



UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA

**“Eficiencia de sustratos artificiales en un sistema de recirculación
de agua en el crecimiento de *Oreochromis spp.*”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

BIÓLOGO MARINO

LUIS ESTEBAN MARÍN MINGA

TUTOR

BLGA. JODIE JESSICA DARQUEA ARTEAGA M.Sc

LA LIBERTAD – ECUADOR

2019

UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA

**“Eficiencia de sustratos artificiales en un sistema de recirculación
de agua en el crecimiento de *Oreochromis spp.*”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

BIÓLOGO MARINO

LUIS ESTEBAN MARÍN MINGA

TUTOR

BLGA. JODIE JESSICA DARQUEA ARTEAGA M.Sc

LA LIBERTAD – ECUADOR

2019

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por hechos, ideas y resultados expuestos en este trabajo de Titulación, me corresponden exclusivamente, y, el patrimonio intelectual de la misma, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena



Luis Esteban Marín Minga

CI: 110435855-9

DEDICATORIA

A Dios por permitirme cristalizar mi anhelo.

A mis padres quienes con su ejemplo me enseñaron el valor de la formación académica, como herramienta fundamental para buscar mejores días.

A mi esposa Karina y mi hijo Bruno, por ser el pilar fundamental de todo mi éxito profesional y laboral.

AGRADECIMIENTO

A las autoridades y personal Académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena por liderar el proceso de formación profesional.

En particular a Blga. Jodie Jessica Darquea Arteaga tutor de tesis porque con sus ideas científicas profesionales oriento nuestro trabajo.

En especial al Blgo. Richard Duque Marín, Blga. Mayra Cuenca Zambrano, y Blga. Tanya González Banchón; por brindarme su apoyo incondicional, para alcanzar esta meta en mi vida profesional.

A los Blgo. Daniel Gonzaga y Alfredo Orrala, por sus aportes técnicos durante la fase experimental.

A mi esposa Blga. Karina Reyes Delgado, por su colaboración en la realización de los análisis microbiológicos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Blga. Mayra Cuenca Zambrano, Mgt.

DECANA (E)



Blga. Tanya González Banchón, Mgt.

DIRECTORA (E)



Blga. Jodie Darquea Arteaga MSc.

DOCENTE TUTOR



Ac. Sonnya Mendoza L. Ph.D.

DOCENTE DE ÁREA



Ab. Víctor Coronel Ortiz MSc

SECRETARIO GENERAL-PROCURADOR (E)

ÍNDICE GENERAL

1.	RESUMEN	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
3.	JUSTIFICACIÓN	6
4.	OBJETIVO PRINCIPAL	8
5.	OBJETIVO ESPECÍFICO	8
6.	HIPÓTESIS	9
7.	MARCO TEÓRICO	10
7.1	ACUICULTURA EN EL MUNDO	10
7.2	CULTIVO DE TILAPIA EN EL ECUADOR	11
7.3	GENERALIDADES DE TILAPIA ROJA	12
7.4	SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN	14
7.5	FILTRACIÓN BIOLÓGICA	15
7.6	PARÁMETROS A CONSIDERAR	18
7.6.1	pH	19
7.6.2	OXÍGENO DISUELTO	19
7.6.3	COMPUESTOS NITROGENADOS	20
7.6.4	ALCALINIDAD Y DUREZA	21
8.	MARCO METODOLÓGICOS	22
8.1	ÁREA DE ESTUDIO	22
8.2	DISEÑO EXPERIMENTAL	22

8.2.1	CONTROL DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS	24
8.2.2	ADHESIÓN DE LA BIOPELÍCULA EN SUSTRATOS	24
8.2.3	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	25
8.2.4	CONTROL DE CRECIMIENTO DE PECES	26
8.2.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26
9.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	28
9.1	MADURACIÓN DE LOS BIOFILTROS	28
9.2	REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS	29
9.3	GRADO DE ADHERENCIA Y CARGA BACTERIANA	34
9.4	CRECIMIENTO DE <i>OREOCHROMIS</i> SPP	37
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
11.	BIBLIOGRAFÍA	44
12.	ANEXOS	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Comportamiento del Nitrógeno Amoniacal total, durante la experimentación	27
Gráfico 2	Índice de crecimiento específico (ICE) para los 1A, 1B, 2A y 2B durante la experimentación	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Indicadores para el cultivo de Tilapia	12
Tabla 2	Descripción de los sustratos y superficies de contacto evaluados	21
Tabla 3	Valores de calidad de agua (mg/l) obtenidos en los tratamientos de experimentación	30
Tabla 4	Biomasa promedio y desviación estándar de los tratamientos a la cosecha	34
Tabla 5	Registros de control de peso húmedo corporal (g), tratamiento 1 ^a	51
Tabla 6	Registros de control de peso húmedo corporal (g), tratamiento 1B	52
Tabla 7	Registros de control de peso húmedo corporal (g), tratamiento 2A	54
Tabla 8	Registros de control de peso húmedo corporal (g), tratamiento 2B.	56
Tabla 9	Registro de control de parámetros físico –químicos, tratamiento 1A	58
Tabla 10	Registro de control de parámetros físico –químicos, tratamiento 1B	60
Tabla 11	Registro de control de parámetros físico –químicos, tratamiento 2A	63

Tabla 12	Registro de control de parámetros físico –químicos, tratamiento 2B	67
Tabla 13	Análisis de laboratorio (primero y segundo muestreo) para los tratamientos 1A, 1B, 2A y 2B	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de implementación de tratamientos	22
Figura 2	Índice de correlación de Pearson, carga bacteriana vs peso de la biopelícula para los tratamientos.	33
Figura 3	Tinción diferencial mediante tinción de Gram. Lente 60X	35
Figura 4	Diagrama de cajas tratamientos 1A, 1B, 2A y 2B.	37

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Ensamblaje de filtros	79
Fotografía 2	Biofiltro de piedra de rio	79
Fotografía 3	Biofiltro de piedra pómez	79
Fotografía 4	Set experimental	80
Fotografía 5	Toma de parámetros diarios	80
Fotografía 6	Control de Amonio, Nitrito y Nitrato	80
Fotografía 7	Muestras para análisis microbiológico	81
Fotografía 8	Muestras de agua para análisis químico	81
Fotografía 9	Peso de sustratos (biopelícula)	81
Fotografía 10	Control de peso (semanal)	82

GLOSARIO Y SIMBOLOGÍA

Biofiltración: Una tecnología que utiliza microorganismos en un sustrato para degradar biológicamente emisiones o efluentes (como aguas residuales y compuestos volátiles aromáticos).

Maduración: Se conoce maduración es el proceso mediante el cual atraviesa cualquier ser vivo que crece y se desarrolla hasta llegar a su punto de máxima plenitud.

Amonio: producto tóxico de desecho del metabolismo en los animales. En los peces e invertebrados acuáticos, se excreta directamente en el agua.

Nitrito: compuestos resultantes de la oxidación biológica de las aminas y del amoníaco o por reducción del nitrato en condiciones anaeróbicas

Nitrato: compuestos que se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, etc. En esta descomposición se forma amoníaco o amonio respectivamente.

Intercambio iónico: El intercambio iónico es un intercambio de iones entre dos electrolitos o entre una disolución de electrolitos y un complejo.

Desnitrificación: proceso metabólico que usa el nitrato como aceptor terminal de electrones en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) principalmente, conduciendo finalmente a nitrógeno molecular.

Metabolitos: Es cualquier sustancia producida durante el metabolismo (digestión u otros procesos químicos corporales)

Adherencia: aglutinación o el pegamiento físico de distintos elementos.

Biopelícula: comunidades de microorganismos que crecen embebidos en una matriz de exopolisacáridos y adheridos a una superficie inerte o un tejido vivo

ABREVIATURAS

m³	Metros cúbicos
g	Gramos
m²	Metros cuadrados
SRA	Sistema de Recirculación Acuícola
NAT	Nitrógeno Amoniacal Total
NH₃	Amonio no ionizado
NO₂	Nitrito
NO₃	Nitrato
pH	Potencial de hidrogeno
SST	Solidos suspendidos totales
mg/l	Miligramos por litro
NH₄	Amonio ionizado
CO₃	Carbonato
HCO₃	Bicarbonato
cm²	Centímetros cuadrados
Kg	Kilogramo
ml	Mililitros
rpm	Revoluciones por minuto
ul	Microlitros

PCA	Plate Count Agar
UFC/g	Unidades formadoras de colonias por gramo
°C	Grados Celsius

1. RESUMEN

Se evaluó la eficiencia de dos tipos de sustrato, de diferentes tamaños, sobre la calidad de agua y crecimiento de alevines de *Oreochromis* spp. Un total de 180 alevines (peso inicial $0,98 \pm 0,12$ g) fueron distribuidos equitativamente en 4 tanques de $0,3 \text{ m}^3$, y alimentados a base de una dieta comercial al 50% de proteína. La biofiltración se realizó por medio de filtros de piedra pómez y piedra de río a 15 y 25 cm^2 cada uno, con un flujo constante de $0,15 \text{ m}^3/\text{hora}$, por un periodo de 63 días. Se obtuvo que el crecimiento de peces presentó mejor rendimiento en el tratamiento 1B con un promedio de crecimiento de $0,44 \text{ g}/\text{día}$, y menor en el tratamiento 2A que fue de $0,30 \text{ gr}/\text{día}$. El tiempo de maduración de los biofiltros fue de 38 días siendo el de mayor rendimiento los filtros de piedra pómez (22 días). Los valores de amonio nitrito y nitrato se mantuvieron dentro de los rangos ideales para el cultivo, presentando valores bajos en el tratamiento 1B. La carga bacteriana fue mayor en los biofiltros de piedra de río; sin embargo, evidenció la presencia de un tipo morfológico en los filtros de piedra pómez; la biopelícula no pudo ser cuantificada en los tratamientos con piedra de río, probablemente a que la textura del sustrato (lisa) no permitió la adherencia de la misma. Se determinó que el tipo de sustrato ideal para la conformación de un biofiltro en el SRA fue el de piedra pómez, sin embargo, los resultados microbiológicos evidencian que, de acuerdo a la presencia de carga bacteriana, el tamaño del sustrato no es un factor gobernante.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las tendencias vigentes de producción de organismos hidrobiológicos están enfocadas a la construcción y diseños de sistemas productivos que permitan ahorrar los mayores volúmenes posibles de agua, que ocupen menor espacio, reduzcan la necesidad de mano de obra y que, a la vez, sean más eficientes en el volumen de producción (Piedrahita, 2006).

Por otro lado, Manju et al. (2009) sostiene que la acuicultura convencional requiere principalmente de la disponibilidad de fuentes de agua y de grandes parcelas, motivo por el cual su intensificación ha conducido al deterioro de los suelos presentes en estas zonas especialmente debido a los altos niveles de NAT (Nitrógenos Totales Amoniacales), presentes en sus efluentes. Estas prácticas han conducido al uso desmedido del recurso agua, generando afectaciones a los recursos hídricos, por el vertimiento de sus efluentes sin tratamiento previo ocasionando variaciones a los parámetros ligados a la calidad del agua (oxígeno, sólidos totales, fósforo, nitrógeno, entre otros) y generando lodos con grandes cargas orgánicas, los cuales afectan la estructura y composición de los cuerpos receptores, afectando la flora y fauna presente en estos ecosistemas.

Según Mayer E. (2012), la exposición de camarones y peces a niveles no apropiados de oxígeno disuelto, amonio no ionizado, nitrito o ácido sulfhídrico conlleva a estrés y enfermedades. Sin embargo, en el ambiente de los estanques acuícolas, los parámetros de calidad del agua también se influyen entre sí.

Los Sistemas de Recirculación de Agua (SRA) cubren con tales exigencias pues permiten disminuir los espacios de ubicación, una reducción en la labor por unidad de producción, un mejor control de los parámetros físico-químicos, un incremento en la calidad y disponibilidad del producto (Mcgee y Cichra, 2000; Watson y Hill. 2006), y facilitan el manejo operativo (Espinoza, 1999). Adicionalmente, han demostrado ser un medio importante para la producción de peces en los países más desarrollados (Sotomayor, 2016), donde los requerimientos tales como cantidad, calidad de agua y disponibilidad de terreno son limitantes, con regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

Según Olaya. Et al. (2016) el principio de recirculación se basa en la reutilización del agua de los tanques de cultivo, tras pasar por un proceso de filtración mecánica en el cual los sólidos suspendidos son eliminados, por uno biológico que transforma los compuestos tóxicos (amonio) en nitrito y este en nitrato.

La biofiltración o filtración biológica es una de las más recomendables en los sistemas cerrados de recirculación porque intervienen bacterias nitrificantes

establecidas en el medio natural de los sistemas utilizados, las mismas que se desarrollan de acuerdo al grado de aporte de compuestos nitrogenados, proveniente de la materia orgánica presente en los mismos (heces, alimento entre otros), (Ingle et al. (2003) definen la biofiltración como todo proceso en el cual el agua rica en nitrógeno pasa a través de los biofiltros sumergidos, previamente colonizados por bacterias nitrificantes; de esta manera, el NH_3 es oxidado a NO_2^- por bacterias amonio oxidantes y posteriormente, el nitrito es oxidado a NO_3^- mediante bacterias nitrito oxidantes, siendo el más frecuentemente utilizado debido a una eficiente operatividad, bajo costo y fácil mantenimiento (Poot-López et al., 2012).

En la actualidad existen muchas alternativas de biofiltración, pero el principal inconveniente es la elevada inversión económica que estos sistemas representan, sin embargo, es posible aplicar biofiltros económicos compuestos de material rocoso en SRA para la producción extensiva de peces dulceacuícolas en el Ecuador. Se considera también importante el estudio e implementación del biofiltro en el cultivo de tilapia *Oreochromis* spp. debido a un vertiginoso crecimiento en relación a su consumo en Ecuador.

McGee y Cichra (2000) sostienen que entre los biofiltros no degradables biológicamente que pueden usarse en la acuicultura se encuentra la arena, roca molida o ripio de ríos, algunas formas de material plástico o cerámico en forma de pequeños gránulos. Gallego y García, (2017) afirman que la efectividad de los

biofiltros va a depender del tipo de sustrato empleado, dichos materiales alcanzan su máxima capacidad “maduración del biofiltro” cuando son colonizados por una comunidad de bacterias especializadas para la eliminación de metabolitos tóxicos presentes en el agua de cultivo (transformación del amonio en nitrito y éste en nitrato).

La maduración del biofiltro se logra cuando la concentración de NAT en el efluente se estabiliza por debajo de 0.7 mg/l (Timmons et al., 2009; Colt et al., 2006; Sandu et al., 2002; Menasveta et al., 2001; Zhu y Chen, 2001), siendo la capacidad de remoción de los compuestos nitrogenados de los biofiltros depende de la superficie total de contacto disponible para el desarrollo de las bacterias nitrificantes (Watson y Hill, 2006), y para una eficiencia máxima, el medio de soporte usado debe presentar una alta superficie específica (superficie por unidad de volumen) que permita una mayor adhesión de las bacterias responsables de eliminar los compuestos tóxicos presentes en el agua de cultivo

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de los biofiltros (rocoso ígneo volcánico y rocoso liso) a dos diferentes superficies de contacto, en el crecimiento de tilapia *Oreochromis spp.*

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realizará con la finalidad de determinar que sustrato permitirá la óptima desnitrificación de efluentes, además de permitir una más rápida maduración del biofiltro en un sistema de recirculación de agua, para un cultivo de peces dulceacuícolas, proporcionando esta investigación información importante para el entendimiento de la funcionalidad general y específica de un biofiltro de acuerdo a su naturaleza y composición.

El futuro de la actividad acuícola, demanda un consumo de agua a partir de un enfoque lo más económicamente posible, aumentando su rehusó y a su vez eliminando los compuestos tóxicos que puedan afectar a los organismos en cultivo, por otro lado las exigencias en materia ambiental, reducen la ampliación de estos en sistemas abiertos, en los cuales no hay un adecuado control de los efluentes provenientes de sus procesos productivos, esto lleva a, que las actividades existentes enfoquen sus esfuerzos en el uso de sistemas de recirculación de agua, de esta forma no depender de fuentes naturales, sobre todo en zonas donde la disponibilidad del recurso hídrico es escasa.

Se considera también importante el estudio e implementación del biofiltro en el cultivo de Tilapia debido a que este recurso acuícola ha mostrado un vertiginoso crecimiento en relación a su consumo en Ecuador. Siendo una alternativa

alimenticia que llega incluso a ser más económica que la carne, y se presenta como un recurso de exportación principalmente a mercados de Estados Unidos y la Unión Europea

El presente trabajo proveerá de información valiosa sobre la utilización de diferentes tipos de sustratos a varios tamaños para la elaboración de biofiltros que permitan un mayor grado de utilización a nivel local y regional, y permitirá mejorar el balance de la calidad del agua recirculante, y disminuir el impacto a los cuerpos de agua donde se destinan los efluentes finales en sistemas acuícolas.

4. OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar la eficiencia de biofiltros (rocoso ígneo volcánico y rocoso liso) a dos diferentes superficies de contacto, en un sistema de recirculación de agua mediante la toma de parámetros físico-químicos y biológicos en el crecimiento de Tilapia *Oreochromis* spp.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estimar el tiempo de maduración de cada uno de los biofiltros de prueba.
2. Determinar la eficiencia de los biofiltros en la remoción de compuestos nitrogenados mediante el análisis de parámetros físico-químicos.
3. Analizar el grado de adherencia y carga bacteriana en cada uno de los biofiltros relacionado a la remoción de compuestos nitrogenados.
4. Relacionar las variables físico-químicas y biológicas de los biofiltros versus el crecimiento de Tilapia *Oreochromis* spp.

6. HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H₀):

La eficiencia y velocidad de maduración de un biofiltro nitrificante en el crecimiento de *Oreochromis* spp., está directamente relacionada con el tipo y área de superficie del sustrato contenido en el mismo.

Hipótesis alternativa (H₁):

La eficiencia y velocidad de maduración de un biofiltro nitrificante en el crecimiento de *Oreochromis* spp., no está directamente relacionada con el tipo y área de superficie del sustrato contenido en el mismo.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 ACUICULTURA EN EL MUNDO

Según Castillo (2001), a partir de la década de los años 70, la acuicultura ha tenido un vertiginoso incremento, con el fin de cubrir la demanda alimentaria de la población, siendo la Tilapia el segundo rubro de producción de peces a nivel mundial solo por debajo de las Carpas Chinas.

Actualmente la FAO, reporta que la producción actual de proteína animal, deberá aumentar en un 70%, en los próximos 50 años, como respuesta del constante incremento poblacional, a las exigencias alimenticias, enfocados a la evolución económica de los países y las tendencias urbanísticas, así como también el aumento de las metrópolis en los países en vías de desarrollo.

La globalización y evaluación tecnológica del mundo, involucra a todos los países, indistintamente de su crecimiento poblacional, o distribución de su riqueza.

Esta situación, se verá afectada sustancialmente, por el cambio climático, cuyas consecuencias se verán directamente reflejadas en los modelos productivos actuales, según los expertos el crecimiento de la acuicultura es producto de la búsqueda de la sociedad por nuevas fuentes de alimento, ya que estos productos se caracterizan por su alto nivel en proteínas, aminoácidos y bajos en calorías (FAO,

2002). En base a este enfoque trasciende el cultivo de Tilapia, como alternante a las proteínas de origen animal actuales, la cual representa un modelo de producción caracterizada por sus ciclos cortos de cultivo y bajos costos operativos.

7.2 CULTIVO DE TILAPIA EN EL ECUADOR

A finales de los años noventa con el brote de la “Mancha Blanca” el sector camaronero de nuestro país sufrió un ataque que conllevó a la pérdida de casi el 50% de la producción de la época. (El Autor, 2019)

En respuesta gran parte de los productores camaroneros, cuyos sistemas de producción había sido afectados por este virus, vieron la piscicultura de tilapia como negocio sabiendo la gran demanda en el mercado interno como también del mercado externo, especialmente a los Estados Unidos de América. Así para el año 2000, Ecuador ingreso al mercado norteamericano, convirtiéndose en el primer proveedor de filetes de tilapia de ese país, desplazando a Costa Rica de tal posición (Castillo, 2001).

A pesar del atractivo mercado de la tilapia, en el 2011 su producción cayó en 24,50% (7,51 millones a 5,67 millones de dólares), según datos del Servicio Nacional de Aduana del Ecuador.

7.3 GENERALIDADES DE TILAPIA ROJA

La tilapia roja es un tetrahibrido, es decir un cruce hibrido entre cuatro especies del genero *Oreochromis*: *O. mossambicus*, *O. niloticus*, *O. hornorum* y *O. aureus* (Castillo, 2001).

Dentro del Género *Oreochromis*, en forma intempestiva aparece la tilapia roja como una mutación albina en un cultivo artesanal de tilapia *Oreochromis mossambicus* de coloración normal (negra) cerca de la población de Tainan (Taiwán) en 1968 (Castillo, 2001).

Es un pez de buen sabor y rápido crecimiento, se puede cultivar en estanques y en jaulas, soporta altas densidades, resiste condiciones ambientales adversas, tolera bajas concentraciones de oxígeno, es capaz de utilizar la productividad primaria de los estanques, y puede ser manipulado genéticamente.

López, (2002), menciona que una Tilapia adulta puede llegar a obtener un peso entre 1000 a 3000 g. La edad de madurez sexual en las Tilapias difiere según el sexo del animal, en machos es de cuatro a seis meses, mientras que en las hembras es de tres a cinco meses. Para la determinación del sexo se observa que en el macho aparecen dos orificios característicos que son la papila urogenital (no presente en

algunas especies) y el ano, mientras que en las hembras se observan tres orificios que son el urinario, papila genital y ano.

La aplicación de un sistema de recirculación acuícola es una alternativa ecológica para el cultivo de peces como la tilapia ya que existen antecedentes que describen los equipos y las estrategias de manejo que permiten la implementación de estos sistemas de cultivos a un menor costo, conservando las características de calidad del agua de cultivo, estos procesos previamente analizados en un plan de negocios aseguran su viabilidad económica al ser ejecutados, además de ser ampliamente estudiado su biología donde describen su ventajas y desventajas en la cría de esta especie y los parámetros óptimos para su cultivo (Tabla 1), concluyendo tener un alto potencial producción y rentabilidad para su explotación, siendo uno de las principales especies con más impacto en las producciones mundiales (Luchini, 2006).

Tabla 1. Indicadores para el cultivo de Tilapia. Fuente: (Saavedra, 2006)

Parámetros	Rangos óptimos
Temperatura	25.0 - 32.0 °C
Oxígeno Disuelto	5.0 - 9.0 mg/l
pH	6.0 - 9.0
Alcalinidad Total	50 - 150 mg/l
Dureza Total	80 - 110 mg/l
Calcio	60 - 120 mg/l
Nitritos	0.1 mg/l
Nitratos	1.5 - 2.0 mg/l
Amonio Total	0.1 mg/l

Hierro	0.05 - 0.2 mg/l
Fosfatos	0.15 - 0.2 mg/l
Dióxido de Carbono	5.0 - 10 mg/l
Sulfato de Hidrógeno	0.01 mg/l

7.4 SISTEMAS DE RECIRCULACION

Bregnballe (2015), sostiene que un Sistema de Recirculación de Agua (SRA) se define como un proceso donde el agua pasa por filtros mecánicos y biológicos, con el fin de ser reutilizada, por los peces en cultivo, por lo tanto, el objetivo de estos sistemas es eliminar las sustancias inertes, los patógenos presentes y facilitar el intercambio de gases en el cultivo.

El uso de los sistemas de recirculación cerrados, ha sido normalmente vinculado con aplicaciones investigativas, pero con el pasar de los años se ha demostrado que estos pueden ser utilizados para obtener mayores producciones a menores costos de operación, con respecto a los cultivos tradicionales (Montana, 2009).

Según Montana (2009), entre las ventajas de la aplicación de Sistemas de Recirculación de agua se puede destacar: la alta disponibilidad de la semilla, protocolos de manejo adaptables, y sobre todo facilidad en el control de los parámetros ambientales (temperatura, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno, etc.)

Montana (2009) adicionalmente cita que las desventajas asociadas con estos sistemas se ven reflejadas en su alto costo de tecnología, la necesidad de calefacción dependiendo la especie y el sitio donde se desarrolle el cultivo, y, los filtros los cuales deben ser constantemente revisados para asegurar el éxito en su funcionamiento.

Según Ingle et al. (2003), el principal problema que presentan los sistemas cerrados de recirculación de agua, es la depuración constante de los compuestos tóxicos, como el amoníaco (NH_3) y el nitrito (NO_2^-); razón por la cual la presencia de un biofiltro o algún producto que se encargue del proceso de nitrificación es fundamental en el éxito de estos sistemas.

7.5 FILTRACIÓN BIOLÓGICA

Según Jiménez et. al (2015), la filtración biológica tiene como finalidad, el control y disminución de los niveles de amoníaco, principalmente debido a que se involucra un proceso bacteriano, el cual es responsable de la conversión de metabolitos como amoníaco (NH_3) o nitrito (NO_2^-), en compuestos relativamente menos tóxicos, para los organismos presentes en estos sistemas, dicho proceso es llevado a cabo por bacterias nitrificantes.

Según Ingle et al. (2003), durante el proceso de biofiltración, el agua rica en nitrógeno pasa a través de los biofiltros sumergidos, previamente colonizados por bacterias nitrificantes; de esta manera, el NH_3 es oxidado a NO_2^- por bacterias amonio oxidantes y posteriormente, el nitrito es oxidado a NO_3^- mediante bacterias nitrito oxidantes, siendo el más frecuentemente utilizado debido a una eficiente operatividad, bajo costo y fácil mantenimiento (Poot-López et al., 2012).

Según Gallego y García, (2017), la etapa de biofiltración se puede entender, como cualquier técnica de filtración que involucra organismos biológicos (vivos) para eliminar impurezas del agua recirculante. El nitrógeno es un nutriente esencial para todos los organismos vivientes que se encuentra en proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos y pigmentos. En acuicultura, el nitrógeno es un componente residual derivado del cultivo de los peces que tiene varias fuentes principales: urea, ácido úrico, aminoácidos excretados por los peces, detritos orgánicos de organismos muertos, alimento no consumido y heces fecales.

La descomposición de estas especies nitrogenadas en los SRA es particularmente importante debido a la toxicidad del nitrógeno amoniacal total ($\text{NAT} = \text{N-NH}_4^+ + \text{N-NH}_3$). El proceso de remoción de amonio por filtración biológica es llamado nitrificación y consiste en una oxidación sucesiva del amonio a nitritos y finalmente a nitratos. Los pasos de este proceso, normalmente, se llevan a cabo uno detrás del otro en un ambiente aerobio mediado por dos grupos de bacterias autótrofas

quimiosintetizadoras. Las bacterias oxidantes del NAT incluyen géneros como *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* y *Nitrosovibrio*. Aquellas oxidantes de nitritos comprenden géneros como *Nitrobacter*, *Nitrococcus* y *Nitrospina* (Timmons et al., 2009). Estos organismos se fijan a medios filtrantes formando una biopelícula.

Autores como Garzón, (2004) y Viguera et al., (2013) indican que la biofiltración utiliza procesos físicos y químicos producto de las bajas tasas de filtración, estableciendo un equilibrio entre la tasa de acumulación de contaminantes y el crecimiento de la comunidad microbiana, según Chávez et al., (2004) esta actividad da como resultado la formación de una biopelícula sobre la superficie del medio filtrante, responsable de la depuración de los patógenos, Sánchez et al. (2007) indica que este proceso también incluye la remoción de los sólidos suspendidos, reduciendo la turbidez y aumentando el paso de luz por el agua tratada.

Según Torres et al. (2003), el medio filtrante ocupa generalmente entre el 50 y 70% de la altura total del biofiltro y sus principales finalidades son:

- Facilitar el contacto entre el agua y los sólidos biológicos contenidos en el biofiltro.
- Facilitar un flujo uniforme en el biofiltro.
- Permitir la acumulación de una gran cantidad de biomasa.

- Actuar como separador de sólidos y gases. La selección del medio filtrante es de suma importancia debido a que de este depende la calidad final que tenga el efluente a tratar.

Según Pinto y Chernicharo (1996), citado por Torres et al. (2003), algunos de los requisitos que deben cumplir los medios filtrantes, son los siguientes:

- Debe ser estructuralmente resistente, debido a que es importante que soporte su propio peso y el de la biopelícula adherida a la superficie.
- Ser biológica y químicamente inerte, para evitar que ocurra una reacción entre el medio y los microorganismos.
- Ser suficientemente liviano, que permita la construcción de filtros más altos para reducir áreas de tratamiento.
- Poseer superficie específica y porosidad elevada, que permita la adherencia de microorganismos y reduzca la posibilidad de acumulación de sedimentos o colmatación.
- Permitir la rápida proliferación de microorganismos para que disminuya el tiempo de arranque del biofiltro.
- Tener precio reducido, para que el proceso sea económicamente viable.

7.6 PARÁMETROS A CONSIDERAR

El éxito de los sistemas de recirculación depende de la calidad de agua presente en el cultivo, ya que esta es el medio por el cual se realiza la interacción entre peces y bacterias, de las cuales, estas últimas obtienen sus nutrientes, por lo tanto, la calidad del agua debe ser suficiente para mantener el balance de las dos comunidades presentes. Según Dediu et. al (2012), algunos parámetros físico-químicos del agua deben ser medidos en forma diaria (temperatura, oxígeno disuelto y pH), mientras que otros pueden ser medidos de manera periódica nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3).

7.6.1 pH

El pH es un factor que interviene en varios procesos, pero uno de los más importantes en los SRA es la nitrificación. Este puede ocurrir en un rango muy variado de pH de 6 a 9. Timmons y Ebeling (2007), sostienen que el rango óptimo se encuentra entre 7.2 a 7.8. Es por eso, que el pH debe ser adecuado para la especie de pez que se desee cultivar, siendo en general, valores dentro de un rango de 7 a 7.5 para la mayoría de las especies.

7.6.2 OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto debe mantenerse por encima de 3 mg/l siendo preferible una concentración igual o mayor a 5 mg/l., si este se encuentra en niveles menores, no

se realizará una buena nitrificación, restando desechos metabólicos sin filtrar y acumulándose en concentraciones tóxicas para los peces.

El oxígeno se disuelve en la superficie de la capa del líquido en movimiento y es transferido a través de la superficie de la biopelícula. El oxígeno y la carga orgánica se propagan hacia dentro de la biopelícula para ser degradados por los microorganismos adheridos al medio. Los sólidos suspendidos y coloidales que contiene el agua residual se aglomeran y adsorben también en la biopelícula (Cohen, 2001).

7.6.3 COMPUESTOS NITROGENADOS

Según Aguilar (2014), el amonio es un compuesto químico producto del proceso de excreción especies acuáticas, como resultado de su actividad metabólica; 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 la acumulación del ion amoniacal (NH_4) en los estanques de cultivo es directamente proporcional con la tasa de alimentación de los organismos cultivados

Según Álvarez et. al (2018), el nitrógeno amoniacal puede encontrarse en dos formas químicas, dependiendo de la temperatura y el pH del agua, la primera forma no ionizada se presenta como amoniacal 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.

7.6.4 ALCALINIDAD Y DUREZA

Según Álvarez et. al (2018), es la medida de la concentración de los iones de Calcio y Magnesio expresadas en partes por millón (ppm) de su equivalente a Carbonato de calcio (CaCO_3). Durezas por debajo de 20 ppm repercuten en la fecundidad, adicional indican que las Tilapias pueden tolerar rangos entre 20-350 ppm CaCO_3 .

Rodríguez y Anzola (2001), definen la dureza total como la concentración de iones, básicamente calcio y magnesio y se expresa como mg/L de carbonato de calcio equivalente.

8. MARCO METODOLÓGICO

8.1 ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Unidad de Prácticas de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, ubicado en las coordenadas UTM WGS84 513755.8 - 9753079.9 17 S, en un set de ensayo de 12 m², independiente y de acceso restringido. Se implementó el sistema de aireación. La fase experimental tuvo una duración de 63 días.

8.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la implementación de los biofiltros se utilizaron piedra pómez y piedra de río por la adherencia de sedimento en sus paredes, los cuales estuvieron conformados de la siguiente manera (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los sustratos y superficies de contacto evaluados.

Tratamientos	Tipo de sustrato	Tamaño de sustrato (cm²)
1A	Piedra pómez	15
1B	Piedra pómez	25

2A	Piedra de rio	15
2B	Piedra de rio	25

Para la experimentación se implementó 180 alevines de tilapia roja (*Oreochromis* spp.), con un peso promedio de $0,98 \pm 0,01$; los organismos fueron sembrados en 4 tanques de $0,3 \text{ m}^3$ de capacidad, cada uno de los tanques estaba provisto de un Sistema de Recirculación de Agua (SRA), el cual comprendía tres fases: filtración mecánica, biológica (biofiltro) y reserva (Figura 1). Los organismos fueron alimentados a base de una dieta de 50% de proteína, cuya dosis fue ajustada semanalmente a razón de 1 % de la biomasa de los organismos. El flujo de agua fue de $0.15 \text{ m}^3/\text{h}$ aproximadamente, produciendo un recambio total de 12 veces al día, con la ayuda de una bomba sumergible JAD SP1800.

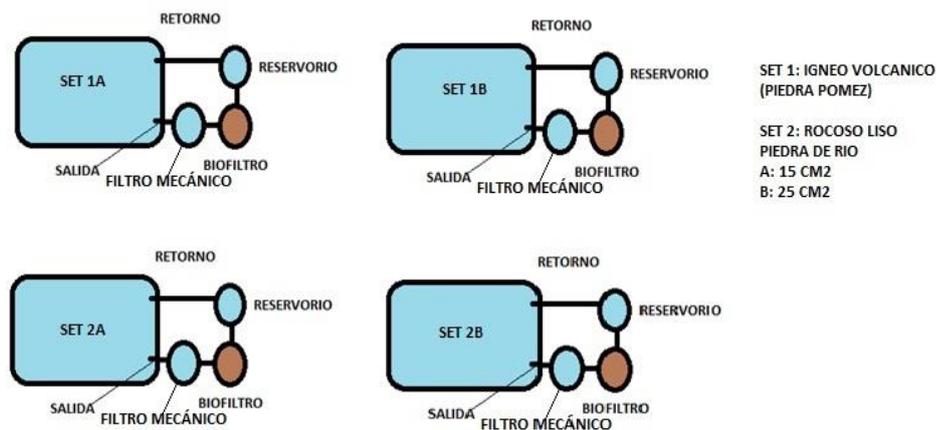


Figura 1. Esquema de implementación de tratamientos

Se colocó 3 niveles de sustrato en cada biofiltro (2 kg sustrato/nivel) de los cuales el primer nivel, en cada tratamiento, se colocó con la finalidad de obtener el peso de la biopelícula presente al final de la fase experimental.

8.2.1 CONTROL DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

Se realizaron monitoreos semanales (cada tres días) de amonio total y nitrito, nitrato, utilizando kits de colorimetría API.-Se determinó la maduración del filtro cuando el valor del NAT en el efluente se estabilizó por debajo de 0,7 mg/L durante 7 días consecutivos. (Timmons et al. 2009). Adicionalmente, cada mes se tomaron muestras de agua de los tanques de prueba, para la determinación de amonio, nitritos, nitratos, alcalinidad, dureza y fosforo, las cuales fueron enviadas y analizadas en el Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM).

Los datos de oxígeno disuelto, temperatura y pH se registraron diariamente con un multiparámetros HANNA Instruments modelo HI9829.

8.2.2 ADHESIÓN DE BIOPELÍCULA EN SUSTRATOS

La adhesión de la biopelícula, se calculó al final de la experimentación y el procedimiento consistió en obtener la diferencia de peso entre el peso húmedo

inicial de sustrato ubicado en el primer nivel del biofiltro (valor tomado al inicio de la fase experimental), y el peso final del sustrato (nivel 1 (2kg)), donde la diferencia se calculó mediante la siguiente formula:

$$X = (\text{Peso húmedo final} - \text{peso húmedo inicial})$$

8.2.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Para el análisis microbiológico y de forma mensual se tomó 300 ml de muestra de agua por cada tratamiento, las cuales fueron centrifugadas a 5200 rpm por 10 minutos con la finalidad de separar la muestra (sedimento) del agua contenida en la misma, obteniéndose un pellet de 1 gr. A partir del pellet se realizaron diluciones seriadas de 10^{-3} a 10^{-6} en solución estéril de agua destilada y se sembraron alícuotas de 100 uL en agar PCA siguiendo el protocolo modificado de Cuellar & Morales (2008). Las placas fueron incubadas a 30 °C por 24 horas y se realizaron recuentos bacterianos a partir de placas que contenían entre 30 a 300 colonias por placa. Los recuentos bacterianos fueron expresados en unidades formadoras de colonias por gramo. (UFC/g). Se seleccionaron las cepas más dominantes en cada tratamiento las mismas que fueron caracterizadas morfológicamente y diferenciadas mediante tinción de Gram. Dichas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Microbiología del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM).

8.2.4 CONTROL DE CRECIMIENTO DE PECES

Para estimar el crecimiento de los organismos se obtuvieron datos biométricos de peso húmedo corporal (g) en cada tratamiento, utilizando una balanza de precisión (d=0,1g) Boeco modelo BWL61.

8.2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se calculó el Índice de crecimiento específico (ICE); utilizando la siguiente fórmula:

$$IEC = \frac{\ln Pf - \ln Pi}{\Delta t} \times 100$$

Donde; ln Pf y ln Pi son el logaritmo natural de los pesos húmedos final e inicial, respectivamente y Δt es un periodo de tiempo en días.

El porcentaje de supervivencia se obtuvo al final del experimento; siendo:

$$\% = \frac{\text{Peces sobrevivientes} \times 100}{\text{Total de peces sembrados}}$$

Para el análisis estadístico se utilizó el software R, y su plataforma RStudio versión 1.1.4. y la prueba de Shapiro-Wilk y Bartlett, para verificar si los datos presentaban normalidad y varianzas homogéneas. Se determinó que los datos no cumplían con los requisitos para una estadística paramétrica, por lo cual se elaboró un script para determinar si existían diferencias significativas entre la biomasa final en cada uno de los tratamientos mediante un Test de Nemenyi (Tukey-Kramer), se aplicó un Índice de Correlación de Pearson para establecer la relación de las distintas variables físicas, químicas y biológicas entre cada uno de los tratamientos.

9. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

9.1 MADURACIÓN DE LOS BIOFILTROS

Para los tratamientos 1A y 1B el tiempo de maduración fue a los 22 días, tiempo en el cual el valor de amonio se estabilizó por debajo de 0,7 mg/l durante 7 días consecutivos, en contraste en los tratamientos 2A y 2B el tiempo de maduración varió de 34 a 28 días respectivamente; posteriormente, los valores en cada tratamiento oscilaron entre 0,25 y 0,50 mg/l siendo el tratamiento 1B el que mostró mejor eficiencia. (Grafico 1).

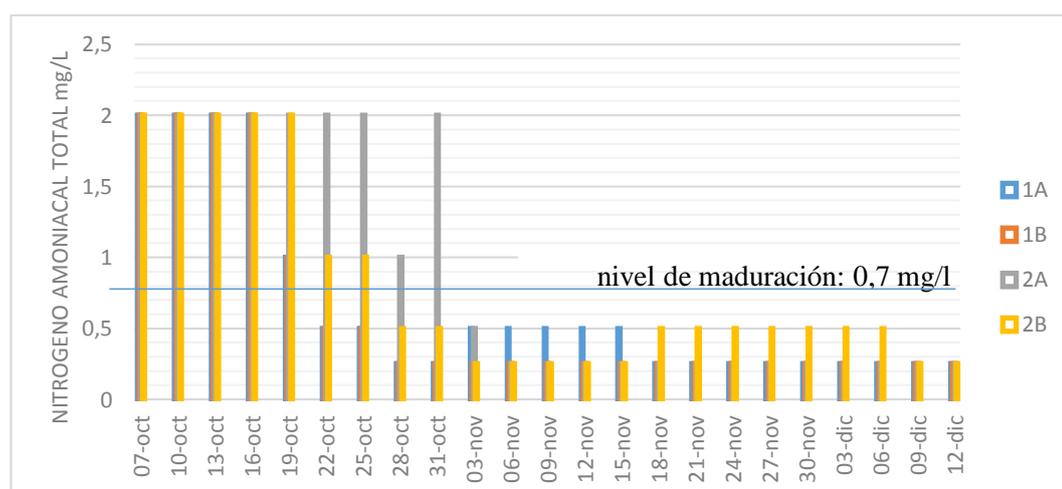


Grafico 1. Comportamiento del Nitrógeno Amoniacal total, durante la experimentación.

El tiempo de maduración de los biofiltros en los SRA se obtuvo de 22 a 38 días, siendo el sustrato de piedra pómez de mejor rendimiento (22 días) probablemente debido a la composición porosa de los mismos, con un periodo más corto de acuerdo a lo reportado por Gallego & García (2017), quienes evaluaron un biofiltro precolador– columna de arena cuya maduración se presentó en un periodo de 37 días cuando el Nitrógeno Amoniacal Total (TAN) se estabilizó por 7 días consecutivos. Sandu et al. (2002) reportaron un periodo de maduración de 7 días en condiciones de 8,64 g por día de amoníaco en masa; así como también reportan Timmons et al., (2009); Colt et al., (2006); Menasveta et al., (2001) y Zhu y Chen, (2001). Es importante señalar que en el presente estudio la "maduración" de los biofiltros se dio en condiciones naturales, y en los estudios citados se emplearon consorcios de bacterias nitrificantes para ayudar a la maduración de los mismos.

9.2 REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS

Se presentó una fuerte correlación entre los parámetros físico-químicos en cada uno de los tratamientos, la concentración de oxígeno disuelto en los tratamientos 1B y 2A presentó una leve correlación entre sí. ($r= 0,39$), en lo que respecta al pH la correlación menos fuerte se dio entre los tratamientos 1A y 2B ($r = 0.80$), la temperatura presentó una fuerte correlación entre los tratamientos. Durante la experimentación la concentración de oxígeno disuelto se mantuvo entre 5,66 y 5,80

mg/l (valores promedio de los tratamientos), la temperatura se mantuvo entre 26,21 y 26,96°C y el pH entre 7,43 y 7,58.

En el tratamiento 1A se pudo observar una correlación positiva ($0 < r < 1$) entre el pH con el amonio, nitrito y nitrato; siendo la relación amonio- pH que presentó la correlación fuerte ($r = 0,69$), para el tratamiento 1B la temperatura presentó una mayor correlación con el nitrito ($r = -0,65$), el pH presentó una correlación similar que el tratamiento 1A con respecto a los compuestos nitrogenados. Para el tratamiento 2A se pudo evidenciar que el OD mostró una correlación negativa ($-1 < r < 0$) con respecto a los compuestos nitrogenados, la temperatura mostró una leve correlación con el amonio ($r = -0,77$) y el pH mostró fuerte correlación siendo el nitrito con el parámetro que tuvo la mayor correlación ($r = -0,84$); similar caso se evidenció en el tratamiento 2B pero en este tratamiento el pH tuvo una correlación inferior, siendo la más notable con el amonio ($r = 0,66$).

Los análisis de laboratorio demostraron que para el primer muestreo existió una correlación positiva ($0 < r < 1$) entre los parámetros de calidad de agua y la carga bacteriana presente en los biofiltros, la correlación más fuerte se presentó con el parámetro amonio ($r = 0,92$), similar comportamiento se mostró con la dureza del agua ($r = -0,63$), parámetros como el nitrito y nitrato mostraron correlaciones menos notables ($r = 0,82$ y $-0,76$ respectivamente). Para el segundo muestreo se evidencio

condiciones similares, no obstante, la correlación con el nitrito aumento ($r = 0,99$).
(Tabla 3).

Tabla 3. Valores de calidad de agua (mg/l) obtenidos en los tratamientos de experimentación.

PRIMER MUESTREO				
	TRATAMIENTOS			
Parámetro (mg/l)	1A	1B	2A	2B
Fosforo (P)	1,6	1,3	1,5	2
Amonio (NH ₃)	0,21	0,18	0,31	0,26
Nitrato (NO ₃ ⁻)	3,01	3,89	2,44	2,89
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,4	0,12	0,51	0,59
Alcalinidad	45,2	73,9	53,1	62,6
Dureza	251	234,9	218,9	202,9
SEGUNDO MUESTREO				
Fosforo (P)	1,8	1,7	2,1	1,8
Amonio (NH ₃)	0,21	0,15	0,28	0,3
Nitrato (NO ₃ ⁻)	4,11	3,55	3,51	2,5
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,15	0,11	0,44	0,48
Alcalinidad	41,5	68,7	55,9	52,7
Dureza	246	241	235,1	222,6

El nivel de oxígeno presente en cada uno de los tratamientos se mantuvo dentro del rango óptimo para el crecimiento de tilapia (>4.5 mg/l) de acuerdo con Barreto-Curiel et al. (2015) y Hurtado (2005)

Para el crecimiento óptimo de *Oreochromis* spp. es recomendable mantener los sistemas de producción en un rango de 24 a 28 °C Cantor (2007), y Bautista et al. (2011) la temperatura que se presentó durante la fase experimental fue de 26,21 a

26,96 en todos los tratamientos, por lo que observa una fuerte correlación entre los mismos, esto debido a que el ensayo se realizó bajo ambientes controlados.

Según Gallego y García (2017), el pH y la alcalinidad tienen un impacto importante en la eficiencia de conversión de NAT a nitritos y estos a nitratos. Cuando se tienen valores de pH menores que cuatro se inhibe el proceso. La alcalinidad, entonces, tiene dos funciones: mantener niveles de pH por arriba del valor neutro, y para contrarrestar concentración de iones hidrógeno en el agua mediante un sistema *buffer* donde se implica a los carbonatos y bicarbonatos.

Los valores de pH en los tratamientos se mantuvieron dentro del rango ideal (Cantor, 2007), se pudo observar una fuerte correlación entre los tratamientos excepto el 2B, esto debido a que este tratamiento reportó valores más altos de pH, mientras que en el resto se mantuvo dentro del rango ideal para el cultivo, igual a lo reportado por Boyd y Craig. (2012), quienes determinaron que valores inferiores a 7 afectan los procesos de desnitrificación.

La mayor concentración de alcalinidad se evidenció en el tratamiento 1B que, igual a lo reportado por Gallego y García (2017) se obtuvo concentraciones entre el 60 y 70% de alcalinidad, teniendo eficiencia aceptable en el sistema. En todos los tratamientos, los valores de alcalinidad se mantuvieron dentro del rango óptimo

para cultivo de Tilapia Roja, por su parte la dureza del agua se mantuvo dentro de los rangos ideales para el cultivo (Cantor, 2007).

El fosfato tuvo mejor rendimiento en el tratamiento 1B; cabe resaltar que todos los tratamientos reportaron valores dentro del rango ideal para el cultivo, según lo reportado por Cantor (2007).

En relación al amonio los valores resultantes fueron menores a lo reportado por Lui et al. (2013), utilizando un biofiltro de perdigones secuencial, así como también a lo reportado por Ling y Chen (2005) en filtros de arena fluidizado y Guerdat et al. (2010) quienes reportaron para los filtros de piedra de río los valores más altos de NAT, los resultados obtenidos que concuerdan con estudios realizados por Pfeiffer y Malone (2006) y Wu et al. (2008). El mejor rendimiento lo tuvo el tratamiento 1B con valores similares a lo publicado por Perdensen et al. (2015), utilizando filtros de lechos suspendidos.

El tratamiento 1B demostró una mejor eficiencia en la remoción de nitrito en el sistema, el cual se presentó a razón de la disminución de amonio en cada uno de los tratamientos, los valores reportados concuerdan con lo publicado por Kubitza F. (2001), quien obtuvo valores similares en un sistema "biofloc".

El nitrato tuvo una correlación fuerte en casi todos los tratamientos debido a que los tratamientos 1A, 1B y 2B, mostraron valores similares entre ellos (5 a 10 mg/L),

exceptuando el tratamiento 2A que en términos de biomasa fue el de menor rendimiento.

9.3 GRADO DE ADHERENCIA Y CARGA BACTERIANA

En lo que respecta al peso de la biopelícula presente en cada uno de los sustratos experimentales se puede evidenciar que para los biofiltros compuestos de piedra pómez existió una correlación positiva perfecta ($r = 1$) en relación a la carga bacteriana presente en estos sustratos (Figura 2).

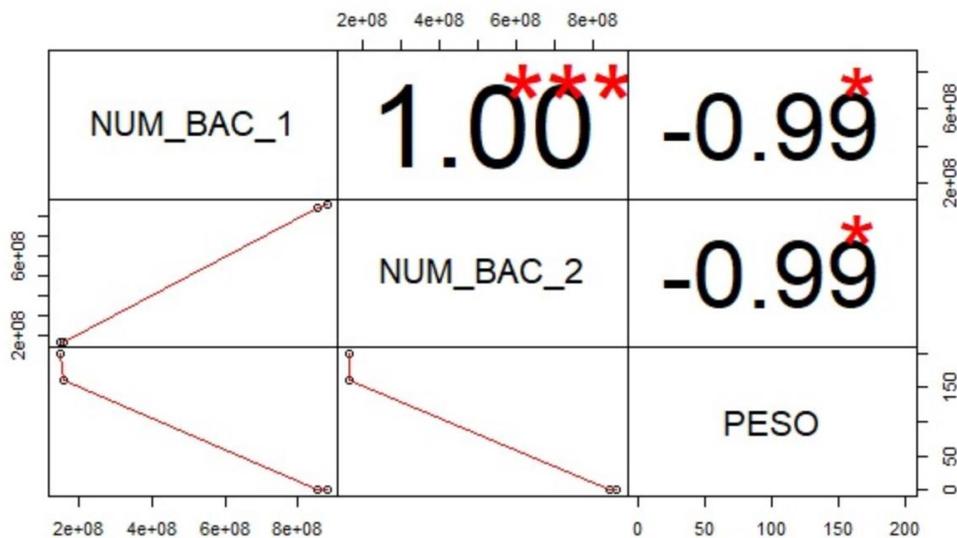


Figura 2. Índice de correlación de Pearson, carga bacteriana vs peso de la biopelícula para los tratamientos.

En los tratamientos se evidenciaron 3 morfologías bacterianas diferentes, con la particularidad de que en los tratamientos 1A y 1B se presentó un tipo morfológico

diferente caracterizado como Blanca irregular rugosa mediana para el primer y segundo muestreo. (Tabla 4).

Tabla 4. Carga bacteriana y peso de biopelícula (g) presente en sustratos para el primer y segundo muestreo.

PRIMER MUESTREO				
	TRATAMIENTOS			
	1A	1B	2A	2B
Caracterización Morfológica de Bacterias Agar Plate Count Agar (PCA) UFC				
Crema translúcida convexa mediana	1,50E+08	1,46E+08	8,80E+08	8,40E+08
Crema oscura convexa pequeña	3,00E+06	4,00E+05	1,50E+05	8,00E+06
Naranja clara convexa pequeña	1,00E+06	2,00E+05	1,00E+06	4,00E+06
Blanca irregular rugosa mediana	2,00E+06	4,00E+05	0,00E+00	0,00E+00
Bacterias Totales	1,56E+08	1,47E+08	8,81E+08	8,52E+08
SEGUNDO MUESTREO				
Crema translúcida convexa mediana	1,60E+08	1,65E+08	8,60E+08	8,30E+08
Crema oscura convexa pequeña	3,10E+06	4,25E+05	1,60E+05	7,80E+06
Naranja clara convexa pequeña	1,20E+06	2,00E+05	1,10E+06	3,56E+06
Blanca irregular rugosa mediana	2,00E+06	4,33E+05	0,00E+00	0,00E+00
Bacterias Totales	1,66E+08	1,66E+08	8,61E+08	8,41E+08
Biopelícula (g)	160	200	0,00	0,00

La tinción diferencial para la cepa más predominante caracterizada como crema translúcida redonda clasificó a esta cepa en Gram positiva. (Figura 3).

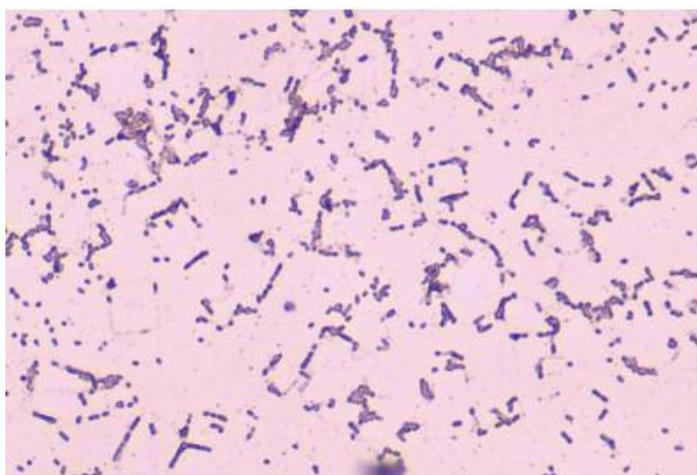


Figura 3. Tinción diferencial mediante tinción de Gram. Lente 60X

La biopelícula no pudo ser cuantificada en los tratamientos 2A y 2B (piedra de río), debido a que no existía diferencia en los pesos húmedos registrados, probablemente porque la metodología empleada para medir este parámetro no fue la correcta.

Los tratamientos 2A y 2B tuvieron mayor carga bacteriana total con valores que oscilaron entre $8,61E+08$ UFC/ g y $8,41E+08$ UFC/ g respectivamente, siendo la cepa caracterizada como crema translúcida convexa mediana la que se presentó mayormente en este tratamiento con cargas que oscilaron entre $8,60E+08$ UFC/ g y $8,30E+08$ UFC/ g para los tratamientos 2A y 2B. Esta concentración similar de aerobios totales fue encontrada por Viguera J, (2011) al evaluar la cantidad de microorganismos aerobios y anaerobios presentes en fibra de agave con aireación a nivel superior medio y bajo; siendo el primer nivel el que presentó la más alta carga bacteriana con concentraciones de $8.92E+08$ UFC/ g.

En relación a los tratamientos 1A y 1B, se presencié un tipo morfológico diferente con concentraciones que oscilaron entre $2,00E+06$ UFC/g y $4.33E+05$ UFC/g caracterizada como blanca irregular rugosa mediana para cada uno de los tratamientos descritos. En adición este tipo morfológico estuvo ausente en los tratamientos 2A y 2B, sin embargo, no se puede especificar si estas comunidades identificadas, pertenecen a bacterias responsables en procesos de desnitrificación. Cabe resaltar que los análisis microbiológicos si bien es cierto son métodos tradicionales que permiten cuantificar y aislar bacterias, pero no todas las comunidades bacterianas son cultivables. Así Galván L & Ríos L, (2013) indican que la diversidad de bacterias y arqueobacterias que participan en procesos relacionados al ciclo del nitrógeno esta subvalorada, debido a la dificultad de ciertos organismos de poder ser cultivables y aisladas en laboratorio por métodos tradicionales, así como también la necesidad de estudios que demuestren las diversas interacciones de los diversos tipos de microorganismos que participan en el ciclo del nitrógeno en otros hábitats naturales.

9.4 CRECIMIENTO DE *OREOCHROMIS SPP*

En relación al crecimiento (g) en cada uno de los tratamientos, el tratamiento 1B presentó el mayor rendimiento en relación a la biomasa alcanzada que fue de 1333,2

g con un promedio de 29.7 ± 16.4 gr, el de menor rendimiento fue el 2A con una biomasa final de 922,4 gr y un promedio de 20.5 ± 12.3 (Tabla 4).

Tabla 4. Biomasa promedio y desviación estándar de los tratamientos a la cosecha. Las letras diferentes corresponden a tratamientos con diferencias significativas ($p < 0.05$)

Tratamiento	Biomasa a la cosecha
1A	27.6 ± 12.7^b
1B	29.7 ± 16.4^b
2A	20.5 ± 12.3^a
2B	21.1 ± 10.0^{ab}

El Test de Nemenyi mostró que el tratamiento 2A fue significativamente diferente ($p < 0.05$) con respecto a los tratamientos 1B y 1B los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí ($p > 0.05$), el tratamiento 2B mostró una leve significancia con respecto al tratamiento 1B (Figura 4).

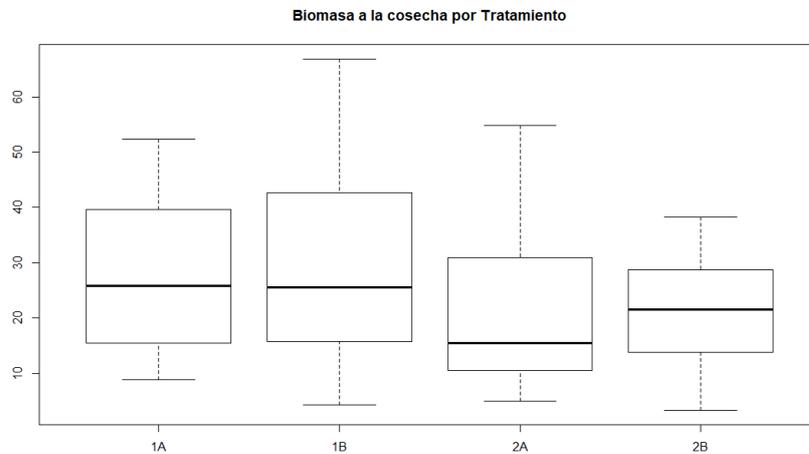


Figura 4. Diagrama de cajas tratamientos 1A, 1B, 2A y 2B.

EL índice de crecimiento específico (ICE) a la cosecha fue más alto en el tratamiento 1B, reportando sus más bajos niveles a partir de la semana 7, seguido por el tratamiento 1A el cual mostros su más bajo nivel en la semana 5, los tratamientos 2A y 2B reportaron ICE más bajos, siendo el 2A el de menor índice, se evidenció que el ICE más bajo para todos los tratamientos se reportó en la semana 5, excepto el tratamiento 1B que mostró su más bajo ICE en la última semana de experimentación (Grafico 2). El Índice de Pearson mostró que existió una correlación positiva ($0 < r < 1$) entre todos los tratamientos, siendo el tratamiento 2B el que presentó una baja correlación respecto a sus referentes ($r < 0,50$). El porcentaje de supervivencia en todos los tratamientos fue del 100%.

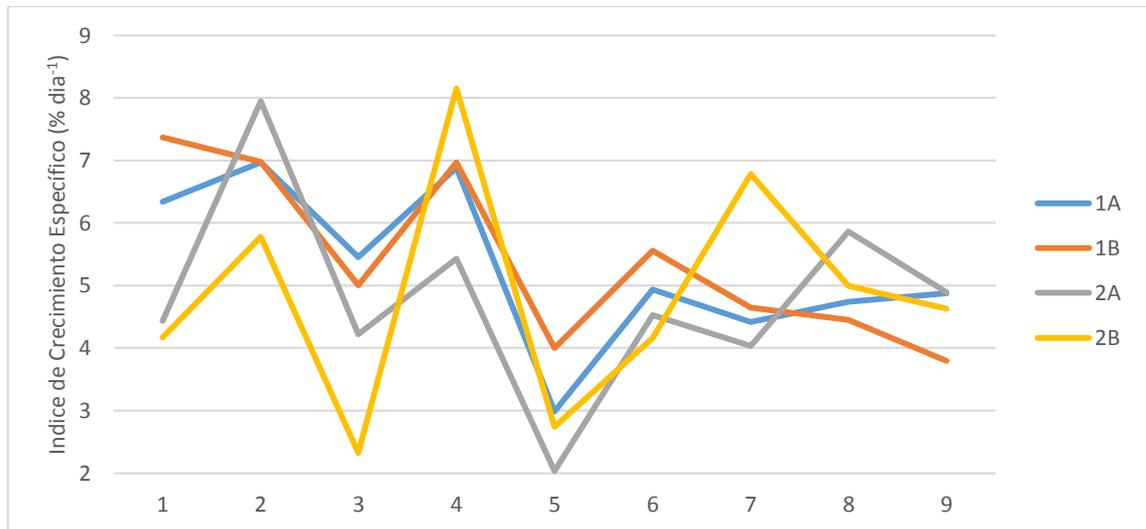


Grafico 2. Índice de crecimiento específico (ICE) para los 1A, 1B, 2A y 2B durante la experimentación

Los mejores rendimientos en relación a la biomasa final se obtuvieron en los tratamientos 1A y 1B (piedra pómez) esto debido a que en estos tratamientos, la calidad del agua fue más estable y la remoción de amonio fue mayor, probablemente ya que la composición porosa de sus sustratos permitió una fácil adhesión de las bacterias responsables de los procesos de desnitrificación; a diferencia de los tratamientos 2A y 2B (piedra de río), en los cuales la naturaleza lisa del sustrato que conformaban estos biofiltros, afecto directamente el grado de adhesión de la biopelícula en los mismos; esto, pese a que, dicho rendimiento fue afectado por los organismos que no lograron aumentar su biomasa al mismo ritmo de los otros; probablemente porque la captación de alimento en su gran parte era conseguida por los organismos de mayor tamaño. Estos resultados son similares a los publicados por Ingle et al. (2003) quienes obtuvieron un crecimiento diario de 1 gr en tilapia

del río Nilo utilizando un filtro de arena, así como Montaña (2007) quien obtuvo crecimiento similar en alevines de trucha arco iris utilizando un biofiltro de grava y carbón activado. Para el tratamiento 1B el crecimiento fue mayor a lo reportado por García et al (2005) utilizando un filtro de grava en un sistema acuapónico. El más bajo rendimiento se evidenció en el tratamiento 2A, en el cual se dio también rendimientos más bajos en relación a la calidad de agua del cultivo.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El tipo de sustrato utilizado en un biofiltro fue un factor gobernante en el éxito de la experimentación. Los sustratos de piedra pómez resultaron ser ideales para la conformación del biofiltro, los cual permitieron una buena calidad de agua en estos sistemas, por ende, un mayor rendimiento y crecimiento en la producción de tilapia.

Los filtros de piedra de rio tuvieron un periodo de maduración tardío en relación a los de piedra pómez, afectando la calidad del agua, por lo cual en estos tratamientos se evidenció menores índices de crecimiento.

Si bien es cierto se pudo identificar que la mayor carga bacteriana total, se presentó en los filtros con piedra de rio, se identificó un morfotipo bacteriano específico en los de piedra pómez; sin embargo debido a la generalidad de los resultados obtenidos, no se puede aseverar que este se trate de un consorcio bacteriano de tipo nitrificante, por lo que resulta imperativo el uso de técnicas moleculares para la identificación específica del tipo de bacteria presente, de esta manera poder concluir si esta está directamente relacionada con los procesos de desnitrificación y por ende con la eficiencia de los filtros en las cuales esta estuvo presente.

Se recomienda para futuras investigaciones, implementar una metodología que permita cuantificar el porcentaje de "biopelícula" presente en cada uno de los

sustratos, así como también realizar un análisis microbiológico "integral", para de esta manera, poder identificar de manera puntual, los tipos y géneros bacterianos presentes en los biofiltros en estudio.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Sánchez, M. A., Centeno, Z., y Karina, Y. (2018). Filtros biológicos para la reducción de amoníaco en sistemas de recirculación de agua de uso acuícola (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Aguilar Añazco, V. M. (2014). Efecto de la salinidad en la tasa de reducción de amonio aplicando zeolitas comerciales (Bachelor's thesis, Machala: Universidad Técnica de Machala).
- Bautista Covarrubias, J. C., Arce, R. V., & de Jesus, J. M. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana.
- Barreto-curiel, F., Durazo, E., Viana, M. T. (2015). Crecimiento, excreción de amonio y consumo de oxígeno de la tilapia híbrida roja (*Oreochromis mossambicus* × *Oreochromis aureus*) cultivada en agua de mar y en agua dulce. *Ciencias Marinas*, 41(3), 247–254.
- Bregnballe, J. (2015). A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO; Eurofish International Organization. 100 p.
- Castillo L, (2001). Tilapia Roja 2001, Una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito doce años después, Cali-Colombia.
- Cantor, F. (2007). Manual de Crianza de Producción de Tilapia. Secretaria de Desarrollo Rural del Estado de Puebla.

- Chávez, C., Z. Mora, J. Cabra, Y. Carmona, S. Revah, G. Gnecco. (2004).
Biofiltración de ácido sulfhídrico (H₂S), utilizando bagazo de caña de
azúcar y piedra pómez como material de soporte. *Ingeniería y
Competitividad* 5: 7-15
- Colt, J., Lamoureux, J., Patterson, R., y Rogers, G. (2006). Reporting standards for
biofilter performance studies. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 377-388,
DOI: 10.1016/j.aquaeng.2005.09.002.
- Cohen, Y. (2001). Biofiltration—the treatment of fluids by microorganisms
immobilized into the filter bedding material: a review. *Bioresource
technology* 77: 257-274.
- Cuéllar-Angel, V. M. (2014). Guía Técnica Patología e Inmunología de Camarones
Peneidos (SEGUNDA EDICIÓN ed.). Panamá: OIRSA.
- Dediu L.; Cristea V.; Xiaoshuan Z. (2012). Waste production and valorization in an
integrated aquaponic system with bester and lettuce. En: *African Journal of
Biotechnology*. Vol. 11, No. 9. Pag: 2349-2358
- Ebeling, J.M.; Timmons, M.B.; Bisogni, J. (2006). Engineering analysis of the
stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal
of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, v.257,
p.346-358
- Gallego-Alarcón, I., y García-Pulido, D. (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal
total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Tecnología y ciencias del
agua*, 8(1), 81-93.

- Galván, L. A., y Osorio, L. A. R. (2013). Procesos, bacterias y arqueobacterias involucrados en el ciclo biológico del nitrógeno para la eliminación de compuestos nitrogenados en ecosistemas de agua dulce, una revisión sistemática. *Hechos Microbiológicos*, 4(1), 34-51.
- García-Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chávez, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Avances en Investigación Agropecuaria. Universidad de Colima*, 9(1), 5.
- Garzón, M., G. Buelna. (2011). Treatment of wastewater from a school in a decentralized filtration system by percolation over organic packing media. *Water Science and Technology*: 1169-1177.
- Grajales Gutiérrez, K. B. (2014). La acuaponía como alternativa del uso de aguas de descargas del sector acuícola (Doctoral dissertation, Instituto en Ciencias Biológicas-Licenciatura en Biología Marina y Manejo Integral de Cuencas-UNICACH).
- Guerdat, C. T., Losordo, M. T., Classena, J. J., Osborn, A. J., y De Longa, P. D. (2010). An evaluation of commercially available biological filters for recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 42(1), 38-49, DOI: 10.1016/j.aquaeng.2009.10.002.
- Hurtado, N. (2005). Tilapia, La alternativa social y económica del tercer milenio. *Revista Aquatic*. Lima- Perú. 127pp. Consultado el 24 de Mayo del 2014. Disponible

- Ingle de la Mora, G., Villareal-Delgado, E. L., Arredondo-Figueroa, J. L., Ponce-Palafox, J. T., y Barriga-Sosa, I. L. (2003). Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica*, 13(4), 247-253.
- Jiménez-Montealegre, R., Verdegem, M. C., Van Dam, A. A., y Verreth, J. A. (2005). Effect of organic nitrogen and carbon mineralization on sediment organic matter accumulation in fish ponds. *Aquaculture research*, 36(10), 1001-1014.
- 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. (2001). Cultivo de Tilapias en sistema de "BIOFLOCOS", sin renovación de agua. *Panorama da Acuicultura*. Traducido y adaptado por Dirección de Acuicultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina.
- Ling, J., & Chen, S. (2005). Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. *Aquacultural Engineering*, 33(2), 150-162, doi:10.1016/j.aquaeng.2004.12.002.
- Liu, H., Che, X., & Zhang, Y., (2013). Performance of sequencing microbead biofilters in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*,

52, 80-86, DOI: 10.1016/j.aquaeng.2012.10.002.

López, F. (2002). Seminario “Cultivo Industrial de Tilapia”. Primera edición. Quito-Ecuador. pp 72.

Luchini, L. (2006). Tilapia: Su Cultivo y Sistemas de Produccion. SAGPyA, Dirección de Acuicultura., Buenos Aires.

Manju, N.J., Deepesh, V., Achuthan, C., Rosamma, P. y Bright, L.S. (2009). Immobilization of nitrifying bacterial consortia on Wood particles for bioaugmenting nitrification in shrimp culture systems. *Aquaculture*, 65-75

Mayer, E. (2012). Control de la calidad del agua de estanques para mejorar la producción de camarones y peces. BIOMIN Holding GmbH. Austria.

Mcgee. M y Cichra. C. (2000). Principles of water recirculation and filtration in aquaculture. Department of Fisheries and Aquatic Sciences. University of Florida

Menasveta, P., Panritdam, T., Sihanonth, P., Powtongsook, S., Chuntape, B., y Lee, P. (2001). Design and function of a closed, recirculating seawater system with denitrification for the culture of black tiger shrimp broodstock. *Aquacultural Engineering*, 25(1), 35-49, DOI: 10.1016/S0144-8609(01)00069-3.

Montaña, C. A. (2009). Crecimiento y sobrevivencia en el levante de alevinos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas cerrados de recirculación de agua.

- Olaya, C. H., Ramírez, E. G., y Hurtado-Giraldo, H. (2016). Estudio preliminar del levante de juveniles de Arawana plateada (*Osteoglossum bicirrhosum*) en sistemas cerrados de recirculación. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 6(1), 96-113.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. FAO.
- Pedersen, F. L., Oosterveld, R., y Pedersen, B. P. (2015). Nitrification performance and robustness of fixed and moving bed biofilters having identical carrier elements. *Aquacultural Engineering*, 65, 37-45, DOI: 10.1016/j.aquaeng.2014.10.005.
- Pfeiffer, J. T., & Malone, F. R. (2006). Nitrification performance of a propeller-washed bead clarifier supporting a fluidized sand biofilter in a recirculating warm water fish system. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 311-321, DOI: 10.1016/j.aquaeng.2005.09.003.
- Piedrahita R. (2006). Sistema de recirculación en la acuicultura. Departamento de Ingeniería Biológica y Agrícola. Universidad de California, Davis.
- Poot-López, G. R., Gasca-Leyva, E., y Olvera-Novoa, M. A. (2012). Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidoscolus chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado. *Latin american journal of aquatic research*, 40(4), 835-846.

- Rodríguez, G., Anzola, E. (2001). La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura: 43-73 (en) Fundamentos de Acuicultura Continental.
- Saavedra, M. A. (2006). Texto de Asignatura Producción Agropecuaria y Acuícola. Carrera Ingeniería Industrial. Managua-Nicaragua.
- Sánchez, R., A. Soares, A. de Matos, G. Sedyama, O. DeSouza, A. Mounter. (2007). Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. *Transactions of the Asabe* 50: 65-71.
- Sandu, I. S., Boardman, D. G., Watten, J. B., y Brazil, L. B. (2002). Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with plastic bead medium. *Aquacultural Engineering*, 26, 41-59, DOI: 10.1016/S0144-8609(02)00003-1.
- Sotomayor Bello C. (2016). Análisis de la dinámica del oxígeno y el amonio en un sistema de recirculación con agua de mar, para el cultivo experimental de peces. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria "LA MOLINA". Lima – Perú.
- Timmons, M. B., Ebeling, M. J., & Piedrahita, H. R. (2009). *Acuicultura en sistemas de recirculación*. Ithaca, USA: Cayuga Aqua Ventures.
- Timmons M.; Ebeling J. (2007). *Recirculating Aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures. Ithaca. New York, USA. Pag: 975.

- Torres, P., J. Rodríguez, I. Uribe. (2003). Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. *Scientia et Technica* 23: 75-80.
- Vigueras J, (2011). Innovación tecnológica para tratamiento de aguas residuales domesticas con biofiltros orgánicos. Tesis Doctoral
- Vigueras, J., I. Villanueva, M. Garzón, J. Návar, I. Chaires, C. Hernández. (2013). Performance of a biofilter system with agave fiber filter media for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology* 68: 599-607
- Watson. C, Hill. J. (2006). Design criteria for recirculating, marine ornamental production systems. University of Florida. *Aquacultural Engineering* 34: 157-162.
- Wu, F., Bao, Y., y Liu, H. (2008). The biological filtering effect of a new suspended type filter substance used in the circulating water culture system. *Fisheries Science & Technology Information*, 35(6), 293-296.
- Zhu, S., y Chen, S. (2001). Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters. *Aquacultural Engineering*, 25(1-11), DOI: 10.1016/S0144-8609(01)00071-1.

12. ANEXOS

12.1 Tabla 5. Registros de control de peso húmedo corporal (g), tratamiento 1A.

TRATAMIENTO 1A										
	INICIA L	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9
1	0,9	0,9	2,1	4,44	13,5	12,9	15,5	31,3	25,6	41,7
2	1	0,9	3,6	4	8,8	9,6	12	10,2	16,3	48
3	1,1	1,1	2,9	3,8	5,1	8,5	9,1	7,5	10,5	35,8
4	1	2,1	2,1	4,1	9,3	5,9	7,3	10,3	12,6	15,5
5	1	0,8	2	3,8	7,2	5,4	6,1	7,2	28	15
6	1,2	1,6	1,2	4,4	5,6	5,6	8	3,9	8,5	48,8
7	0,9	2	2,6	1,6	2,3	5,8	6,59	6	22,8	49,9
8	0,8	1,7	3	2,5	2	9,1	6,8	6,2	25,9	25,9
9	0,9	0,9	2,2	1,6	6,8	9,1	15	3	16,1	33,9
10	1	2,1	5,8	2	6,9	9,6	14,1	3	12,3	15,3
11	1,2	1,9	3	2,5	8,4	6,8	7,6	17,3	13	16,5
12	1	3,2	3	4,6	6,2	2,5	4,5	20,4	15,8	37,4
13	1	1,7	2,7	3,3	4,2	2,4	3,8	10,6	12,7	41,5
14	1	1,4	2,9	3,4	2,7	16	21	6,8	9,4	21,2
15	1	1,2	3,2	1,6	9,4	11,7	19,8	7,1	11,5	34,7
16	1	1,1	2,4	4,5	13,8	8,4	12,6	22,5	11,7	23,4
17	0,9	0,9	1,6	4,2	8,6	10,7	15,1	21,4	13,8	12,8
18	0,8	1	4,4	3	7,8	5	3	13,4	11,1	33,9
19	1,2	2,8	3,4	2,1	7,1	8,2	3	10,3	21,1	39,6
20	1,1	1,3	3,5	1,5	3	10,7	15,9	8,3	36,8	45,1
21	1	1,7	1,6	1,7	3	6,2	10,1	5,6	15,7	19,1
22	1	2,5	2,8	6,2	8,2	7,2	8,9	15,6	19,7	20,5
23	1	1,6	2,4	5	7,2	5,9	9	14,2	27,8	52,4
24	1	1,3	2,4	4,9	1,9	9,9	15,6 9	22,3	23,5	28,5
25	0,9	1,6	4	4,5	5,3	16,3	20	18	19,7	41,9
26	0,9	1,4	3	5,5	6,7	9	14,1	14,2	17,1	12,6
27	0,8	1	5,4	3,8	6	4,5	6,58	11,6	19,7	15,2
28	0,9	1	5,2	6,1	12,4	4,1	9,58	14,2	20,6	27,7
29	1	1	4,5	3,7	3,3	4,7	5,67	20,4	14,9	8,9
30	1	1,2	2,8	1,9	5,2	5,1	8,75	22,5	10,5	28,9
31	0,9	1	2,3	1,5	3	4,9	6,87	15,1	37,5	27

32	0,9	1	1,2	8,3	3	7	6,2	9,4	27	43,4
33	1,1	1,2	2,5	4,5	6,5	7,1	10	19,4	30,1	43,1
34	1	3,2	1,2	4,6	5,7	4,4	10,5	21,2	27,9	40
35	1,2	1,9	1,5	1,5	9,7	12,9	16,8	16,1	24,6	17,7
36	1,2	1,8	1,2	7,8	7	11,6	14,7	7	25,9	10,8
37	1	1,3	1,2	5	7,2	8,9	15,1	5	28	23,1
38	1,2	1,8	1,2	4	6,7	7,4	6,58	32	24,9	25,6
39	1	1,1	1	5	4,1	6	17,7	21,5	26,7	29,2
40	1	1,4	1,2	3,4	3	5,9	11,5	24,6	21,6	14,1
41	1	2,1	1,2	2,4	4,8	6,4	5	22,4	12,5	20,6
42	0,8	2,4	1,4	3	3	2	5,6	19,1	26,9	20,3
43	0,8	1,8	1,2	3,6	1,8	2,1	6,89	20,1	18,9	15
44	0,9	1	1,2	2	2	4	8	10,8	15,8	9,4
45	0,9	1,3	1,5	2,3	1,9	2	8,7	5	10,5	12
BIOMAS A TOTAL	44,4	69,2	112, 7	165,1 4	267,3	329, 4	465, 3	634	883, 5	1242, 9
Promedio	0,99	1,54	2,50	3,67	5,94	7,32	10,3 4	14,0 9	19,6 3	27,62
D. estandar	0,11	0,60	1,23	1,62	3,06	3,44	4,80	7,47	7,41	12,70
Dosis alimento (diario)	6,66	10,3 8	16,9 1	16,51	21,38	26,3 5	37,2 2	50,7 2	70,6 8	99,43
Ganancia semanal		24,8	43,5	52,44	102,1 6	62,1	135, 9	168, 7	249, 5	359,4
TCA		0,53	0,60	0,44	0,88	0,41	0,74	0,65	0,70	0,73
Crecimien to diario		0,08	0,14	0,17	0,32	0,20	0,43	0,54	0,79	1,14

12.2. Tabla 6. Registros de control de peso húmedo corporal (g), tratamiento 1B.

TRATAMIENTO 1B										
	INICIA L	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9
1	1,2	1,7	5,5	5	13,3	6,4	3,4	21,6	20,5	66,9
2	1	1,5	3,1	5,1	6,7	11,2	5	15,9	36,1	64
3	1	1,9	3	4,1	8,5	13,2	4,8	10,8	14,5	24,4
4	1	1,5	2,4	3	5,8	8,5	5,6	11,6	14,5	44,6
5	1	1	2,4	3,6	6,6	11,4	4,6	6,2	11,3	18,3
6	1	1,1	6,2	2,1	9,4	12,1	5,2	7,5	12,3	20,5
7	1	1,6	4,9	2	5,5	6	6,1	32,9	13,6	12,7
8	1	2,6	4,6	2,1	3,1	6,1	5	17,6	39	14,2
9	1,1	1,3	3,2	1,7	5,8	10,1	6,3	23,9	23,7	47,1
10	1,3	2,3	2,3	1,6	2,8	7,6	4,5	6,5	30	34
11	1	1,9	3,5	9,9	2,6	6	6,3	6,1	12,6	24
12	1	1,8	4,7	4,7	10,6	4,2	6	25,1	12,2	14
13	1	1,1	3,4	3,7	13,6	18,7	6,5	20,2	31,2	16,8
14	0,9	2,4	1,6	4,5	3,6	17,1	7	21	26,3	10,6
15	0,8	1,4	1,1	5,5	6,7	4,5	8	6,1	27,1	53
16	0,8	1,5	3,1	2,6	5,3	4,6	6,8	6,1	12,2	39
17	0,8	1,3	2,2	2,6	3	4,5	7,3	25,1	12,2	52,6
18	0,9	1,1	2,5	8,7	4,1	5	7,7	14,4	31,2	23,2
19	0,9	2,6	1,6	6,6	4	15	8	30	12,4	57,8
20	0,9	1,1	1,7	4,7	3,6	9,4	8,9	8,4	18,3	46,9
21	1	1,2	2	3,6	2,6	7,1	8,5	8,4	19,4	23,1
22	1	1,1	1,8	2,6	2,4	4,1	10	5,2	27,7	12,2
23	1	1,3	1,9	2,6	8,5	5,4	9,5	6,3	22	12,5
24	1	1,9	2,1	2,8	8	3,1	11,1	12,2	16,9	42,7
25	1	3	2	1,9	5,6	17,7	10,5	13,3	17,7	20,8
26	0,9	3,1	1,7	3,2	8,3	14,9	11	13,1	19,2	25,8
27	1	3,6	1,6	7,5	4,9	10,3	10	6,1	17,8	12,8
28	0,9	3	1,2	3,1	12,8	6,1	13,4	7	28,9	43,9
29	1	2,5	1,4	2,4	10,5	4,6	14	11,2	18,4	26,9
30	1,2	2,1	5,2	2,4	5,2	4,1	15,8	8,6	24,5	26
31	1	2	4	2,4	3	15,9	16	10,6	17,3	15,8
32	0,9	1,5	4,1	2,5	14,8	17	14	10,5	14,7	15,1
33	1,1	1	2,5	4,6	7,8	10,9	14,6	36,4	16,7	36,3
34	1	1,2	2,3	7	12,3	7,2	15,1	32,1	16,6	25,6
35	1	1	2,1	6,7	7	8,9	18,1	32,9	42,5	16,4

36	1	1,2	1,7	5,5	6	9	17,1	30	38,2	22,2
37	0,9	1	1,6	3,3	5,5	3,6	18,9	35,9	30,7	12,4
38	1,2	1,2	1,9	4,1	3	3,6	20	32,6	21,7	41
39	0,9	1,4	2,1	2,4	3,3	7,5	20,1	22,8	21,8	55,2
40	0,8	1,5	2,8	1,6	3,3	9,1	23,1	12,3	36,1	39,5
41	0,8	1,2	3,4	1,7	3,5	5	24,6	18,4	42	26,1
42	1	1	1,8	1,6	4	3	25	11,7	38,7	4,3
43	0,9	1	1,8	1,5	2,3	3,6	23,9	24,6	39	10,3
44	0,9	1	2,1	2,1	3,5	1,2	26,7	15,6	12,2	34,7
45	1	1	2	7,6	5	2,9	28	15,7	13,1	51
BIOMAS A TOTAL	44,0	73,7	120,1	170,5	277,7	367,4	542,0	750,5	1025,0	1337,2
Promedio	0,98	1,64	2,67	3,79	6,17	8,16	12,04	16,68	22,78	29,72
D. estandar	0,11	0,68	1,23	2,08	3,38	4,61	6,93	9,57	9,57	16,36
Dosis alimento (diario)	6,6	11,055	18,015	17,05	22,216	29,392	43,36	60,04	82	106,976
Ganancia semanal		29,7	46,4	50,4	107,2	89,7	174,6	208,5	274,5	312,2
TCA		0,64	0,60	0,40	0,90	0,58	0,85	0,69	0,65	0,54
Crecimiento diario		0,09	0,15	0,16	0,34	0,28	0,55	0,66	0,87	0,99

12.3. Tabla 7. Registros de control de peso húmedo corporal (g), tratamiento 2A.

TRATAMIENTO 2A										
	INICIA L	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9
1	1	2,4	3,9	6	9	10,9	2,5	16,2	8,9	33,8
2	0,8	2,4	3,3	5,7	7,3	7,3	2,4	13,4	28,5	24,4
3	0,8	2	2,9	2,4	8,2	9,5	2,1	14,2	20,6	29,9
4	0,8	1,2	2	2,8	4,7	7,9	2,6	7,2	20,6	24,6
5	0,8	1,9	3,5	4,3	3,5	6,4	2,7	3,9	9,9	35,3
6	0,9	2	2,7	3,1	4,1	8,6	3	17	25,8	33,5
7	0,9	2	3,5	4,3	3,7	9,3	2,8	13,1	18,8	26,6
8	0,9	2,1	2,2	5,6	2,1	8	3,1	9,5	14,4	33,6
9	0,9	1,3	2	6,8	2	8,3	2,5	4	21,1	15,5
10	1,2	1	2,3	3,3	9,4	8	2,9	23,6	18,3	5,8

11	1,3	1	1,8	2,4	5,4	10,3	3	15,7	19,1	54,8
12	1	1	2	2,9	8,1	4,2	2,9	15,7	12,1	40
13	1	1,9	2,1	4,9	6,5	12	3,5	5	8,8	24
14	1	1	2,3	2,9	6,4	11,5	3,4	20,9	8,9	9
15	1,2	1,6	1,6	2,7	6,1	6	4,1	13,9	9,9	37,3
16	1,2	2,1	1,9	5,1	3,6	4,2	3,8	5,1	8,9	34,8
17	1	2	1,2	1,8	4	6,1	3,4	16,9	7,9	10
18	1	1	1,6	5,6	2,2	4,5	4,1	17	9,4	5
19	1	1	1,9	4	2,2	4	4,5	13,5	10	10,5
20	1	1	1,5	3,9	8,2	8,1	4,3	7,5	7,9	22,7
21	0,8	1	3,8	3,6	7,6	4,1	4,4	4,4	10	31,6
22	0,9	1,6	3,5	3,3	2	8,1	5,6	19,4	21,8	28,6
23	1,2	1	3	4,7	2,1	3,4	6,1	15,8	21,9	30,9
24	0,8	1	3,7	4,4	2,3	2,9	5,5	20,7	18,4	24,4
25	1,2	1,2	1,7	3,6	7,2	7,2	7,1	12,3	12,4	18,8
26	1	1	3	5	6,4	6	6,6	4	21,9	12,2
27	1	1,4	1,7	1,6	6,6	3	8,1	5	18	34,3
28	1	1	2,7	1,5	3,6	3	7,7	4	13,2	15
29	0,9	1	4,3	2,2	5	4,6	10	3	9,1	11,4
30	0,9	1	2,2	2,2	2,5	5,2	9,9	4,5	8,5	10,8
31	0,9	1	2	2,4	2,5	5	11	5,1	9	10,7
32	0,9	1	1,7	1,5	2,5	2,3	10,5	3	7,9	12,2
33	1	1,2	2,4	1,3	7,2	2,3	11,4	3	8,1	11,1
34	1	1,5	2,5	1,3	5,6	2,5	10	16,6	9,9	26,5
35	1,2	1	2,7	1,5	4	2,1	12,8	9,4	11	40,4
36	1	1,5	3	1,5	2,5	2,8	11,6	8,2	7,9	7,8
37	1	1	2,7	1,6	4,6	1,9	13,1	8,3	21,5	13
38	1,2	1	2,1	1,7	4,6	2	10,5	4,2	14,3	12,6
39	0,8	1	1,7	1,8	2	2,1	14	5,1	13,1	5,1
40	0,9	1,2	1,6	1,5	1,8	2	13,1	3,6	10	8,4
41	1	1,1	1,4	1,5	2	2,1	13,8	4,1	9,3	8
42	0,9	1,1	1,3	1,5	3,5	2	15,3	3	24,3	7,1
43	1	0,9	1,2	1,6	3,9	2,4	14,8	3,2	20,7	5,3
44	1	1,2	1,5	3,1	4,1	2,4	15	5	25,6	10,1
45	1	1,5	1,6	5	4	2	15,9	6,1	17,2	15
BIOMAS A TOTAL	44,2	60,3	105, 2	141, 4	206,8	238, 5	327,4	434,3	654,8	922,4
Promedio	0,98	1,34	2,34	3,14	4,60	5,30	7,28	9,65	14,55	20,50
D. estándar	0,13	0,44	0,80	1,54	2,22	3,02	4,51	6,11	6,11	12,26

Dosis alimento (diario)	6,63	9,045	15,78	14,14	16,544	19,08	26,192	34,744	52,384	73,792
Ganancia semanal		16,1	44,9	36,2	65,4	31,7	88,9	106,9	220,5	267,6
TCA		0,35	0,71	0,33	0,66	0,27	0,67	0,58	0,91	0,73
Crecimiento diario		0,05	0,14	0,11	0,21	0,10	0,28	0,34	0,70	0,85

12.4 Tabla 8. Registros de control de peso húmedo corporal (g), tratamiento 2B.

TRATAMIENTO 2B										
	INICIAL	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9
1	1,2	1,4	2,4	3,7	2	4,8	2	20,2	6,8	32,5
2	1,2	1,2	2,1	3,2	2,9	3,3	2,1	18,6	7,1	21,8
3	1,3	1,5	2,3	2,8	2,6	6,8	2	9,1	7,5	18,4
4	1,2	2,3	2,8	4,9	4,7	7,1	2,5	9,1	7,5	6,4
5	1,2	1,3	2,5	2,4	5,1	5,6	2,2	9,3	8	6,5
6	1,2	1,1	2	2,4	3	7,7	3,1	14,5	8,5	38,3
7	0,9	1,2	1,6	3,2	5	3,6	2,9	17,1	9,4	27,3
8	0,8	1,4	1,2	1,8	4	9,6	3,5	14,9	9,5	24,9
9	0,8	2,5	1,4	1,5	5,4	7,1	4	12,3	10,4	25,4
10	0,8	1,4	1,6	1,5	6,1	6,4	5,1	8,1	11,3	13,6
11	0,8	1,7	1,6	3,1	3,7	2,3	4,4	8,4	11,5	16,2
12	0,8	1,5	2	2,8	5,9	2,3	3,9	8,2	12,1	16,8
13	0,8	1	2,3	2,8	5,3	7,6	4,5	2,3	12,1	4,1
14	0,8	1	2,5	3,5	2,6	11	5	2,6	12,5	4,1
15	0,8	1,1	1,4	4,7	5,2	4,6	4,4	17,7	12,6	32,9
16	0,8	1,2	1,6	3,1	2,7	2,4	5,2	13,8	12,7	21,5
17	1	1	1,5	2,3	2,2	3,4	6,1	12,8	12,8	23,3
18	1	1,1	4	5,6	2,6	13,1	4,9	15,6	12,9	13,8
19	1	1,9	2,4	3,4	2	5,8	5,6	7,6	13,3	18,1
20	1	1	2,2	1,6	3,6	6,8	5,5	8	13,6	19,1
21	0,9	1,2	3	3	4	4	7,1	11,9	13,6	22,3
22	0,9	1	3,2	3,1	2	6,6	5,9	5,9	13,8	31
23	0,8	1	2,3	2,5	5,8	7,5	5,6	16,2	15	20,7
24	0,8	1,4	1,1	1,2	8,9	5,1	6,1	10,6	15,1	28,5

25	0,8	1,3	2,5	1,4	9,7	4,1	6,58	14,6	15,9	16
26	0,8	1,2	2,1	1,5	4,6	4,3	7	11,4	16	6,4
27	0,9	1,6	1,7	1,6	5	7,7	5,6	11,9	16,4	33,1
28	1,2	1,4	1,8	2,4	7,5	6,3	6,6	7	16,4	21,6
29	1,2	1	3,5	2,4	5,9	5,2	7,1	22,5	16,8	11,9
30	1,2	1,5	2,6	2,4	4,7	5,5	8,2	16,5	17,3	34,2
31	1,2	1,2	4,5	1,2	4	5,6	7,8	11,5	18,3	32,3
32	1,2	1,3	2,1	2,1	3,5	4,2	10	6,8	19	36,2
33	1,2	1,7	2,3	1,6	4,5	5,5	10	16,4	19,1	28,8
34	1,2	1,1	1,5	1,5	5,4	3,2	1,1	17,2	19,4	34,2
35	1,2	1	1,4	1,7	6	6,2	7,5	4,9	19,5	30,9
36	1,2	1,2	1,5	1,2	3,3	5,2	10	15	20,1	22,8
37	0,9	1,6	1,1	1,5	3,4	2	12	7,6	20,7	18
38	0,9	1	1,2	1,3	2,2	1,3	11,1	8,8	20,9	8
39	0,9	1	1,5	1,5	2,1	1,5	9,8	10,5	21	38,2
40	0,9	1,3	1,5	1,4	2	2,1	9,5	3	21,6	21,1
41	0,9	1,6	1,1	2	1,8	1,6	10	3	21,7	28,4
42	1	1,4	1,1	1,6	2,4	2	12,5	3,5	22,2	8,5
43	0,9	1,6	1,1	1,5	2,5	2,1	15	4	23,1	12,9
44	1	1,2	1,1	1,6	3	2,6	14,4	5	24,7	3,3
45	1	1	1,1	1,6	5,1	2,5	15,9	8,3	27	15
BIOMAS A TOTAL	44,5	59,6	89,3	105, 1	185,9	225,2	301,2 8	484,2	686,7	949,3
Promedio	0,99	1,32	1,98	2,34	4,13	5,00	6,70	10,76	15,26	21,10
D. estandar	0,17	0,33	0,79	1,04	1,83	2,59	3,63	5,14	5,14	10,01
Dosis alimento (diario)	6,675	8,94	13,39 5	10,5 1	14,87 2	18,01 6	24,10 24	38,73 6	54,93 6	75,94 4
Ganancia semanal		15,1	29,7	15,8	80,8	39,3	76,08	182,9 2	202,5	262,6
TCA		0,24	0,32	0,21	0,78	0,31	0,45	0,67	0,53	0,49
Crecimie nto diario		0,05	0,09	0,05	0,26	0,12	0,24	0,58	0,64	0,83

12.5 Tabla 9. Registro de control de parámetros físico –químicos, tratamiento 1A.

Control Diario de Parámetros Físico - químicos							
Responsable	Luis Esteban Marín Minga		Mes	Oct - Dic		Docente Tutor	Blga. Jodie Darquea
Organismo de cultivo	<i>Oreochromis</i> spp.		TRATAMIENTO			1A (Piedra pómez 15cm2)	
Día	OD mg/L	Temperatura (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Observaciones
07-oct	5,75	25,7	7,89	2	0	0	RECAMBIO 10%
08-oct	5,82	26,1	7,65				
09-oct	5,8	25,8	7,88				
10-oct	5,65	25,7	7,71	2	0	0	RECAMBIO 10%
11-oct	5,71	25,9	7,89				
12-oct	6,01	26	7,85				
13-oct	5,66	25,7	7,81	2	0	0	RECAMBIO 10%
14-oct	5,78	25,7	7,66				
15-oct	5,71	26	7,84				
16-oct	5,78	25,8	7,63	2	1	5	RECAMBIO 10%
17-oct	5,71	25,8	7,77				
18-oct	5,66	26,1	7,91				
19-oct	5,77	25,9	7,89	1	1	5	
20-oct	5,61	25,6	7,61				
21-oct	5,46	25,3	7,77				
22-oct	5,77	25,6	7,91	0,5	0,5	5	
23-oct	5,25	25,4	7,65				
24-oct	5,66	25,8	7,2				
25-oct	5,76	25,4	7,65	0,5	0,5	5	
26-oct	5,67	2,5	7,66				
27-oct	5,77	25,4	7,89				
28-oct	5,61	25,3	7,64	0,25	0,5	10	
29-oct	6,01	26,1	7,45				
30-oct	5,78	26,3	7,34				
31-oct	5,88	25,4	7,77	0,25	0,5	10	
01-nov	5,77	26,3	7,65				
02-nov	5,81	26,1	7,77				

03-nov	5,66	27,4	7,89	0,5	0,5	10	
04-nov	6,01	27,4	7,51				
05-nov	5,56	27,4	7,51				
06-nov	6,1	27	7,5	0,5	0,5	10	
07-nov	5,8	27,1	7,63				
08-nov	5,9	26,6	7,44				
09-nov	5,8	26,7	7,25	0,5	0,5	10	
10-nov	6,3	27,5	7,56				
11-nov	6	27,5	7,77				
12-nov	6	27	7,57	0,5	0,5	10	
13-nov	6	26,6	7,63				
14-nov	5,8	27,1	7,45				
15-nov	5,9	26,5	7,25	0,5	0,5	10	
16-nov	5,1	26,3	7,12				
17-nov	6,2	26	7,15				
18-nov	5,7	26,4	7,1	0,25	0	10	
19-nov	6,3	26,4	7,25				
20-nov	5,7	26,1	7,22				
21-nov	5,55	26,4	7,15	0,25	0	10	
22-nov	6,12	24,5	7,23				
23-nov	5,89	26,1	7,14				
24-nov	6,1	25,5	7,21	0,25	0	10	
25-nov	6,4	26,1	7,14				
26-nov	5,5	26,2	7,26				
27-nov	6,7	25,7	7,05	0,25	0	10	
28-nov	6,1	25	7,12				
29-nov	5,3	27,8	7,05				
30-nov	5,8	27,1	7,11	0,25	0	10	
01-dic	5,8	28,3	7,05				
02-dic	6,1	28,1	7,11				
03-dic	5,77	28	7,22	0,25	0	10	
04-dic	5,67	27,9	7,18				
05-dic	5,86	27,8	7,14				
06-dic	5,88	28,1	7,24	0,25	0	10	
07-dic	5,61	28	7,13				
08-dic	5,77	28,2	7,05				
09-dic	6,1	28	7,11	0,25	0	10	
10-dic	5,67	28	7,12				
11-dic	5,65	28	7,07				
12-dic	5,66	28,3	7,01	0,25	0	10	
13-dic	5,71	28,1	7				

14-dic	5,14	28	7,01				
--------	------	----	------	--	--	--	--

12.6 Tabla 10. Registro de control de parámetros físico –químicos, tratamiento 1B.

Control Diario de Parámetros Físico - químicos							
Responsable	Luis Esteban Marín Minga		Mes :	Oct- Dic	Docente Tutor	Blga. Jodie Darquea	
Organismo de cultivo	<i>Oreochromis</i> spp.		TRATAMIENTO		1B (Piedra pómez 25cm ²)		
Día	OD mg/L	Temperatura (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Observaciones
07-oct	6,01	26,1	7,55	2	0	0	RECAMBIO 10%
08-oct	5,76	26,1	7,77				
09-oct	5,55	25,7	7,64				
10-oct	5,78	25,5	7,81	2	0	0	RECAMBIO 10%
11-oct	5,64	25,8	7,65				
12-oct	5,66	25,5	7,88				
13-oct	5,89	25,8	7,71	2	0	0	RECAMBIO 10%
14-oct	6	25,9	7,94				
15-oct	5,81	25,7	7,81				
16-oct	5,77	26	7,77	2	1	0	RECAMBIO 10%
17-oct	5,81	26,1	7,93				
18-oct	5,95	25,9	7,76				
19-oct	6,01	25,6	7,91	1	1	5	RECAMBIO 20%

20-oct	5,7 6	25,4	7,88				
21-oct	5,7 7	25,5	7,81				
22-oct	5,8 1	25,1	7,91	0,5	1	10	
23-oct	5,4 5	25,4	7,66				
24-oct	5,6 6	25,6	7,51				
25-oct	5,7 6	25,4	7,77	0,25	1	10	
26-oct	5,4 5	25,4	7,56				
27-oct	5,4 4	25,6	7,85				
28-oct	5,6 5	25,3	7,77	0,25	1	10	
29-oct	6,0 1	26,4	7,56				
30-oct	6,3 3	26,3	7,33				
31-oct	6,1 2	26,5	7,44	0,25	0,5	10	
01-nov	6,1 2	27,1	7,65				
02-nov	5,9 9	27,6	7,45				
03-nov	6,3 3	27,4	7,33	0,5	0,5	5	
04-nov	6,0 1	27,8	7,31				
05-nov	5,6 9	27,5	7,44				
06-nov	5,5 5	27,3	7,51	0,25	0	5	
07-nov	5,6 7	27,3	7,77				
08-nov	6,2 5	27,5	7,36				
09-nov	5,5 8	27,4	7,51	0,25	0	5	

10-nov	5,3 4	27,5	7,45				
11-nov	5,3 6	27,3	7,2				
12-nov	5,5 9	27,4	7,56	0,25	0	5	
13-nov	6,0 1	28,1	7,55				
14-nov	5,7 8	27,5	7,47				
15-nov	5,7 7	27,6	7,25	0,25	0	5	
16-nov	5,6 7	27,5	7,63				
17-nov	5,6 6	27,6	7,5				
18-nov	5,7 8	28,1	7,44	0,25	0,25	10	
19-nov	5,8 1	28	7,25				
20-nov	6,0 1	28	7,47				
21-nov	6,0 2	28	7,63	0,25	0,25	10	
22-nov	6	27,3	7,77				
23-nov	6	27,6	7,59				
24-nov	6	27,4	7,5	0,25	0	10	
25-nov	5,8 9	27	7,77				
26-nov	5,7 7	27,1	7,25				
27-nov	5,3 3	27	7,1	0,25	0	10	
28-nov	5,6 8	27	7,25				
29-nov	5,7 8	27,3	7,22				
30-nov	5,8 4	27,5	7,19	0,25	0	10	
01-dic	5,8 8	27,1	7,23				
02-dic	5,6 9	28	7,17				

03-dic	5,7 4	28,1	7,02	0,25	0	10	
04-dic	5,6 5	28	7,04				
05-dic	5,4 7	28	7,11				
06-dic	5,6 1	28	7,16	0,25	0	10	
07-dic	5,5 5	28	7,17				
08-dic	5,6 6	28,1	7,11				
09-dic	5,8 9	28	7,05	0,25	0	10	
10-dic	6	27,9	7				
11-dic	5,8 1	27,6	7				
12-dic	5,3 3	28,2	7,05	0,25	0	10	
13-dic	5,6 8	28	7,05				
14-dic	5,7 8	28	7,11				

12.7 Tabla 11. Registro de control de parámetros físico –químicos, tratamiento 2A.

Control Diario de Parámetros Físico - químicos							
Responsable	Luis Esteban Marín Minga		Mes:	Oct - Dic	Docente Tutor	Blga. Jodie Darquea	
Organismo de cultivo	<i>Oreochromis</i> spp.		TRATAMIENTO		2A (Piedra de río 15cm2)		
Día	OD mg/L	Temperatura (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Observaciones
07-oct	5,7 7	25,3	8,01	2	0	0	RECAMBIO 10%
08-oct	6,0 1	25,1	8				
09-oct	5,8 5	25,2	7,99				

10-oct	5,6 6	26,1	8,15	2	0	0	RECAMBIO 10%
11-oct	5,6 1	25,6	8				
12-oct	5,8 4	25,1	7,65				
13-oct	5,4 4	25,7	7,98	2	0	0	RECAMBIO 10%
14-oct	5,7 1	25,9	8				
15-oct	5,6 2	25,1	8				
16-oct	5,8 1	25,8	7,55	2	0	0	RECAMBIO 10%
17-oct	5,6 6	25,7	8,22				
18-oct	5,7 8	25,4	7,66				
19-oct	5,4 6	25	7,66	2	0	0	RECAMBIO 10%
20-oct	5,5 5	25,3	7,84				
21-oct	5,7 1	25,4	7,61				
22-oct	5,7 5	25,4	7,84	2	0	0	RECAMBIO 10%
23-oct	5,6 4	25,3	7,77				
24-oct	5,8 4	25,5	7,64				
25-oct	5,6 6	25,2	7,81	2	0	0	RECAMBIO 10%
26-oct	5,7 5	25,3	7,77				
27-oct	5,5 5	25,2	7,65				
28-oct	5,4 1	25,5	7,84	4	0,25	5	RECAMBIO 30%
29-oct	6,0 1	26,5	7,66				
30-oct	5,8 8	27,1	7,34				

31-oct	6,2 2	27,1	7,56	2	0,5	10	RECAMBIO 30%
01-nov	5,7 7	27,3	7,44				
02-nov	5,9 8	28,1	7,71				
03-nov	6,0 1	27,4	7,43	0,5	0,5	5	
04-nov	6,1 1	27,3	7,61				
05-nov	5,8 8	27,3	7,56				
06-nov	6,0 1	27,5	7,77	0,25	0,5	10	
07-nov	6,2 5	27,3	7,69				
08-nov	6	27,4	7,48				
09-nov	5,7 8	27,3	7,77	0,25	0,5	10	
10-nov	5,2 6	27,5	7,63				
11-nov	5,5 8	27,6	7,44				
12-nov	5,7 7	27,5	7,58	0,25	0,5	10	
13-nov	6	27,5	7,63				
14-nov	6	27,5	7,77				
15-nov	5,5 5	27,5	7,58	0,25	0,5	10	
16-nov	5,4 7	27,5	7,45				
17-nov	5,7 7	27,5	7,69				
18-nov	5,8 9	27,5	7,57	0,25	0,5	10	
19-nov	5,6 1	27,5	7,63				
20-nov	5,5 5	27,5	7,77				
21-nov	5,3 6	27,5	7,63	0,25	0,5	10	
22-nov	5,7 4	27,4	7,45				

23-nov	5,6 6	27,6	7,58				
24-nov	5,3 6	27,4	7,63	0,25	0,5	10	
25-nov	5,5 8	27,5	7,33				
26-nov	5,7 4	27	7,41				
27-nov	5,7 7	28	7,44	0,25	0,5	10	
28-nov	5,6 9	28	7,25				
29-nov	5,6 1	28	7,63				
30-nov	5,4 8	28,1	7,44	0,25	0,5	10	
01-dic	6	28	7,12				
02-dic	5,7 4	27,9	7,22				
03-dic	5,7 7	28,1	7,15	0,25	0,5	10	
04-dic	5,6 9	28	7,23				
05-dic	5,5 5	28,2	7,24				
06-dic	5,7 8	28,1	7,15	0,25	0,5	10	
07-dic	5,7 7	27,8	7,21				
08-dic	5,8 1	27,9	7,15				
09-dic	6	28	7,25	0,25	0,5	10	
10-dic	6	28	7,14				
11-dic	6	28	7,11				
12-dic	6,0 1	28,1	7,23	0,25	0,5	10	
13-dic	5,7 7	28,2	7,34				
14-dic	5,8 1	28,1	7,22				

12.8 Tabla 12. Registro de control de parámetros físico –químicos, tratamiento 2B.

Control Diario de Parámetros Físico - químicos							
Responsable	Luis Esteban Marín Minga		Mes :	Oct - Dic	Docente Tutor	Blga. Jodie Darquea	
Organismo de cultivo	Oreochromis spp.		TRATAMIENTO	2B (Piedra de río 25cm2)			
Día	OD mg/L	Temperatura (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Observaciones
07-oct	5,44	26,1	7,01	2	0	0	RECAMBIO 10%
08-oct	5,76	25,3	8,33				
09-oct	5,88	25,6	7,67				
10-oct	5,45	25,4	7,77	2	0	0	RECAMBIO 10%
11-oct	5,33	25,7	7,54				
12-oct	5,12	25,1	7,89				
13-oct	5,63	25,1	8,01	2	0	0	RECAMBIO 10%
14-oct	5,34	25,8	7,56				
15-oct	5,72	26	7,54				
16-oct	5,88	25,7	7,98	2	0	0	RECAMBIO 10%
17-oct	5,33	25,4	7,77				
18-oct	6,01	25,3	7,91				
19-oct	5,77	25,4	7,88	2	0	0	RECAMBIO 10%
20-oct	5,45	25,1	7,66				
21-oct	5,66	25,4	7,56				

22-oct	5,7 5	25,5	7,76	1	0	0	RECAMBIO 10%
23-oct	5,4 6	25,4	7,84				
24-oct	5,7 7	25,4	7,61				
25-oct	5,8 1	25,3	7,77	1	0,5	10	
26-oct	5,5 5	25,1	7,85				
27-oct	5,4	25,2	7,62				
28-oct	5,4 1	25,4	7,56	0,5	1	10	
29-oct	5,7 7	25,8	7,56				
30-oct	5,6 8	25,9	7,31				
31-oct	5,6 3	26,1	7,45	0,5	0,5	10	
01-nov	5,9 6	27,3	7,44				
02-nov	6,0 2	27,4	7,67				
03-nov	6	28	7,77	0,25	0,5	5	
04-nov	5,7 7	28,1	7,39				
05-nov	5,5 8	27,5	7,47				
06-nov	5,6 3	27,3	7,25	0,25	0,5	5	
07-nov	5,6 7	27,1	7,63				
08-nov	5,7	27,3	7,5				
09-nov	5,8 1	27,3	7,44	0,25	0,5	5	
10-nov	5,8 4	27,5	7,25				
11-nov	5,9 6	27	7,47				
12-nov	5,7 4	27,4	7,45	0,25	0,5	5	
13-nov	5,7 7	27,3	7,58				

14-nov	5,6 3	27,1	7,63				
15-nov	6	27,4	7,33	0,25	0,5	5	
16-nov	5,7 4	27,3	7,41				
17-nov	5,5 8	27,5	7,44				
18-nov	5,7 7	27	7,25	0,5	0,25	10	
19-nov	5,6 9	27	7,63				
20-nov	5,7 4	27,5	7,25				
21-nov	5,6 3	27,4	7,56	0,5	0,25	10	
22-nov	5,7 7	27,6	7,77				
23-nov	5,4 5	27,5	7,57				
24-nov	5,4 5	27,4	7,63	0,5	0,25	10	
25-nov	5,7 7	27,5	7,45				
26-nov	5,3 6	27,6	7,25				
27-nov	5,7 8	27,6	7,12	0,5	0,25	10	
28-nov	5,4 5	28,1	7,15				
29-nov	5,5 5	28	7,1				
30-nov	5,6 1	28	7,25	0,5	0,25	10	
01-dic	5,6 6	28	7,36				
02-dic	5,7 4	28	7,15				
03-dic	5,6 3	28,1	7,11	0,5	0,25	10	
04-dic	5,5 5	27,6	7,2				
05-dic	5,7 4	27,6	7,23				

06-dic	5,7 7	27,5	7,17	0,5	0,25	10	
07-dic	5,7 1	27,4	7,23				
08-dic	5,6 6	28	7,33				
09-dic	5,7 8	28	7,25	0,25	0,25	10	
10-dic	5,4 5	27,9	7,17				
11-dic	5,5 5	27,8	7,33				
12-dic	5,6 7	28	7,45	0,25	0,25	10	
13-dic	5,6 2	28,1	7,34				
14-dic	5,7 7	28	7,44				

12.9 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

12.9.1 Biomasa

Se empezó tomando los datos correspondientes de biomasa a la cosecha (9 semanas), para ver si existen diferencias significativas entre tratamientos a través de un ANOVA. Para lo cual, debemos verificar si los datos en cuestión son normales (Test de Shapiro-Wilk) y poseen varianzas homogéneas (Test de Bartlett).

A continuación, se detallan los resultados del test de Shapiro-Wilk y Bartlett

Shapiro-Wilk normality test

\$`1A`

W = 0.93976, p-value = **0.02108**

\$`1B`

W = 0.93158, p-value = **0.01067**

\$`2A`

W = 0.91499, p-value = **0.002871**

\$`2B`

W = 0.96356, p-value = 0.1668

Del test de Shapiro-Wilk se puede observar que solo el tratamiento 2B es normal (p-value > 0.05), pero en un análisis ANOVA, esto no presenta una limitante.

Bartlett test of homogeneity of variances

data: BIO_9 and TRAT

Bartlett's K-squared = 10.763, df = 3, p-value = **0.01308**

La biomasa a la cosecha no presenta homogeneidad de varianzas (p-value < 0.05), por lo que no se cumplen los requisitos para poder realizar un ANOVA. Sin embargo, procedemos a realizar un test de Kruskal-Wallis para verificar si existen diferencias significativas (no paramétricas) entre tratamientos.

Kruskal-Wallis rank sum test

data: BIO_9 by factor(TRAT)

Kruskal-Wallis chi-squared = 13.24, df = 3, p-value = **0.004145**

El test de Kruskal-Wallis nos menciona que existen diferencias significativas entre tratamientos (p-value < 0.05), las cuales observaremos en un test de Nemenyi (Tukey-Kramer)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test with Tukey-Dist approximation

data: BIO_9 by factor(TRAT)

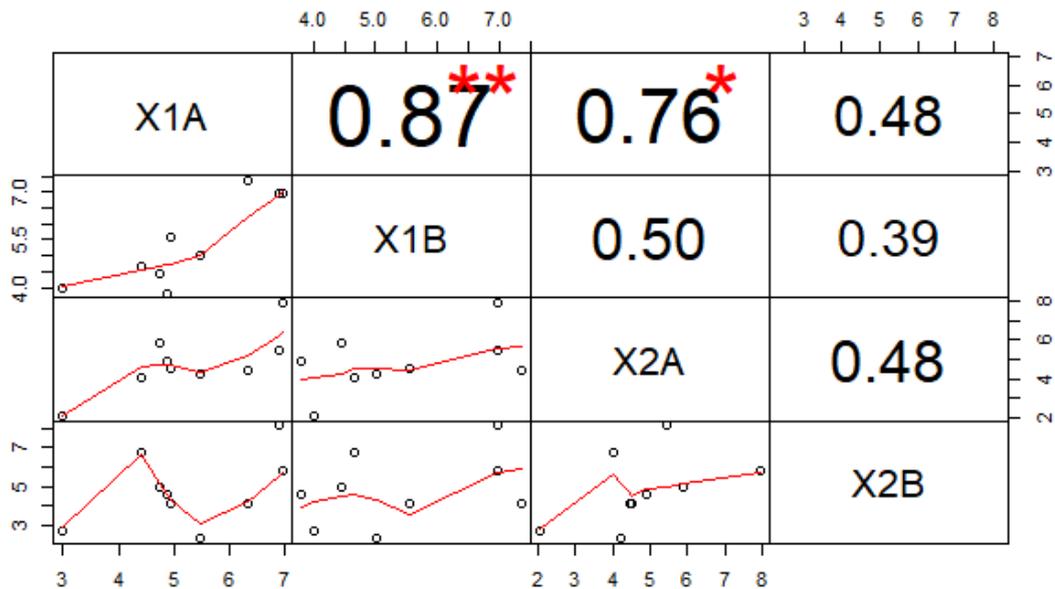
	1A	1B	2A
1B	0.998	-	-
2A	0.032	0.019	-
2B	0.133	0.087	0.944

Del test de Nemenyi podemos concluir que existen diferencias significativas entre los tratamientos 2A, 1A y 1B.

12.9.2 Índice de Crecimiento Especifico para los tratamientos 1A, 1B, 2A y 2B

INDICE DE CRECIMIENTO ESPECIFICO (Semanal)				
SEMANA	1A	1B	2A	2B
1	6,339448	7,36876	4,437247	4,173805
2	6,967551	6,976028	7,950446	5,77637
3	5,45806	5,005865	4,224706	2,327297
4	6,879686	6,968659	5,430848	8,147095
5	2,984303	3,998711	2,037388	2,739714
6	4,934422	5,554498	4,525905	4,157874
7	4,419523	4,649624	4,03647	6,777971
8	4,740605	4,452975	5,865633	4,991421
9	4,875876	3,798361	4,894987	4,626105

Correlación de Pearson				
	1A	1B	2A	2B
1A	1			
1B	0,866	1		
2A	0,756	0,500	1	
2B	0,481	0,392	0,484	1



12.10 Tabla 13. Análisis de laboratorio (primero y segundo muestreo) para los tratamientos 1A, 1B, 2A y 2B

Parámetro	PRIMER MUESTREO				SEGUNDO MUESTREO			
	1A	1B	2A	2B	1A	1B	2A	2B
Fosforo	1,6	1,3	1,5	2	1,8	1,7	2,1	1,8
Amonio	0,21	0,18	0,31	0,26	0,21	0,15	0,3	0,3
Nitrato	3,01	3,89	2,44	2,89	4,11	3,55	3,5	2,5
Nitrito	0,4	0,12	0,51	0,59	0,15	0,11	0,4	0,4 8
Alcalinidad	45,2	73,9	53,1	62,6	41,5	68,7	56	52, 7
Dureza	251	235	219	203	246	241	235	223

12.11 Código script (R estadistics) utilizado en el procesamiento de datos

```
rm(list=ls())

getwd()

#Empezaremos revisando si existen diferencias significativas en la biomasa al final
del cultivo (Semana 9)
TILAPIA_BIO=read.csv("C:/Users/divar/Desktop/Tilapias/BIOMASA.csv",
header = TRUE, sep = ";")
attach(TILAPIA_BIO)
names(TILAPIA_BIO)
library(MVN)
library(PMCMRplus)
#Biomasa semana 9
tapply(BIO_9, TRAT, mean)
tapply(BIO_9, TRAT, sd)
#Probamos Test de Shapiro-Wilk para ver normalidad por tratamiento
tapply(BIO_9, TRAT, shapiro.test) #No presenta una distribución normal, ahora
analizaremos la distribución de varianzas
#Probamos el test de Bartlett para homogeneidad de varianzas
bartlett.test(BIO_9, TRAT) #No es homogéneo, por lo que un ANOVA no
funcionará, debemos buscar métodos no paramétricos
#Probamos el test de Kruskal-Wallis, para ver si existen diferencias significativas
entre tratamientos
kruskal.test(BIO_9~factor(TRAT)) #Al existir diferencias significativas (p<0.05),
debemos ver cuales son con algún test no paramétrico
#Probamos el test de Nemenyi (no paramétrico) para evaluar posibles diferencias
significativas entre tratamientos
kwAllPairsNemenyiTest(BIO_9~factor(TRAT)) #Este test resume las diferencias
significativas entre tratamientos
boxplot(BIO_9~TRAT, main= "Biomasa a la cosecha por Tratamiento") #Aquí
podemos observar las respectivas diferencias
#El tratamiento 2A obtuvo el menor desempeño al 95% de confianza

#Ahora evaluaremos correlacion de variables por parámetros
TILAPIA_PARAM=read.csv("C:/Users/divar/Desktop/Tilapias/PARAMETROS.
csv", header = TRUE, sep = ";")
attach(TILAPIA_PARAM)
names(TILAPIA_PARAM)
library(PerformanceAnalytics)
#Correlación de variables por tratamiento
#3 * significan un correlacion fuerte entre variables
#Oxigeno Disuelto
```

```

ODD=data.frame(OD_1A, OD_1B, OD_2A, OD_2B)
cor(ODD)
chart.Correlation(ODD, histogram = F)
#Temperatura
Temp=data.frame(T_1A, T_1B, T_2A, T_2B)
cor(Temp)
chart.Correlation(Temp, histogram = F)
#pH
pH=data.frame(pH_1A, pH_1B, pH_2A, pH_2B)
cor(pH)
chart.Correlation(pH, histogram = F)
#Amonio
NH3=data.frame(AMO_1A, AMO_1B, AMO_2A, AMO_2B)
cor(NH3)
chart.Correlation(NH3, histogram = F)
#Nitrito
NO2=data.frame(NITRITO_1A, NITRITO_1B, NITRITO_2A, NITRITO_2B)
cor(NO2)
chart.Correlation(NO2, histogram = F)
#Nitrato
NO3=data.frame(NITRATO_1A, NITRATO_1B, NITRATO_2A, NITRATO_2B)
cor(NO3)
chart.Correlation(NO3, histogram = F)

#Finalmente evaluaremos la correlacion de variables por tratamientos
#1A
A1=data.frame(OD_1A, T_1A, pH_1A, AMO_1A, NITRITO_1A,
NITRATO_1A)
cor(A1)
chart.Correlation(A1, histogram = F)
#1B
B1=data.frame(OD_1B, T_1B, pH_1B, AMO_1B, NITRITO_1B, NITRATO_1B)
cor(B1)
chart.Correlation(B1, histogram = F)
#2A
A2=data.frame(OD_2A, T_1A, pH_2A, AMO_2A, NITRITO_2A,
NITRATO_2A)
cor(A2)
chart.Correlation(A2, histogram = F)
#2B
B2=data.frame(OD_2B, T_2B, pH_2B, AMO_2B, NITRITO_2B, NITRATO_2B)
cor(B2)
chart.Correlation(B2, histogram = F)
#Datos Microbiología

```

```

rm(list=ls())
getwd()
#Empezaremos revisando si existen diferencias significativas en la biomasa al final
del cultivo (Semana 9)
MICRO=read.csv("C:/Users/divar/Desktop/Tilapias/MICRO.csv", header =
TRUE, sep = ";")
attach(MICRO)
names(MICRO)
library(PerformanceAnalytics)
#Correlación Datos de micro
MIC=data.frame(NUM_BAC_2, PESO)
cor(MIC)
chart.Correlation(MIC, histogram = F)

#Analizaremos los resultados de las variables fisico-químicas para el primer
muestreo
rm(list=ls())
getwd()
PRIMER=read.csv("C:/Users/divar/Desktop/Tilapias/PRIMER_MUESTREO.csv
", header = TRUE, sep = ";")
attach(PRIMER)
names(PRIMER)
library(PerformanceAnalytics)
PM=data.frame(P, NH3, NO3, NO2, ALC, DUR, BACT)
cor(PM)
chart.Correlation(PM, histogram = F)
#Se puede observar una fuerte correlación entre las bacterias, las variables de
nitrógeno y la dureza del agua
#Analizaremos los resultados de las variables fisico-químicas para el segundo
muestreo
SEGUNDO=read.csv("C:/Users/divar/Desktop/Tilapias/SEGUNDO_MUESTRE
O.csv", header = TRUE, sep = ";")
attach(SEGUNDO)
names(SEGUNDO)
library(PerformanceAnalytics)
SM=data.frame(P, NH3, NO3, NO2, ALC, DUR, BACT)
cor(SM)
chart.Correlation(SM, histogram = F)
#Se puede observar una fuerte correlación entre las bacterias, las variables de
nitrógeno y la dureza del agua

#Analizaremos los resultados del Índice de Crecimiento Específico
rm(list=ls())
getwd()

```

```
ICE=read.csv("C:/Users/divar/Desktop/Tilapias/ICE.csv", header = TRUE, sep =  
";")  
attach(ICE)  
names(ICE)  
library(PerformanceAnalytics)  
cor(ICE)  
chart.Correlation(ICE, histogram = F)
```

12.13 FOTOGRAFIAS



Fotografía 1. Ensamblaje de filtros



Fotografía 2. Biofiltro de piedra de río.



Fotografía 3. Biofiltro de piedra pómez.



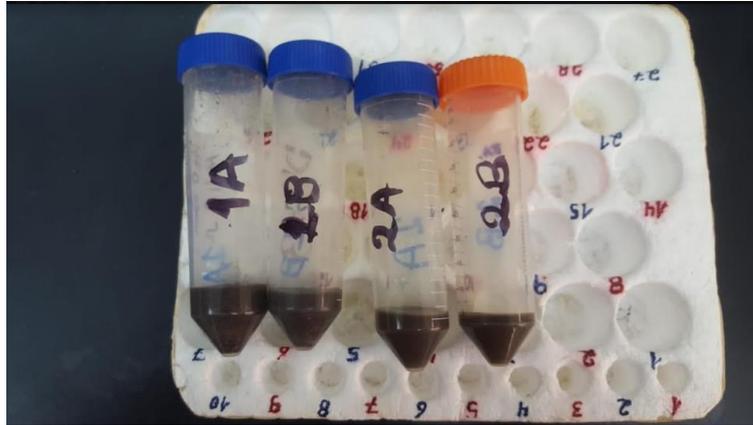
Fotografía 4. Set experimental.



Fotografía 5. Toma de parámetros diarios.



Fotografía 6. Control de Amonio, Nitrito y Nitrato.



Fotografía 7. Muestras para análisis microbiológico.



Fotografía 8. Muestras de agua para análisis químico.



Fotografía 9. Peso de sustratos (biopelícula).



Fotografía 10. Control de peso (semanal).