonio (NH₄) en los estaqués de cultivos.

Mendoza (2010) menciona que el amonio no ionizado (NH₃) es la forma de amoniaco liberado hacia el medio ambiente el cual se incrementa al aumentar el pH y la temperatura (25 a 35°C). Según la concentración que presenten se vuelve nocivo para la especie en cultivo pudiendo provocar poco desarrollo y/o mortalidad. La acumulación de amoniaco es distinta de acuerdo con la especie en cultivo. Para Valbuena y Vásquez (2011) los peces pueden retener de 20% a 30% del nitrógeno (N) ingerido; la proporción restante es excretada en la forma de amonio y otros compuestos nitrogenados.

El amoniaco puede penetrarse en los tejidos de los peces por tal razón se vuelve tóxico, produciendo efectos adversos entre ellos la disminución de fecundidad, disminución de defensa frente a enfermedades, pérdida del color de las aletas y destrucción branquial; Aguilar (2014) menciona que la tolerancia que pueden presentar los peces a dichos efectos van a depender del tipo y el

tamaño del pez, escasez de oxígeno y exceso de anhídrido carbónico; con la capacidad que tiene esta última de reducir la toxicidad de amoníaco libre hasta concentraciones de 15 a 60 ppm, sin embargo si estos valores sobrepasan, la toxicidad aumenta considerablemente.

El nitrógeno amoniacal es un residuo metabólico producido por los peces, que altera los parámetros de calidad del agua con efectos negativos sobre la especie. Puede encontrarse en dos formas químicas, dependiendo de la temperatura y el pH del agua, la primera forma no ionizada se presenta como amoníaco libre (NH_3) el cual resulta muy tóxico para los peces y en forma de ion amonio (NH_4^+), sólo a altas concentraciones o por tiempo prolongado de contacto causa problemas de intoxicación. El aumento de pH y temperatura favorece la presencia del NH_3 ; Emerson (1975) citado por García (2002).

2.8. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA DE USO ACUÍCOLA

Cuando se decide si el agua está apta para un propósito particular se menciona que su calidad debe especificarse en función al uso que se le va a dar (Bautista y Ruiz, 2011). Para cultivar especies dentro de sistemas acuícolas se debe tener presente la calidad de agua utilizada; por lo que, para lograr una producción exitosa es necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua dentro de los rangos y límites que puedan ser tolerados por la especie, de manera que no afecte ni retarde el proceso del cultivo; para que exista una buena producción (ver cuadro 2.1.); se logrará una producción máxima cuando todos los factores que influyen sobre el desarrollo de la especie se acerquen a su punto óptimo (con “condiciones óptimas”) (Meyer, 2004).

Cuadro 2.1. Parámetros de calidad de agua de uso acuícola

Parámetros	Valores estándar
Oxígeno (Disuelto)	>4.0 mg/l
Temperatura	Dependiente de las especies
Ph	7.5 – 8.5
Salinidad	Agua dulce: < 0.5 ppt
Agua salobre: 0.5 – 30 ppt	< 10 ppm
Agua de mar: 30 – 40 ppt	0 – 0.5 ppm
Óptimo: 15 – 25 ppt	< 1 ppm
Dióxido de Carbono (CO ₂)	< 10 ppm
Amoníaco (NH ₄ ⁺ /NH ₄ N)	0 – 0.5 ppm
Nitritos (NO ₂)	< 1 ppm
Dureza	40 – 400 ppm
Alcalinidad	50 – 300 ppm
DBO	< 50 mg/ l

Fuente: (Mayer, 2012).

El pH y la temperatura regulan la proporción entre amoníaco y el amonio ionizado en el agua. Cuando se incrementa la unidad de pH del agua, el amoníaco aumenta por aproximadamente diez veces (Meyer, 2004). Para cada especie hay un rango de temperatura (ver cuadro 2.2 y 2.3)(Mayer, 2012); (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2017).

Cuadro 2.2. Condiciones de temperatura (°C) para especies acuáticas

Especie	Temperatura letal más baja	Temperatura preferida	Temperatura letal más alta
Trucha arcoiris	0	13- 17	24 – 27
Bagre tra	9	23- 27	33
Carpa Cruciana	0	25- 32	38
Bagre de canal	9	22- 29	37
Cobia	1	21- 27	33
Langostino tigre	14	25 -30	36
Camarón blanco	14	>20	40

Fuente: Mayer, 2012

Cuadro 2.3. Condiciones de temperatura (°C) para especies acuáticas

Especie	Temperatura letal más baja	Temperatura preferida	Temperatura letal más alta
Tilapia	3- 10	22- 32	42

Fuente: MAGAP, 2017

2.8.1. OXÍGENO DISUELTO

El nivel de saturación de oxígeno tiene un efecto importante en el crecimiento y en el índice de conversión de alimento de los peces(Mallya, 2012). En el cultivo de peces, el oxígeno disuelto se considera el factor más importante de la calidad del agua, considerando los efectos negativos sobre la ganancia de peso y conversión alimenticia, teniendo como resultado la causa más frecuente

de muerte repentina en organismos en cultivo (Tomalá, Chavarría, y Escobar, 2014).

Es de gran importancia el conocimiento de las variaciones del consumo de oxígeno con cambios de temperatura, porque se constituye una herramienta valiosa que establece la tasa de renovación de agua y densidades de cultivo máximas, esto debido a que la temperatura mantiene influencia sobre las actividades metabólicas de los organismos como la tasa de respiración, eficiencia en la alimentación y asimilación, crecimiento, comportamiento y reproducción. Boyd (1990) citado por Tomalá, Chavarría, y Escobar (2014) manifiesta que la cantidad de oxígeno que necesitan los animales acuáticos es variable y va a depender netamente de la especie, talla, alimentación, actividad y temperatura del agua.

El consumo de oxígeno muestra una relación directamente proporcional; es decir, a mayor temperatura del agua se presenta mayor consumo de oxígeno en tilapias rojas (Valbuena y Cruz, 2006). Mientras no exista una buena cantidad de oxígeno disuelto, los organismos pueden ser vulnerables a enfermedades y parásitos, o morir por falta de este elemento; se ha comprobado que cuando se detecta niveles bajos de oxígeno no aceptan el alimento, lo cual se refleja en el crecimiento. Para lograr un crecimiento normal y una baja mortalidad, los valores mínimos de oxígeno disuelto se deben mantener por encima de 3 mg/l, valores menores reducen el crecimiento e incrementan la mortandad; niveles superiores son deseables (Vásquez, Pupo, y Jiménez, 2014).

2.8.2. TEMPERATURA Y pH

Según Boyd (1979) citado por Bravo (2007) el rango adecuado de pH en el agua para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis*) está entre 6 y 9. El pH y la temperatura regulan la proporción entre amoníaco y el amonio ionizado en el agua. Meyer (2007), citado por Bravo (2007) indica que a medida que estos dos factores incrementan aumenta la proporción de amoníaco en el agua.

2.9. BACTERIAS NITRIFICANTES

Según Jiménez y Balcázar(2003) para que exista un equilibrio en la naturaleza, existen bacterias encargadas de transformar el producto de desecho de los diferentes procesos metabólicos y son las bacterias nitrificantes, las cuales utilizan el N-inorgánico como fuente de N para síntesis de proteína. Las *Nitrosomonas* usan amonio no-ionizado (que es altamente tóxico) como fuente de N y excretan nitritos (NO_2), los cuales son usados por las *Nitrobacter* como su fuente de N, transformándolos a nitratos (NO_3), que son inofensivas para los peces, salvo en concentraciones muy altas (a partir de los 50 mg/l).

Las bacterias nitrificantes son denominadas quimiolitótrofos obligados, ya que utilizan sales inorgánicas como fuente de energía. Oxidan el amoníaco y los nitritos para sus necesidades. Estas bacterias no son móviles y necesitan una superficie adecuada para crecer, en los filtros de los sistemas de recirculación se considera útil sustratos como grava y arena. Se reproducen por división binaria, y se duplicarán cada 15 a 20 horas, un tiempo muy elevado. No producen esporas, son sensibles al pH, al oxígeno disuelto, la sal, la temperatura y algunos productos químicos(Goncalves, 2013).

2.9.1. PROBIÓTICOS EN LA ACUACULTURA

Debido a los resultados positivos en el uso de probióticos, en los últimos años ha crecido el interés por estudiar, además de los parámetros de producción (factor de conversión alimenticia, crecimiento, sobrevivencia, etc.), las interacciones y efectos que podrían causar los probióticos en los microbiomas, tanto en el ambiente de cultivo como en sus diferentes hospederos (Arena y Chiappa, 2017).

La composición viene dada por microorganismos: *Bacillus subtilis*, *Cellulomonas*, *Nitrosomas*, *Nitrobacter*, *Aerobacter*; enzimas: Lipasa, Proteasa, Amilasa, Hemicelulasa, Lactasa; bacterias totales: 2×10^9 UFC/g de *Bacillus subtilis* /// 5×10^8 UFC de bacterias ácido-lácticas.

Los beneficios de estos productos son:

- Mejora y mantiene la calidad del agua.

- Elimina olores tóxicos removiendo gas sulfhídrico, amonio y nitritos a través de procesos oxidativos naturales.
- Disminuye los niveles de DBO de las aguas de descarga.
- Incrementa la tasa de supervivencia y promueve el crecimiento
- Formulación en polvo seco, fácil y práctico de manejar.

En el Ecuador la empresa “PROBAC S.A” distribuye “Aqua X Biotic” producto biológico que se usa para la limpieza del agua en estanques de producción de camarón, tilapia, entre otros; y emite ciertas recomendaciones:

- Los ácidos fuertes pueden dañar el efecto de las bacterias y enzimas y no es recomendable utilizar conjuntamente con el producto.
- Se debe activar (hidratar) la cantidad de bacteria a usar en agua natural libre de cloro durante 12-24 horas antes de aplicar.
- La dosis de estas bacterias es diferente dependiendo el destino, si es para engorde o para larvicultura. La dosis para los filtros biológicos es de 453,592 gr para 1 m³de acuerdo a las especificaciones de la empresa.

2.10. CULTIVOS DE TILAPIA ROJA

Según Luchini (2016) los parámetros que se deben tener en cuenta en estos cultivos son:

- Calidad del agua de cultivo: esta especie es reconocida por sus amplios límites de tolerancia, adaptándose a diferentes condiciones de calidad de agua, en comparación con otras especies de cultivo.
- Rango térmico: Su óptimo se encuentra comprendido entre 27 y 32°C.
- Oxígeno disuelto: si bien las tilapias toleran en general las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, existen diferencias entre las fases de cultivo y según las densidades empleadas.
- pH: la especie presenta baja sobrevivencia en aguas de bajo pH. En experiencias realizadas en aguas de pH 4,0, solamente sobrevivió un 40% de la población de cultivo en estanques. El rango aceptable para cultivo se extiende entre pH 6,5 y 8,5.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN.

El presente proyecto se llevó a cabo en la ESPAM “MFL” situado en el sitio El Limón, parroquia Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí. La ubicación geográfica de la ESPAM “MFL” son las coordenadas 00°49’23” de latitud sur y 80°11’01” de longitud oeste, con una altitud de 15msnm.

3.2. DURACIÓN.

El presente trabajo de Titulación tuvo una duración de un año, el cual corresponde a seis meses de planificación y seis meses de ejecución.

3.3. MÉTODOS

- Método hipotético deductivo: A partir de casos particulares se planteó un problema, a través de un proceso de inducción este problema remitió a una teoría.
- Experimental: este método controló las variables para delimitar relaciones entre ellas. Se recopiló datos para comparar las variables con un diseño experimental establecido. El objetivo de este método es identificar causas y evaluar efectos. Se trabaja a través de hipótesis bien precisas para descubrir relaciones causales.

3.4. FACTORES EN ESTUDIO.

Factor A: Medios filtrantes

- a1: Carbón Activado
- a2: Zeolita

Factor B: Alturas de medios filtrantes

- b1: 0,2 m
- b2: 0,25 m
- b3: 0.3 m

Cuadro 3.1. Factores y tratamientos

N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	
		Medio Filtrante	Altura (m)
1	a1b1	Carbón activado	0,2
2	a1b2	Carbón activado	0,25
3	a1b3	Carbón activado	0,3
4	a2b1	Zeolita	0,2
5	a2b2	Zeolita	0,25
6	a2b3	Zeolita	0,3

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó 2 factores en estudio con 3 niveles y 3 repeticiones.

Cuadro 3.2. Diseño experimental

Diseño experimental	Diseño completamente aleatorizado (DCA)
Número de tratamientos	6 tratamientos
Número de repeticiones	3 repeticiones
Unidades experimentales	1 unidad experimental

3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

Sistema de recirculación de agua con filtros biológicos incorporados.

3.7. VARIABLES A MEDIR

3.7.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Reducción de amoníaco

3.7.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Medios filtrantes

Diferentes volúmenes de medios filtrantes

3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

FASE I. ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CON FILTRACIÓN BIOLÓGICA A PARTIR DE DIFERENTES MEDIOS FILTRANTES CON VARIACIÓN DE VOLÚMENES.

Actividad 1. Adecuación del área

Se delimitó un área que fue facilitada por el coordinador del vivero del bosque politécnico. Se dejó libre de malezas y se fumigó para el buen manejo del sistema. En esta área fue reutilizada una estructura de madera de 1,70 m de altura, precisa para colocar el tanque de 0,5 m³ para la respectiva investigación.

Actividad 2. Construcción de filtros.

Se procedió a elaborar dieciocho filtros a base de tubos PVC de diámetro 0,1016 m; 0,5 m de altura y un volumen total de 0,0399 m³. Los filtros son abiertos en la parte superior para la caída del agua a tratar y en la parte inferior se conectaba a una tubería flexible. Para cada filtro se realizó un soporte de hierro que se enterró para dar mayor estabilidad y que no existiera ningún inconveniente con la tubería flexible de salida. Todos los filtros contenían gravilla y arena de sílice en las mismas cantidades y como medio filtrante una variable que comprendió en carbón activado o zeolita en diferentes cantidades. En el cuadro 3.3 se muestra cada tratamiento con el espacio que ocupa (en altura) en cada filtro (ver anexo 1).

Cuadro 3.3. Dimensiones para cada medio filtrante

	Medio filtrante	Altura (cm)
A1B1	Gravilla	8,5
	Arena de sílice	4
	Carbón activado	20
	Control	17,5
A1B2	Gravilla	8,5
	Arena de sílice	4
	Carbón activado	25
	Control	12,5
A1B3	Gravilla	8,5
	Arena de sílice	4
	Carbón activado	30
	Control	7,5
A2B1	Gravilla	8,5
	Arena de sílice	4
	Zeolita	20
	Control	17,5
A2B2	Gravilla	8,5
	Arena de sílice	4
	Zeolita	25
	Control	12,5
A2B3	Gravilla	8,5
	Arena de sílice	4
	Zeolita	30
	Control	7,5

Para calcular el volumen de cada medio filtrante se realizó la siguiente fórmula:

$$V = A \times h$$

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h \text{Ec. [3.1]}$$

En donde:

V= Volumen

π = número pi

d= diámetro

h= altura

A= área

Se tomó en cuenta la fórmula de Área (Ec.3.2):

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \text{ Ec. [3.2]}$$

Antes de verter el primer medio filtrante, la gravilla, se introdujo una malla para que no hubiera obstrucción por el material.

Actividad 3. Construcción de sistema acuícola.

Para el estanque de producción se utilizó un recipiente de 0,5 m³ a una altura de 1,7 m con 18 salidas que fueron adaptadas a 0.05 m de profundidad con un diámetro de 0,0127 m asegurando una velocidad igual en la entrada de los filtros tal como lo demuestra Torricelli en su ecuación (Ec. 3.3.) y se colocaron llaves de paso para el control del flujo. Una vez lista la instalación se colocaron 10 unidades de la especie tilapia roja (*Oreochromis* sp) de similares dimensiones, durante todo el experimento los peces fueron alimentados con avena y alimento balanceado, se controló indicadores como el pH para mantenerlo en un rango de 7 a 8,5; la temperatura en un rango de 22 a 32 °C y el oxígeno disuelto para el cual se procedió a instalar un blower de 0,0635 cm de diámetro.

$$v = \sqrt{2gh} \text{ Ec. [3.3]}$$

Actividad 4. Construcción del sistema de recirculación de agua.

Al final de cada filtro se instaló una tubería flexible de 0,0127 m que conducía el agua tratada hacia un tanque reservorio de 0,2 m³, se recolectó el agua de los 18 filtros para luego ser impulsados mediante una bomba de ½ HP y 0,01,7m de diámetro al sistema de producción acuícola (ver anexo 1 y 2).

Actividad 5. Activación de bacterias *Nitrobacter* y *Nitrosomonas*.

Para la activación y colocación de las bacterias *Nitrobacter* y *Nitrosomonas*se utilizaron las indicaciones dadas por PROBAC S.A, empresa que proveyó el producto Aqua X Biotics. Se realizó una regla de tres simple utilizando las indicaciones descritas en el marco teórico.

En dieciocho vasos plásticos se pesó la cantidad calculada de las bacterias para cada filtro. Y se dejaron activar con 0,1 l de agua destilada, por un día en el Laboratorio de Agua y Suelo de la “ESPAM “MFL””; para después verterlas a los filtros (ver anexo 3).

FASE II. DETERMINACIÓN DE REDUCCIÓN DE AMONIACO EN AGUAS TRATADAS MEDIANTE FILTROS BIOLÓGICOS.

Actividad 6. Metodología de la toma de muestras.

Se realizó el cálculo de carga superficial tomando en cuenta la ecuación (Ec. 3.4) asimismo se determinó el tiempo de retención hidráulica (Ec. 3.5), teniendo como datos previos el volumen y el caudal de paso (Ec. 3.6). Además, se realizó análisis de amoniaco por medio del Clorímetro Checker amoniaco Rango Medio (HI715) (ver anexo 4), previo a su tratamiento y luego del paso a través de los filtros. Estos análisis se los realizó dos días a la semana por un mes. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de reducción de la variable respuesta (Ec. 3.7).

$$Cargasuperficial \left(m^3 / m^2 \times min \right) = \frac{Q (m^3/min)}{Superficie (m^2)} \text{ Ec. [3.4]}$$

$$TRH = \frac{V}{Q} \text{ Ec. [3.5]}$$

$$Q = \frac{V}{t} \text{ Ec. [3.6]}$$

$$\% \text{ deredución} = \frac{Amoniacoinicial - Amoniacofinal}{Amoniacoinicial} \times 100 \text{ Ec. [3.7]}$$

Actividad 7. Tabulación de datos.

En el programa Excel se tabuló todos los datos obtenidos, antes descritos en un cuaderno de campo.

FASE III. CONSTATAción ESTADÍSTICA DEL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE PARA LA REDUCCIÓN DE AMONIACO.

Actividad 9. Análisis estadístico de los datos.

Los datos obtenidos de carga superficial, tiempo de retención y eficiencia de reducción del amoniaco, fueron tabulados y mediante la utilización del software estadístico IBM SPSS STATICS V.21 se estableció las diferencias entre factores, tratamientos y niveles en estudio con la aplicación de un diseño bifactorial.

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables identificadas fueron sometidas al respectivo análisis de varianza en donde se estableció el número de tratamientos y error experimental:

Cuadro 3.4. Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	17
Factor A	1
Factor B	2
AxB	2
Error experimental	12

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ELABORAR UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA CON FILTRACIÓN BIOLÓGICA A PARTIR DE DIFERENTES MEDIOS FILTRANTES CON VARIACIÓN DE VOLÚMENES.

Para establecer la composición de los medios filtrantes, aplicando la fórmula (Ec. 3.1), se obtuvieron los valores descritos en el cuadro 4.1 con el respectivo porcentaje de espacio ocupado en cada filtro. Previo al cálculo de volumen, se determinó el área de este utilizando la fórmula (Ec.3.2) descrita a continuación:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \text{Ec. [3.2]} \qquad A = \frac{\pi * (0,1016 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = \frac{0,0324 \text{ m}}{4} \qquad A = 8,11 \times 10^{-3}$$

Cuadro 4.1. Dimensiones de medios filtrantes

	Medio filtrante	Altura (cm)	Volumen (lt)	Porcentajes
A1B1	Gravilla	8,5	6,8	17%
	Arena de sílice	4	3,2	8%
	Carbón activado	20	16	40%
	Control	17,5	14	35%
A1B2	Gravilla	8,5	6,8	17%
	Arena de sílice	4	3,2	8%
	Carbón activado	25	19,9	50%
	Control	12,5	10	25%
A1B3	Gravilla	8,5	6,8	17%
	Arena de sílice	4	3,2	8%
	Carbón activado	30	23,9	60%
	Control	7,5	6	15%
A2B1	Gravilla	8,5	6,8	17%
	Arena de sílice	4	3,2	8%
	Zeolita	20	16	40%
	Control	17,5	14	35%
A2B2	Gravilla	8,5	6,8	17%
	Arena de sílice	4	3,2	8%
	Zeolita	25	19,9	50%
	Control	12,5	10	25%
A2B3	Gravilla	8,5	6,8	17%
	Arena de sílice	4	3,2	8%
	Zeolita	30	23,9	60%
	Control	7,5	6	15%

El volumen de cada medio filtrante se pasó a unidades en mililitros para poder hacer uso de una probeta en la cual se midió y se procedió a verter los medios filtrantes. Antes de verter los medios filtrantes se realizó una aleatorización para establecer las variables y niveles a estudiar en cada filtro. En el cuadro 4.2 se muestra el número del filtro con cada tratamiento y la debida nomenclatura.

Cuadro 4.2. Aleatorización

Nº FILTRO	TRATAMIENTO
1	T1R1 (0,2)
2	T4R1 (0,2)
3	T3R1 (0,3)
4	T3R2 (0,3)
5	T2R1 (0,25)
6	T4R2 (0,2)
7	T1R2 (0,2)
8	T6R1 (0,3)
9	T5R1 (0,25)
10	T5R2 (0,25)
11	T2R2 (0,25)
12	T1R3 (0,2)
13	T4R3 (0,2)
14	T6R2 (0,3)
15	T5R3 (0,25)
16	T2R3 (0,25)
17	T3R3 (0,3)
18	T6R3 (0,3)

La ecuación de Torricelli (Ec.3.3.) se aplicó para determinar la velocidad de salida de agua del tanque de 0,5 m³a los tratamientos a través de los tubos PVC bajo la acción de la gravedad. La velocidad de salida dio como resultado:

$$v = \sqrt{2gh} \text{ Ec. [3.3]} \quad v = \sqrt{2 * 9,81 \text{m/s}^2 * 1,75 \text{m}}$$

$$v = \sqrt{34.335 \text{m}^2/\text{s}^2} \quad v = 5,859 \text{ m/s}$$

Cada tratamiento fue alimentado desde tuberías de 0,0127 m de diámetro que tenían una llave de paso, con esto se controló el caudal, estableciendo una velocidad de entrada aproximada de 5,859 m/s para cada uno de los filtros.

La inoculación de bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* se efectuó mediante las indicaciones cuantitativas recomendadas por el proveedor del producto "PROBAC S.A". Se realizó la siguiente regla de tres simple:

$$453,592 \text{ gr} \rightarrow 1 \text{ m}^3 \quad X \rightarrow 0,0040536598 \text{ m}^3$$

$$x = \frac{453,593 \text{ gr} \times 0,0040536598 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \quad X = 1,84 \text{ gr}$$

Para cada filtro biológico se vertió 1,84 gr de bacterias activadas durante dos días dos veces por semana.

4.2. DETERMINAR LA REDUCCIÓN DE AMONIACO EN AGUAS TRATADAS MEDIANTE FILTROS BIOLÓGICOS.

Para la determinación de reducción de amoniaco se realizó el cálculo de la carga superficial dando un resultado de $0,12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ (Ec. 3.4), del caudal de paso que obtuvo $1,66 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (Ec.3.6), área de la tubería $2,84 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ (Ec. 3.2), el tiempo de retención hidráulica que tuvo un resultado de $243,99 \text{ s}^{-1}$ (Ec. 3.5), como se muestran a continuación:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \text{ Ec. [3.2]} \quad A = \frac{\pi(0,0019)^2}{4}$$

$$A = 2,84 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$Q = v \times A \text{ Ec. [3.6]} \quad Q = v \times \frac{\pi d^2}{4}$$

$$Q = 5,859 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{\pi(0,0019)^2}{4} \quad Q = 1,66 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$TRH = \frac{V}{Q} \text{ Ec. [3.5]} \quad TRH = \frac{0,04 \text{ m}^3}{1,66 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$TRH = 243,99 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Cargasuperficial} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \times \text{min} \right) = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{min)}}{\text{Superficie (m}^2)} \text{ Ec. [3.4]}$$

$$\text{Cargasuperficial} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \times \text{min} \right) = \frac{(9,97 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min})}{(0,081 \text{ m}^2)}$$

$$C_s = 0,12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ min}$$

Antes de la realización de los análisis se determinaron los parámetros de pH, temperatura y oxígeno disuelto en el tanque donde se encontraban las tilapias rojas (*Oreochromis*). En el cuadro 4.3 se muestran los valores obtenidos.

Cuadro 4.3. Parámetros analizados previos al tratamiento

Fecha	Temperatura	pH	Oxígeno disuelto
Semana 1 día 1	24,4°	7,82	4,1
Semana 1 día 2	25,3°	7,64	4,3
Semana 2 día 3	26,6°	7,82	4,6
Semana 2 día 4	25,7°	7,86	4,8
Semana 3 día 5	26,5°	7,74	4,9
Semana 3 día 6	26,4°	7,79	5,3
Semana 4 día 7	24,3°	7,51	5,4
Semana 4 día 8	26,8°	7,95	5,6

En las cuatro semanas el pH se mantuvo entre 7,51 a 7,95; valores óptimos según Boyd (1979) citado por Bravo (2007) en concordancia con Luchini (2016), ya que se considera que el rango adecuado de pH para el cultivo de tilapia está entre 6 y 9. Con respecto a la temperatura el MAGAP (2017) determina que en cultivos de tilapia debe mantenerse de 22 a 32 °C, temperaturas que fueron determinadas durante la investigación (ver anexo 5).

El oxígeno disuelto según Meyer (2016) debe de encontrarse por encima de 4mg/l en cultivos de tilapias. En la investigación el oxígeno disuelto tuvo óptimos valores de 4 a 5,9 mg/l, cabe recalcar que a menor amoniaco en el tanque el oxígeno disuelto aumentó.

Los análisis de presencia de amoniaco en agua se realizaron con Clorímetro Checker amoniaco Rango Medio (HI715), el cual es un espectrofotómetro que permite medir el compuesto mencionado en un rango de 0-10 ppm ideal para el objetivo propuesto (ver anexo 6); los datos obtenidos se procesaron en tablas de Excel obteniendo así los porcentajes de reducción de amoniaco en cada uno de los tratamientos junto a sus repeticiones, tomando en cuenta la fórmula:

$$\% \text{ Reducción de amoníaco} = \frac{\text{Amoníaco inicial} - \text{Amoníaco final}}{\text{Amoníaco inicial}} \times 100 \text{ Ec. [3.7]}$$

Los cuadros del 4.4 al 4.11 muestran los valores obtenidos en los respectivos análisis de amoníaco inicial y amoníaco final, esto quiere decir los análisis realizados al agua antes y después del paso por cada uno de los filtros contruidos para el respectivo estudio, aclarando que las unidades en las que se exponen esos resultados son en mg/L o ppm, asimismo se describe el porcentaje de reducción en cada uno de los tratamientos.

Se observa en el cuadro 4.4 el tratamiento T6R2 es el que obtuvo una mayor reducción de amoníaco con un 84,9% haciéndolo bastante atractivo para este fin, no obstante, el tratamiento T2R3 muestra una alta eficiencia en la reducción del compuesto (83,7%), asimismo, hay que considerar los tratamientos T4R3, T5R2 y T6R1 que tienen una de reducción porcentual de 82,8 – 82 y 82,3 respectivamente. Mientras que el tratamiento T5R3 fue el que menos redujo el compuesto analizado (56,06%).

Cuadro 4.4. Reducción de amoníaco Semana1 Día 1

SEMANA 1 DÍA 1			
TRATAMIENTOS	AMONIACO INICIAL (ppm)	AMONIACO FINAL (ppm)	% REDUCCIÓN
T1R1 (0,2)	10	3,88	61,2
T1R2 (0,2)		3,61	63,9
T1R3 (0,2)		3,71	62,9
T2R1 (0,25)		4,28	57,2
T2R2 (0,25)		3,24	67,6
T2R3 (0,25)		1,63	83,7
T3R1 (0,3)		4,12	58,8
T3R2 (0,3)		4,12	58,8
T3R3 (0,3)		3,26	67,4
T4R1 (0,2)		2,09	79,1
T4R2 (0,2)		2,19	78,1
T4R3 (0,2)		1,72	82,8
T5R1 (0,25)		2,83	71,7
T5R2 (0,25)		1,8	82
T5R3 (0,25)		1,63	56,06
T6R1 (0,3)		1,77	82,3
T6R2 (0,3)		1,51	84,9
T6R3 (0,3)		2,79	72,1

Para el segundo análisis se observa en el cuadro 4.5 que los tratamientos T6R3, T6R1 y T5R1 son los que muestran mayor eficiencia en la reducción de amoníaco 84,2 – 83,89 y 80,25% respectivamente; mientras que el tratamiento T2R1 fue el que menor reducción del compuesto manifiesta con un 55,13%.

Cuadro 4.5. Reducción de amoniaco Semana1 Día 2

SEMANA 1 DÍA 2			
TRATAMIENTOS	AMONIACO INICIAL (ppm)	AMONIACO FINAL (ppm)	% REDUCCIÓN
T1R1 (0,2)	6,33	1,39	78,04
T1R2 (0,2)		1,7	73,14
T1R3 (0,2)		2,51	60,35
T2R1 (0,25)		2,84	55,13
T2R2 (0,25)		2,51	60,35
T2R3 (0,25)		2,6	58,93
T3R1 (0,3)		1,9	69,98
T3R2 (0,3)		2,3	63,67
T3R3 (0,3)		2,2	65,24
T4R1 (0,2)		2	68,4
T4R2 (0,2)		1,7	73,14
T4R3 (0,2)		1,4	77,88
T5R1 (0,25)		1,25	80,25
T5R2 (0,25)		1,37	78,36
T5R3 (0,25)		1,3	79,46
T6R1 (0,3)		1,02	83,89
T6R2 (0,3)		1,38	78,2
T6R3 (0,3)		1	84,2

El cuadro 4.6 se muestra que los tratamientos con mayor reducción del compuesto analizado son T6R1, T6R3, T4R2 y T5R2 con 83,65 – 81,35 – 82,5 y 80% respectivamente; mientras que el tratamiento T2R1 con 46,54% es el que menos porcentaje de reducción de amoniaco muestra.

Cuadro 4.6. Reducción de amoniaco Semana2 Día 3

SEMANA 2 DÍA 1			
TRATAMIENTOS	AMONIACO INICIAL (ppm)	AMONIACO FINAL (ppm)	% REDUCCIÓN
T1R1 (0,2)	5,2	1,08	79,23
T1R2 (0,2)		1,32	74,62
T1R3 (0,2)		2,13	59,04
T2R1 (0,25)		2,78	46,54
T2R2 (0,25)		2,34	55
T2R3 (0,25)		2,48	52,31
T3R1 (0,3)		1,71	67,12
T3R2 (0,3)		1,38	73,46
T3R3 (0,3)		1,73	66,73
T4R1 (0,2)		1,58	69,62
T4R2 (0,2)		0,91	82,5
T4R3 (0,2)		1,34	74,23
T5R1 (0,25)		1,49	71,35
T5R2 (0,25)		1,04	80
T5R3 (0,25)		1,06	79,62
T6R1 (0,3)		0,85	83,65
T6R2 (0,3)		1,34	74,23
T6R3 (0,3)		0,97	81,35

En el cuadro 4.7 se muestra que los porcentajes de reducción de amoniaco bajan considerablemente, el tratamiento que mayor eficiencia muestra es T5R2 con 79,79% no llegando a superar ni siquiera el 80% como es los análisis

anteriores; mientras que el tratamiento T3R1 con 46,32 es el que menos reducción logra.

Cuadro 4.7. Reducción de amoníaco Semana 2 Día 4

SEMANA 2 DÍA 2			
TRATAMIENTOS	AMONIACO INICIAL (PPM)	AMONIACO FINAL (ppm)	% REDUCCIÓN
T1R1 (0,2)	4,75	2,53	46,74
T1R2 (0,2)		2,28	52
T1R3 (0,2)		2,06	56,63
T2R1 (0,25)		2,19	53,89
T2R2 (0,25)		1,75	63,16
T2R3 (0,25)		1,55	67,37
T3R1 (0,3)		2,55	46,32
T3R2 (0,3)		1,81	61,89
T3R3 (0,3)		1,26	73,47
T4R1 (0,2)		1,55	67,37
T4R2 (0,2)		1,37	71,16
T4R3 (0,2)		1,36	71,37
T5R1 (0,25)		1,39	70,74
T5R2 (0,25)		0,96	79,79
T5R3 (0,25)		1,01	78,74
T6R1 (0,3)		1,64	65,47
T6R2 (0,3)		2,1	55,79
T6R3 (0,3)		2,2	53,68

En la tercera semana día 5 cuadro 4.8, el tratamiento con mayor porcentaje de reducción fue el T4R3 con 80,13%, y el que menos redujo fue T2R1 con 41,01%. Se puede observar como hasta ahora los tratamientos que contienen zeolita son los que mayor eficiencia muestran en comparación con los que tienen carbón activado como medio de absorción, sin embargo, los tratamientos no son constantes en las repeticiones. También se observa que el amoníaco inicial se fue reduciendo a medida que el tiempo fue transcurriendo, esto debido a que el agua se recirculaba y que el sistema de aireación trabajó de forma eficiente, haciendo que el medio en donde se desarrollaron los peces estuviera apto para su sobrevivencia.

Cuadro 4.8. Reducción de amoniaco Semana3 Día 5

SEMANA 3 DÍA 1			
TRATAMIENTOS	AMONIACO INICIAL (ppm)	AMONIACO FINAL (ppm)	% REDUCCIÓN
T1R1 (0,2)	4,73	2,42	48,84
T1R2 (0,2)		2,36	50,11
T1R3 (0,2)		2,28	51,8
T2R1 (0,25)		2,79	41,01
T2R2 (0,25)		2,36	50,11
T2R3 (0,25)		1,23	74
T3R1 (0,3)		1,39	70,61
T3R2 (0,3)		1,68	64,48
T3R3 (0,3)		1,5	68,29
T4R1 (0,2)		1,1	76,74
T4R2 (0,2)		0,97	79,49
T4R3 (0,2)		0,94	80,13
T5R1 (0,25)		1,14	75,9
T5R2 (0,25)		1,28	72,94
T5R3 (0,25)		1,47	68,92
T6R1 (0,3)		1,2	74,63
T6R2 (0,3)		1,9	59,83
T6R3 (0,3)		1,16	75,48

Tal como se muestra en el cuadro 4.9 con un 76,48% el tratamiento T4R1 fue el que mejor se comportó frente a la reducción de amoniaco, y el tratamiento T3R2 fue el que menor eficiencia tuvo con un 34,47%, cabe recalcar que nuevamente no se superó el 80% con respecto a la reducción de amoniaco.

Cuadro 4.9. Reducción de amoniaco Semana3 Día 6

SEMANA 3 DÍA 2			
TRATAMIENTOS	AMONIACO INICIAL (ppm)	AMONIACO FINAL (ppm)	% REDUCCIÓN
T1R1 (0,2)	4,38	2,23	49,09
T1R2 (0,2)		2,07	52,74
T1R3 (0,2)		2,13	51,37
T2R1 (0,25)		2,83	35,39
T2R2 (0,25)		2,51	42,69
T2R3 (0,25)		2,59	40,87
T3R1 (0,3)		2,38	45,66
T3R2 (0,3)		2,87	34,47
T3R3 (0,3)		1,3	70,32
T4R1 (0,2)		1,03	76,48
T4R2 (0,2)		1,47	66,44
T4R3 (0,2)		1,21	72,37
T5R1 (0,25)		2,16	50,68
T5R2 (0,25)		1,7	61,19
T5R3 (0,25)		1,46	66,67
T6R1 (0,3)		1,55	64,61
T6R2 (0,3)		1,2	72,6
T6R3 (0,3)		1,3	70,32

Para la cuarta semana en el séptimo análisis realizado se puede observar en el cuadro 4.10, que el tratamiento con mayor porcentaje de reducción recae en el T3R2 con el 80,49%; y el que menos redujo fue el T1R2 con el 34,15%.

Cuadro 4.10. Reducción de amoníaco Semana4 Día 7

SEMANA 4 DÍA 1			
TRATAMIENTOS	AMONIACO INICIAL (ppm)	AMONIACO FINAL (ppm)	% REDUCCIÓN
T1R1 (0,2)	4,1	2,23	45,61
T1R2 (0,2)		2,7	34,15
T1R3 (0,2)		1,72	58,05
T2R1 (0,25)		2,27	44,63
T2R2 (0,25)		1,73	57,8
T2R3 (0,25)		1,76	57,07
T3R1 (0,3)		1,66	59,51
T3R2 (0,3)		0,8	80,49
T3R3 (0,3)		1,7	58,54
T4R1 (0,2)		2,03	50,49
T4R2 (0,2)		1,62	60,49
T4R3 (0,2)		2,27	44,63
T5R1 (0,25)		1,55	62,2
T5R2 (0,25)		1,76	57,07
T5R3 (0,25)		1,02	75,12
T6R1 (0,3)		1,34	67,32
T6R2 (0,3)		1,08	73,66
T6R3 (0,3)		1,04	74,63

En el cuadro 4.11 se muestra la cuarta semana y el octavo y último análisis realizado, el tratamiento con mayor porcentaje de reducción fue el T6R2 con un porcentaje de 97,77% siendo el mayor porcentaje de reducción de amoníaco durante todo el estudio. El porcentaje con menos reducción fue de 1,59% en el T2R2 lo que supone es un resultado que se tendrá que discriminar al momento de analizar estadísticamente los datos, además se recalca el hecho que con 3,14 ppm de amoníaco inicial éste se fue reduciendo a medida que transcurría el tiempo del experimento.

Cuadro 4.11. Reducción de amoniaco Semana 4 Día 8

SEMANA 4 DÍA 2			
TRATAMIENTOS	AMONIACO INICIAL (ppm)	AMONIACO FINAL (ppm)	% REDUCCIÓN
T1R1 (0,2)	3,14	0,77	75,48
T1R2 (0,2)		1,08	65,61
T1R3 (0,2)		2,06	34,39
T2R1 (0,25)		1,55	50,64
T2R2 (0,25)		3,09	1,59
T2R3 (0,25)		2,25	28,34
T3R1 (0,3)		0,3	90,45
T3R2 (0,3)		0,15	95,22
T3R3 (0,3)		1,52	51,59
T4R1 (0,2)		1,93	38,54
T4R2 (0,2)		2,62	16,56
T4R3 (0,2)		2,1	33,12
T5R1 (0,25)		0,31	90,13
T5R2 (0,25)		0,92	70,7
T5R3 (0,25)		1,34	57,32
T61 (0,3)		1,58	49,68
T62 (0,3)		0,07	97,77
T63 (0,3)		0,58	81,53

4.3. CONSTATAR ESTADÍSTICAMENTE EL TRATAMIENTO MÁS EFICIENTE PARA LA REDUCCIÓN DE AMONIACO.

A continuación, se describen las hipótesis a confirmar en el análisis de varianza:

- H_{0A} = El medio filtrante no influye en la reducción de amoniaco.
- H_{1A} = El medio filtrante si influye en la reducción de amoniaco.
- H_{0B} = La altura del medio filtrante no influye en la reducción de amoniaco.
- H_{1B} = La altura del medio filtrante si influye en la reducción de amoniaco.
- H_{0A*B} = La interacción entre el medio filtrante y su altura no influye en la reducción de amoniaco.
- H_{1A*B} = La interacción entre el medio filtrante y su altura si influye en la reducción de amoniaco.

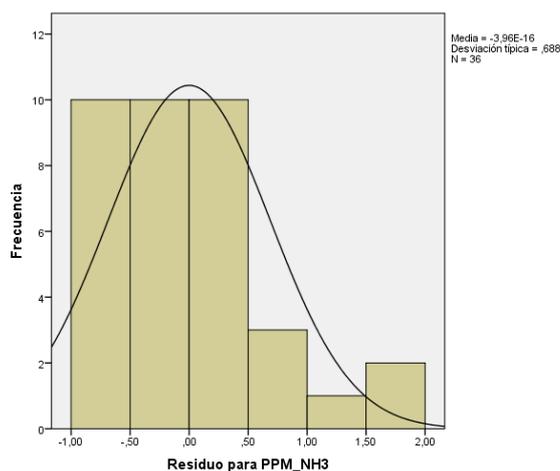
Antes de mostrar los datos de varianza, se procedió a realizar las respectivas pruebas para determinar la distribución normal de los datos y prueba de

homogeneidad de varianza, todos estos análisis se los realizó mediante el software IBM SPSS STATICS V.21.

❖ Pruebas de normalidad de la variable Amoniaco final

En la siguiente grafica se muestra que la variable amoniaco cumple con la normalidad, tienen media cero y desviación 0.688= 1, asimismo presenta una asimetría derecha.

Gráfico 1. Prueba gráfica de normalidad de la variable amoniaco final.



En el cuadro 4.12, se muestra que la variable amoniaco final tienen homogeneidad, por tal motivo indica que se puede aplicar prueba paramétrica, Análisis De Varianza paramétrico (ANOVA) a dicha variable.

Cuadro 4.12. Prueba de homogeneidad de varianzas Concentración final de amoniaco

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,525	5	30	,756

En el cuadro 4.13 se muestra que el factor medio filtrante tiene efectos significativos (0,022) sobre la variable dependiente en las muestras analizadas, mientras que el factor altura del material filtrante (0,749) y la interacción de los factores (0,667) no son significativas en dicha experimentación. Para este caso se rechaza H_{0A} y se aceptan H_{0B} y H_{0A*B} .

Cuadro 4.13. Análisis estadístico Semana 1 Día 1

Pruebas de los efectos primer semana-1					
Variable dependiente: Reducción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	739,841 ^a	5	147,968	1,667	,217
Intersección	89684,595	1	89684,595	1010,401	,000
Medio	612,967	1	612,967	6,906	,022
Altura	52,602	2	26,301	,296	,749
Medio * Altura	74,273	2	37,136	,418	,667
Error	1065,137	12	88,761		
Total	91489,574	18			
Total corregida	1804,978	17			

a. R cuadrado = ,410 (R cuadrado-corregida = ,164)

En el cuadro 4.14, como se aprecia los resultados de la investigación muestran que no hubo diferencias significativas en ninguno de los factores estudiados. Con estos resultados se aceptan todas las hipótesis nulas planteadas.

Cuadro 4.14. Análisis estadístico Semana 1 Día 2

Pruebas de los efectos primer semana-2					
Variable dependiente: Reducción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	126,445 ^a	5	25,289	,234	,940
Intersección	92250,874	1	92250,874	854,184	,000
Medio	3,892	1	3,892	,036	,853
Altura	9,519	2	4,760	,044	,957
Medio * Altura	113,034	2	56,517	,523	,605
Error	1295,986	12	107,999		
Total	93673,305	18			
Total corregida	1422,431	17			

a. R cuadrado = ,089 (R cuadrado-corregida = -,291)

Como se explica en el cuadro 4.15, tanto el medio filtrante (0,561); la altura del medio filtrante (0,808); y la interacción entre los dos factores (0,873), no muestran ninguna diferencia significativa por tener valores encima del mínimo aceptado (0,05). Para este caso se rechaza H_{0A} y se aceptan H_{0B} y H_{0A*B} , esto quiere decir que el medio filtrante si incide sobre la reducción de amoniaco.

Cuadro 4.15. Análisis estadístico Semana 2 Día 1

Pruebas de los efectos segunda semana-1					
Variable dependiente: Reducción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	166,661 ^a	5	33,332	,213	,950
Intersección	89690,242	1	89690,242	574,105	,000
Medio	55,968	1	55,968	,358	,561
Altura	67,724	2	33,862	,217	,808
Medio * Altura	42,969	2	21,485	,138	,873
Error	1874,714	12	156,226		
Total	91731,618	18			
Total corregida	2041,375	17			

a. R cuadrado = ,082 (R cuadrado-correcta = -,301)

Al igual que en los anteriores resultados, en el cuadro 4.16 se evidencia que ninguno de los factores, ni su interacción tienen un nivel de significación por debajo del 0,05 por lo que se establece que no hay diferencias significativas. Con estos resultados se aceptan todas las hipótesis nulas planteadas.

Cuadro 4.16. Análisis estadístico Semana 2 Día 2

Pruebas de los efectos segunda semana-2					
Variable dependiente: Reducción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	356,078 ^a	5	71,216	,589	,709
Intersección	71641,219	1	71641,219	592,409	,000
Medio	,480	1	,480	,004	,951
Altura	221,387	2	110,693	,915	,427
Medio * Altura	134,211	2	67,105	,555	,588
Error	1451,184	12	120,932		
Total	73448,481	18			
Total corregida	1807,262	17			

a. R cuadrado = ,197 (R cuadrado-correcta = -,138)

Para la tercera semana de estudio se muestran resultados en el cuadro 4.17 en donde nuevamente se evidencia la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos propuestos. Para este caso se rechaza H_{0A} y se aceptan H_{0B} y H_{0A*B} .

Cuadro 4.17. Análisis estadístico Semana 3 Día

Pruebas de los efectos tercer semana-1					
Variable dependiente: Reducción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	432,673 ^a	5	86,535	,486	,781
Intersección	77790,142	1	77790,142	436,491	,000
Medio	86,812	1	86,812	,487	,499
Altura	155,874	2	77,937	,437	,656
Medio * Altura	189,986	2	94,993	,533	,600
Error	2138,602	12	178,217		
Total	80361,417	18			
Total corregida	2571,275	17			

a. R cuadrado = ,168 (R cuadrado-correcta = -,178)

Asimismo, en el cuadro 4.18 en donde los factores: medio filtrante (0,359); altura del medio filtrante (0,589); e, interacción medio*altura (0,711) tienen niveles de significación muy por encima del mínimo (0,05), se establece la ausencia de diferencias estadísticas en los tratamientos propuestos para el experimento. Para este caso se rechaza H_{0A} y se aceptan H_{0B} y H_{0A*B} .

Cuadro 4.18. Análisis estadístico Semana 3 Día 2

Pruebas de los efectos tercer semana-2					
Variable dependiente: Reducción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	589,393 ^a	5	117,879	,543	,740
Intersección	58249,671	1	58249,671	268,548	,000
Medio	197,210	1	197,210	,909	,359
Altura	239,721	2	119,860	,553	,589
Medio * Altura	152,462	2	76,231	,351	,711
Error	2602,876	12	216,906		
Total	61441,939	18			
Total corregida	3192,268	17			

a. R cuadrado = ,185 (R cuadrado-correcta = -,155)

Ya en la cuarta semana de estudio, y siguiendo la misma línea de resultados, el cuadro 4.19 muestra la ausencia de diferencias estadísticas significativas en los tratamientos propuestos. Para este caso se rechaza H_{0A} y se aceptan H_{0B} y H_{0A*B} .

Cuadro 4.19. Análisis estadístico Semana 4 Día 1

Pruebas de los efectos cuarta semana-1					
Variable dependiente: Reducción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	257,989 ^a	5	51,598	,270	,921
Intersección	62594,296	1	62594,296	326,997	,000
Medio	2,222E-005	1	2,222E-005	,000	1,000
Altura	146,320	2	73,160	,382	,690
Medio * Altura	111,669	2	55,835	,292	,752
Error	2297,057	12	191,421		
Total	65149,342	18			
Total corregida	2555,046	17			

a. R cuadrado = ,101 (R cuadrado-correctada = -,274)

En el cuadro 4.20 y al igual que la primera muestra analizada, se establece que el factor medio filtrante (0,056) muestra una diferencia estadística importante, mientras que el factor altura del medio, así como su interacción, no muestran diferencias significativas. Para este caso se rechaza H_{0A} y se aceptan H_{0B} y H_{0A*B} .

Cuadro 4.20. Análisis estadístico Semana 4 Día 2

Pruebas de los efectos cuarta semana-2					
Variable dependiente: Reducción					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5505,514 ^a	5	1101,103	1,629	,226
Intersección	58785,633	1	58785,633	86,968	,000
Medio	3019,163	1	3019,163	4,467	,056
Altura	988,579	2	494,290	,731	,502
Medio * Altura	1497,772	2	748,886	1,108	,362
Error	8111,305	12	675,942		
Total	72402,452	18			
Total corregida	13616,819	17			

a. R cuadrado = ,404 (R cuadrado-correctada = ,156)

El cuadro 4.21, reporta que el material más idóneo para reducir amoniaco en las muestras estudiadas ha sido la Zeolita con una media de 76,42%.

Cuadro 4.21. Idoneidad de material

Reducción			
Medio	Media	N	Desv. típ.
Carbón activado	64,7511	9	8,03085
Zeolita	76,4222	9	9,19277
Total	70,5867	18	10,30414

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La implementación de filtros biológicos en sistemas de recirculación de agua en acuicultura es una alternativa para la disminución del consumo de agua y las descargas residuales directas a cuerpos de agua sin previo tratamiento y que en la mayoría de los casos exceden los límites permisibles.
- El medio filtrante zeolita se comportó de manera más eficiente frente a la reducción de amoníaco en comparación con el carbón activado.
- La determinación de amoníaco se realizó dos días por semana durante cuatro semanas, en las cuales se verificó la reducción del compuesto en todos los filtros evaluados.
- Los parámetros de pH, temperatura y Oxígeno Disuelto se mantuvieron dentro de los rangos requeridos, de manera que contribuyó a las condiciones necesarias para el óptimo desarrollo de las especies y el control de amoníaco.
- Se puede notar una clara reducción en las concentraciones iniciales de amoníaco con el paso de los días, que se deben específicamente a la presencia de bacterias desnitrificantes usadas en los filtros.
- El factor medio filtrante influye en la reducción de amoníaco, mientras que la altura de este y la interacción entre los factores no.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de filtros biológicos en sistemas de recirculación de agua para el aprovechamiento de los recursos naturales en los lugares donde existan actividades de crianza de especies acuáticas (acuicultura).
- Seguir experimentando con filtros más grandes, capaces de contener volúmenes de sustratos superiores a los de la investigación planteada.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, V. (2014). *EFFECTO DE LA SALINIDAD EN LA TASA DE REDUCCIÓN DE AMONIO APLICANDO ZEOLITAS COMERCIALES*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. Recuperado el 14 de enero de 2018, de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1999/7/CD675_TESI S.pdf
- AQUANOVEL. (2013). *El empleo de zeolita en el proceso de filtrado*. Obtenido de <http://aquanovel.com/el-empleo-de-zeolita-en-el-proceso-de-filtrado/>
- Aragón, R., Ramírez, J., Coronel, C., Lucho, C., y Vázquez, G. (2013). *Uso de Carbón Activado Granular (CAG) en un biofiltro para el tratamiento de efluentes acuícolas*. Recuperado el Junio de 2018, de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6239/2013_memoria_simci_roberto.pdf
- Arena, M., y Chiappa, X. (2017). *Microbiología Ambiental en México*. Yucatán.
- Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos de España. (2015). *Acuicultura en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, Acuicultura. Madrid: Gobierno de España. Recuperado el 19 de octubre de 2017, de http://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/27_butlletins/02_butlletins_nd/documents_nd/fitxers_estatics_nd/2015/0165_2015_Pesca_Aquicultura_Informe-acuicultura-2015.pdf
- Avila, I., y Moreno, M. (2016). *DISEÑO, PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE UN FILTRO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE USO DOMÉSTICO EN TANQUES DE RESERVA EN LA POBLACIÓN DEL CASCO URBANO DE LA INSPECCIÓN DE SAN ANTONIO DE ANAPOIMA*. Recuperado el Junio de 2018, de <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYECTO%20SEMINARIO%20FILTRO%20ARENA%20ULTIMA%20%20ENTREGA%20JUNIO%202011.pdf?sequence=1>
- Avnimelech, Y., y Ritvo, G. (2003). Shrimp and Fish Pond Soils: Processes and Management. *Aquaculture*, 220, 549-567. Recuperado el 14 de enero de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848602006415?via%3Dihub>
- Badii, M. J., Castillo, M., Rodríguez, Villalpando, P., y Wong, A. (2007). Diseños experimentales e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(2), 283 – 330.
- Bautista, J., y Ruiz, J. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *Fuente*(8), 7-13. Recuperado el 14 de enero de 2018, de <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>

- Bravo, N. (2007). *Efecto agudo del Amoníaco en tilapia roja (Oreochromis sp.)*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/776/1/T2369.pdf>
- Cárdenas, S., y Cañavate, J. (1998). RECIRCULACION DE AGUA A TRAVES DE FILTROS BIOLÓGICOS EN CULTIVOS DE PECES MARINOS. (I. J. García, Ed.) *AquaTIC*(2), 39-50. Recuperado el 24 de octubre de 2017, de <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/23/15>
- Casanova, D., y Mejía, E. (2013). *Evaluación de dos tiempos de retención hidráulica, en un sistema de recirculación vs aireación convencional y su efecto en las variables productivas y bienestar de ejemplares de trucha arcoíris (oncorhynchus mykiss)*. Pasto: Universidad de Nariño.
- Claude, B. (2001). *PRÁCTICAS DE MANEJO PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL DEL CULTIVO DE CAMARÓN*. Alabama: Department of Fisheries and Allied Aquacultures.
- Gallego, I., y García, D. (2017). Reducción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(1), 81-93. Recuperado el 19 de octubre de 2017, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n1/2007-2422-tca-8-01-00081.pdf>
- García, D., Gallego, I., Díaz, C., Fall, C., y Burrola, C. (2011). Evaluación de un sistema de recirculación y acondicionamiento de agua en truiticultura. *Tecnología y Ciencia del agua*, 83-96.
- García, M. (2002). *Universidad Autónoma del Estado de México*. Recuperado el Junio de 2018, de http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/043/33043333.pdf
- Goncalves, A. (2013). *Sustentar*. Recuperado el 15 de Julio de 2018, de <https://sustentartv.com/bacterias-nitrificantes-enterate-por-que-son-importantes/>
- Grupp, A. (2010). *Diseño de un modelo de planta para tratamiento de aguas residuales domésticas con tanques Fibratank*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- Hargreaves, J. (1998). Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 181-212. Recuperado el 8 de enero de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848698002981>
- Hernández, M., Bückle, L., Murillo, L., Flores, N., y Velenzuela, F. (2015). Sistema hidráulico impulsado por aire a presión para el mantenimiento de Octopus Bimaculoides y O. Bimaculatus. *EntreCiencias*, 289-295.
- Ingle de la Mora, G., Villareal, E., Arredondo, J., Ponce, J., y Barriga, 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. *Hidrobiológica*, 247-253.

- INNOVAQUA. (2011). *INNOVAQUA*. Obtenido de https://www.innovaqua.com/productos/filtracion_biologica.html
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2012). *RESULTADOS PRELIMINARES SOBRE EL USO DE LODOS DE PISCICULTURAS SOBRE SUELOS AGROPECUARIOS DE ORIGEN VOLCÁNICO DE LA PATAGONIA OCCIDENTAL (AYSÉN)*. (C. H. K, Ed.) Coyhaique, Chile: InnovaChile. Recuperado el 22 de enero de 2018, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40075.pdf>
- Jímenez, A. (2012). *Sistemas de recirculación en acuicultura*. Obtenido de Una visión y retos diversos para Latinoamérica: http://www.industriaacuicola.com/PDFs/Sistemas_de_recirculacion.pdf
- Jiménez, M., y Balcázar, J. (2003). Uso de filtros biológicos en larvicultura del *Litopenaeus vannamei*: Principios generales. *AquaTIC*(18), 11-14. Recuperado el 19 de enero de 2018, de <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/209>
- Jiménez, R., Zamora, J., y Zúñiga, G. (2015). Determinación del flujo de agua para la biorremediación en sistemas recirculados acuaculturales utilizando tapetes microbianos construidos. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(1), 234-247. doi:10.3856
- Kubitza, F. (2006). *SISTEMAS DE RECIRCULACION CERRADA*. Ministerio de Agrindustrias, Acuicultura. Buenos Aires: Ministerio de Agrindustrias. Recuperado el 14 de enero de 2018, de https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos//000004_Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20cerrada.pdf
- López, I. (2017). *PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CATALIZADORES BASADOS EN Ag-ZEOLITAS PARA LA REACCIÓN DE OXIDACIÓN CATALÍTICA DE AMONÍACO*. Valencia, España.
- López, J., Ruíz, W., y Moncayo, E. (2014). DESARROLLO DE LA MARICULTURA EN EL ECUADOR: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS. *Ciencias del Mar y Limnología*, 2-16.
- Luchini, L. (2016). Tilapia: su cultivo y sistema de producción. *Revista AquaTic*, 46-61.
- Mallya, Y. (2012). Los efectos del oxígeno disuelto en el crecimiento de los peces en la acuicultura. *Aquafeed*.
- Mayer, E. (2012). *International AquaFeed*. Recuperado el 19 de enero de 2018, de AquaFeed. Revista Internacional: <http://www.aquafeed.co/monitoreo-de-la-calidad-de-agua-del-estanque-para-mejorar-la-produccion-de-camarones-y-peces/>
- McDermand, L. (2013). *Aquafeed*. Recuperado el 19 de octubre de 2017, de <http://www.aquafeed.co/la-comprension-del-amoniaco-en-los-estanques-acuicolas/>

- Mendoza, O. (2010). *Utilización de bacterias nitrificantes como biorremediadoras del agua de cultivo de Litopenaeus vannamei en Tumbes, Perú*. La Rabida, España: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCIA. Recuperado el 14 de enero de 2018, de http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/549/0100_Mendoza.pdf?sequence=1
- Merino, E., Barraza, J., Emperanza, E., Varela, M., y Silva, A. (2014). SISTEMAS DE RECIRCULACION EN ACUICULTURA EN CHILE. *Bioeconomía Argentina 2015* (págs. 15-28). Puerto Madryn: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.
- Merino, O., y Sal, F. (2007). *Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua*. CENADAC. Santa Ana: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Recuperado el 6 de enero de 2018, de http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf
- Meyer, D. (2004). *Introducción a la Acuicultura*. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. Recuperado el 19 de enero de 2018, de https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2490/1/208986_0363%20-%20Copy.pdf
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2017). *Cultivo de Tilapia para Acuicultura Rural-Artesanal en el Litoral Ecuatoriano*. Guayaquil: Subsecretaría de Acuicultura. Recuperado el 19 de enero de 2018, de <http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/anny/Cultivo%20de%20Tilapia%20-%20Subsecretar%C3%ADa%20de%20Acuicultura.pdf>
- Muñoz, M. (2012). Sistemas de Recirculación Acuícola. *Informador Técnico*, 123-129.
- Organización de Naciones Unidas. (2017). *www.un.org*. Obtenido de <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- Pachón, A., y Parrado, D. (2017). *EVALUACIÓN DE UN PROCESO BIOLÓGICO Y DE ZEOLITA COMO ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA CON FINES DE RECIRCULACIÓN EN EL PROCESO DE CRÍA DE TILAPIA ROJA EN LA FINCA PISCÍCOLA BONANZA EN SAN MARTÍN, META*. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/22421/41122088_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pardo, S., Suárez, H., y Soriano, E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba*, 11(Su1), 20-29. Recuperado el 24 de octubre de 2017, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69309903>

- PROBAC S.A. (2018). *Aqua X Biotics*. Obtenido de <http://www.probacsa.com/Aqua%20X%20Biotics.htm>
- Puigcerver, M., y Tort, L. (1996). Evaluación de dos medios bacterianos aceleradores del proceso de nitrificación en filtros biológicos de cultivos marinos. *Orsis*, 7-14.
- Roldán, G., y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Segunda ed.). Rionegro, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia. Recuperado el 22 de enero de 2018, de https://books.google.com.ec/books?id=FA5Jr7pXF1UC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida*. Quito, Pichincha, Ecuador: SENPLADES. Recuperado el 19 de octubre de 2017, de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Tomalá, D., Chavarría, J., y Escobar, B. (2014). Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno de *Colossoma macropomum* en relación al peso corporal y la temperatura del agua. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 971-979.
- Universidad de las Américas Puebla. (2006). *UDLAP*. Recuperado el 18 de Julio de 2018, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo_4.html
- Valbuena, R., y Cruz, P. (2006). Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis* sp). *ORINOQUIA*, 57-63.
- Valbuena, R., y Vásquez, W. (2011). El peso corporal esta inversamente relacionado con la excreción de amonio en tilapia roja (*Oreochromis* sp). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24(2), 191-200. Recuperado el 19 de enero de 2018, de <https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/rccp/article/view/324659/20781969>
- Valencia, G. (1976). Filtros biológicos. *Curso Intensivo sobre Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para Países en Desarrollo* (págs. 58-62). Lima: CEPIS. Recuperado el 19 de enero de 2018, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-09.pdf>
- Vásquez, R., Pupo, A., y Jiménez, H. (2014). Sistema energéticamente eficiente y de bajo costo para controlar la temperatura y aumentar el oxígeno en estanques de cultivo de alevines de tilapia roja. *Facultad de Ingeniería*, 9-23.
- Vera, I., Rojas, M., Chávez, W., y Arriaza, B. (2016). EVALUACIÓN DE MATERIALES FILTRANTES PARA EL REÚSO EL REHÚSO EN

AGRICULTURA DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS
PROVENIENTES DE ZONAS ÁRIDAS. *CIENCIA E INGENIERÍA
NEOGRANADINA*, 5-19.

Wheaton, F. W., y Gendrop, F. B. (1993). *Acuicultura: Diseño y construcción de sistemas*. México: AGT edit.

ANEXOS

ANEXO 1

Elaboración de filtros y Sistema de Recirculación de Agua



ANEXO 2

SRA en funcionamiento



ANEXO 4

ClorímetroChecker amoníaco Rango Medio (HI715)



ANEXO 5

Medición de parámetros del agua



ANEXO 6

Análisis de las muestras

