

EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO COMPUESTO POR TILAPIA Y LECHUGA UTILIZANDO TRES TIPOS DE SUSTRATOS (*Turba comercial, Grava, Cascarilla de Arroz*), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA, MUNICIPIO DE PASTO.

**MARÍA CAMILA JARAMILLO VILLOTA
EDWIN ANTONIO RAMOS JOJOA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS
INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA
PASTO, COLOMBIA
2018**

EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO COMPUESTO POR TILAPIA Y LECHUGA UTILIZANDO TRES TIPOS DE SUSTRATOS (*Turba comercial, Grava, Cascarilla de Arroz*), BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA, MUNICIPIO DE PASTO.

**MARÍA CAMILA JARAMILLO VILLOTA
EDWIN ANTONIO RAMOS JOJOA**

Informe final de trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Producción Acuícola

**Director
WILMER RENE SANGUINO
MIP. Ingeniero en Producción Acuícola**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS
INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA
PASTO, COLOMBIA
2018**

“Las ideas y conclusiones aportadas en esta tesis de grado son responsabilidad exclusiva de su autor”.

Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966, emanado del Honorable consejo directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

WILMER RENE SANGUINO
Director

ROBERTO GARCÍA CRIOLLO
Jurado delegado

GLORIA LUCIA CÁRDENAS CALVACHI
Jurado

San Juan de Pasto, Abril del 2018.

AGRADECIMIENTOS

| | |
|-----------------------------------|---|
| WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ | Ingeniero en Producción Acuícola. Docente tiempo completo. Magister Ingeniería de Producción. |
| ÁLVARO BURGOS ARCOS | Zootecnista, M.sc.,Ph.D Acuaculture Biotecnology, Profesor asociado. Facultad de ciencias pecuarias. |
| ROBERTO GARCÍA CRIOLLO | Ingeniero en Producción Acuícola. Docente profesor de la facultad de Ciencias Pecuarias en la Universidad de Nariño. Jurado. |
| GLORIA LUCÍA CÁRDENAS CALVACHI | Ingeniera Química, M.sc., Ingeniería Ambiental, Docente hora catedra de la Universidad de Nariño. Jurado. |
| MARCO ANTONIO IMUÉS FIGUEROA | Asesor de trabajos de grado. Profesor Universidad de Nariño. |
| CAMILO LENNIN ROMERO GUERRERO | Ingeniero en Producción Acuícola. Profesor de la facultad de Ciencias Pecuarias en la Universidad de Nariño, técnico laboratorista |
| LUÍS ALFONSO SOLARTE PORTILLA | Zootecnista. Esp. Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño |
| PIEDAD MEJÍA SANTACRUZ | Secretaria del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño |
| ÓSCAR MEJÍA SANTACRUZ | Economista. Auxiliar. Biblioteca General Luís Santander |
| EDWIN GIOVANNY VILLOTA | Técnico de Granjas, Universidad de Nariño |

DEDICATORIA

Dedicado a:

Principalmente a mis padres MILTON JAIME JARAMILLO y NANCY DEL PILAR VILLOTA que me brindaron su apoyo incondicional a pesar los obstáculos que se presentaron a lo largo de mi carrera.

A mis hermanos JAIME DARÍO JARAMILLO VILLOTA y ADRIANA JAQUELINE JARAMILLO porque de una u otra forma han estado en cada una de mis etapas apoyándome con la mejor disposición

A mi hija SARA GABRIELA MORALES JARAMILLO porque es la persona que permitió que cada uno de mis esfuerzos tenga más valor en mi vida siendo el motivo por el cual lucho día a día.

A mi esposo JOSE ANDRES MORALES por sus palabras, confianza, su amor y tiempo brindado para realizarme profesionalmente, gracias por tu apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros con quienes hemos compartido gratos y difíciles momentos: Edwin Ramos, Ángela Gómez, Ana María López, Geraldine Muñoz, Dorian Pantoja, Danilo Duarte, Guillermo Cárdenas, Mauricio Casanova, Jonathan Stip Moreno, Eva María Burbano.

A una de las persona de mis grandes afectos que hoy ya descansa y gozan de la presencia del creador Anyela Katerine Paspuel Martinez mi pinky tú fuiste una guía para que llegara a esta meta.

MARÍA CAMILA JARAMILLO VILLOTA

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta investigación a Dios que es mi soporte en todo momento, a mis padres AURA LUCÍA JOJOA NARVÁEZ y JOSÉ ANTONIO RAMOS MATABANCHOY, ya que ustedes han sido el eje principal de mi vida, brindándome su apoyo y consejos tanto en lo académico como en lo personal, sin desfallecer para que pudiera alcanzar este objetivo.

A mis dos hermanas ADRIANA LUCIA JOSSA, JULY VIVIANA RAMOS. Que siempre estuvieron presentes brindándome una palabra de apoyo en cada momento de mi vida universitaria.

A mi amiga y compañera de tesis: MARÍA CAMILA JARAMILLO V. Con quien se ha compartido muchos momentos.

Gracias a todas las personas que estuvieron presentes en este camino.

EDWIN ANTONIO RAMOS JOJOA

RESUMEN

La acuaponía es una técnica para la producción conjunta de plantas y peces con fines comerciales, domésticos entre otros. La acuicultura aporta a las plantas nutrientes que son necesarios para su crecimiento y desarrollo, además la reducción de la renovación de agua requerida para un cultivo y adiciones de fertilizantes para el caso de la agricultura.

Esta investigación se realizó con el fin de evaluar el desempeño de un sistema acuapónico con lechuga y determinar la eficiencia de la remoción de compuestos nitrogenados provenientes del cultivo de tilapia para mejorar la calidad del agua en el sistema. Para ello se realizó este estudio en la granja Botana de la Universidad de Nariño ubicada en el corregimiento de Catambuco. se realizaron cuatro tratamientos con tres replicas utilizando tres tipos de sustrato y un blanco, además se utilizaron 144 lechugas (*Lactuca sativa*) distribuidas en la unidad experimental; se contó con un tanque de cultivo de 500 litros, un clarificador de 105 litros y un biofiltro de 330 litros, 25 ejemplares de tilapia roja (*Oreochromis sp*); con una densidad de siembra inicial de $7,47 \text{ kg/m}^3$ y final de kg/m^3 , la toma de muestras se realizó en la salida de la unidad experimental para cada tratamiento y en la entrada de esta es decir en la caja de nivel, la temperatura y oxígeno se tomaron diariamente mientras que para amonio, nitritos, nitratos, alcalinidad, dureza CO_2 , DBO_5 , DQO se realizaron cada 10 o 15 días.

Los resultados conseguidos en esta investigación se determinaron que no existieron diferencias significativas aplicando un análisis de varianza ($\alpha=0,05$), con el fin de determinar y describir que independientemente del sustrato en el sistema los microorganismos trabajan de la misma manera en cuanto a la remoción de compuestos nitrogenados s obtuvieron valores de remoción para amonio 45% (blanco), nitritos 49%(Turba y grava) y nitratos 25% (grava), los parámetros productivos y de calidad de aguas se puede decir que se encontraron en los rangos óptimos para las especies, los animales iniciaron con un peso promedio 134,38 g y terminaron con 211,92 g , el análisis parcial de costos nos indica que para el tiempo de estudio que fueron 60 días se encuentra en un equilibrio ya que la relación beneficio costos está más cerca al 1,0.

Con esta investigación se determinó que la acuaponía es una buena alternativa como técnica para realizar un aprovechamiento del recurso hídrico y poder incrementar la producción de tilapia y lechuga siendo una forma sustentable y amigable con el medio ambiente.

ABSTRACT

Aquaponics is a technique for the joint production of plants and fish for commercial, domestic and other purposes. Aquaculture provides the plants with nutrients that are necessary for their growth and development, as well as reducing the water renewal required for a crop and additions of fertilizers for the case of agriculture.

This research was carried out in order to evaluate the performance of an aquaponic system with lettuce and determine the efficiency of the removal of nitrogenous compounds from the tilapia culture to improve the water quality in the system. This study was carried out in the Botana farm of the University of Nariño located in the municipality of Catambuco, four treatments were carried out with three replicates using three types of substrate and one white, in addition 144 lettuces (*Lactuca sativa*) distributed in the experimental unit were used, it was provided with a tank of 500 liters, a clarifier of 105 liters and a biofilter of 330 liters, 25 specimens of red tilapia (*Oreochromis* sp), the sampling was done at the exit of the experimental unit for each treatment and at the entrance of this that is, in the level box, the temperature and oxygen were taken daily while for ammonium, nitrites, nitrates, alkalinity, hardness CO_2 , DBO_5 , DQO were performed every 10 or 15 days.

The results obtained in this investigation were determined that there were no significant differences applying an analysis of variance ($\alpha = 0.05$), in order to determine and describe that regardless of the substrate in the system the microorganisms work in the same way in terms of the removal of nitrogenous compounds obtained removal values for ammonium 45% (white), nitrites 49% (peat and gravel) and nitrates 25% (gravel), the productive parameters and water quality can be said to be found in the optimal ranges for the species, the animals started with an average weight of 134.38 g and ended with 211.92 g, the partial cost analysis indicates that for the study time that were 60 days is in a balance since the relationship Profit costs are closer to 1.0.

With this research it was determined that aquaponics is a good alternative as a technique to make use of the water resource and to increase the production of tilapia and lettuce being a sustainable and friendly way with the environment.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 17 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO..... | 18 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 18 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA | 20 |
| 2. OBJETIVOS | 22 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 22 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 22 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 23 |
| 3.1 ACUICULTURA EN EL MUNDO | 23 |
| 3.2 ACUICULTURA EN COLOMBIA | 24 |
| 3.3 ACUICULTURA Y CONTAMINACIÓN | 25 |
| 3.4 ACUAPONÍA | 25 |
| 3.6 SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA..... | 26 |
| 3.7 TRATAMIENTO DE AGUAS..... | 27 |
| 3.7.2 Producción de NAT | 27 |
| 3.7.3 Biofiltro..... | 28 |
| 3.7.4 Nitrificación..... | 28 |
| 3.7.5 Balance de masas..... | 29 |
| 3.4. GENERALIDADES DE LA TILAPIA ROJA..... | 30 |
| 3.4.1 Generalidades de la tilapia..... | 30 |
| 3.4.2 Clasificación taxonómica..... | 31 |
| 3.4.3 Biología de la tilapia. | 31 |
| 3.4.4 Calidad de agua. | 32 |
| 3.5 CULTIVO DE LECHUGA | 32 |
| 3.5.1 Clasificación taxonómica..... | 33 |
| 3.5.2 Descripción botánica. | 33 |
| 3.6 SUSTRATOS | 34 |
| 3.6.1 Turba | 34 |
| 3.6.2 Cascarilla de arroz..... | 34 |
| 3.6.3 Grava..... | 35 |
| 4 DISEÑO METODOLÓGICO | 36 |

| | | |
|----------|---|----|
| 4.1 | LOCALIZACIÓN..... | 36 |
| 4.2 | INSTALACIONES, EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS | 36 |
| 4.2.1 | Instalaciones..... | 36 |
| 4.2.2 | Equipos..... | 37 |
| 4.2.3 | Materiales | 37 |
| 4.2.4 | Insumos | 38 |
| 4.3 | PLAN DE MANEJO..... | 38 |
| 4.3.1 | Recolección de datos | 38 |
| 4.3.2 | Material Biológico | 38 |
| 4.3.3 | Adecuación de instalaciones..... | 39 |
| 4.3.5 | Caja de nivel constante..... | 40 |
| 4.3.6 | Unidades experimentales..... | 41 |
| 4.3.7 | Tanque de cultivo..... | 41 |
| 4.3.8 | Clarificador..... | 42 |
| 4.3.9 | Biofiltro..... | 42 |
| 4.3.10 | Sumidero..... | 42 |
| 4.3.11 | Unidad de aireación..... | 43 |
| 4.3.12 | Tanques para almacenamiento de agua..... | 44 |
| 4.3.13 | Descripción general del sistema acuapónico..... | 44 |
| 4.4 | TRANSPORTE Y ACLIMATACIÓN..... | 45 |
| 4.5 | ALIMENTACIÓN | 46 |
| 4.6 | MUESTREO..... | 46 |
| 4.7 | ADECUACIÓN DE LAS PLANTAS..... | 47 |
| 4.8 | MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS | 48 |
| 4.9 | MONITOREO DE CAUDALES | 49 |
| 4.10 | MONITOREO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO..... | 49 |
| 4.11 | DISEÑO EXPERIMENTAL | 50 |
| 4.11.1 | Remoción: | 50 |
| 4.11.2 | Formulación de la hipótesis..... | 50 |
| 4.11.3 | Variables a evaluar..... | 50 |
| 4.11.3.1 | Eficiencia de remoción amonio, nitritos y nitratos..... | 50 |
| 4.11.3.2 | Carga Contaminante..... | 51 |
| 4.11.3.3 | Incremento de peso:..... | 51 |

| | | |
|----------|--|----|
| 4.11.3.4 | Tasa de crecimiento específico (TCE): | 51 |
| 4.11.3.5 | Supervivencia: | 52 |
| 4.11.4 | Análisis parcial de costos. | 52 |
| 4.11.5 | Análisis estadístico. | 52 |
| 5 | RESULTADOS | 53 |
| 5.1 | VARIABLES PRODUCTIVAS Y CALIDAD DE AGUAS | 53 |
| 5.1.1 | Descripción de la población de peces..... | 53 |
| 5.1.2 | Incremento de peso..... | 53 |
| 5.1.3 | Incremento de talla..... | 55 |
| 5.1.4 | Tasa de crecimiento simple..... | 57 |
| 5.1.5 | Supervivencia..... | 57 |
| 5.1.6 | Factor de conversión alimenticia..... | 57 |
| 5.2 | CALIDAD DE AGUA | 58 |
| 5.2.1 | Potencial de hidrogeno (pH)..... | 58 |
| 5.2.2 | Alcalinidad..... | 60 |
| 5.2.3 | Dureza | 61 |
| 5.2.4 | Dióxido de carbono (CO ₂)..... | 62 |
| 5.2.5 | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) y demanda química de oxígeno (DQO) | 63 |
| 5.2.6 | Temperatura | 64 |
| 5.2.7 | Oxígeno | 64 |
| 5.2.8 | Amonio..... | 65 |
| 5.2.9 | Nitritos..... | 66 |
| 5.2.10 | Nitratos..... | 67 |
| 5.3 | CAUDAL DE ENTRADA Y SALIDA | 68 |
| 5.4 | REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS | 69 |
| 5.4.1 | Remoción de amonio..... | 70 |
| 5.4.2 | Remoción de nitritos..... | 72 |
| 5.4.3 | Remoción de nitratos..... | 74 |
| 5.5 | ANÁLISIS PARCIAL DE COSTOS | 76 |
| 6 | ANÁLISIS DE RESULTADOS | 77 |
| 6.1 | VARIABLES PRODUCTIVAS | 77 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.1.1 | Incremento en peso..... | 77 |
| 6.1.2 | Incremento de talla..... | 78 |
| 6.1.3 | Tasa de crecimiento simple..... | 78 |
| 6.1.4 | Supervivencia..... | 79 |
| 6.1.5 | Factor de conversión alimenticia..... | 79 |
| 6.2 | CALIDAD DEL AGUA | 80 |
| 6.3 | REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS | 83 |
| 6.4 | ANALISIS PARCIAL DE COSTOS | 85 |
| 7 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 86 |
| 7.1 | CONCLUSIONES | 86 |
| 7.2 | RECOMENDACIONES..... | 87 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 88 |
| | ANEXOS..... | 94 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Proceso de nitrificación. | 29 |
| Figura 2. Tilapia Roja (<i>Oreochromis sp</i>) | 30 |
| Figura 3. Mapa ubicación de la granja experimental Botana (Catambuco) | 36 |
| Figura 4. Instalaciones del proyecto acuapónico. | 37 |
| Figura 5. Recolección de material Biológico (tilapia roja) | 39 |
| Figura 6. Siembra en el tanque de cultivo | 39 |
| Figura 7. Adecuación del sistema acuapónico y laboratorio de calidad de aguas utilizado en el desarrollo de la investigación | 40 |
| Figura 8. Caja de nivel constante. | 40 |
| Figura 9. Unidades experimentales conformadas por 12 tubos de PVC | 41 |
| Figura 10. Tanque de cultivo. | 41 |
| Figura 11. Clarificador. | 42 |
| Figura 12. Biofiltro. | 42 |
| Figura 13. Sumidero, bomba y entrada de reboses. | 43 |
| Figura 14. Blower con sus respectivas salidas de aire. | 43 |
| Figura 15. Tanque para maduración de agua. | 44 |
| Figura 16. Diseño sistema acuapónico | 45 |
| Figura 17. Recepción de material biológico y aclimatación | 46 |
| Figura 18. Muestreo de los ejemplares | 46 |
| Figura 19. Siembra y cosecha de las plántulas de Lechuga. | 47 |
| Figura 20. Ganancia en peso | 54 |
| Figura 21. Incremento de peso. | 55 |
| Figura 22. Comportamiento de talla | 56 |
| Figura 23. Incremento de talla. | 56 |
| Figura 24. Comportamiento de tasa de crecimiento | 57 |
| Figura 25. Comportamiento del pH en la unidad de cultivo. | 59 |
| Figura 26. Comportamiento de alcalinidad en la unidad de cultivo | 60 |
| Figura 27. Comportamiento de la dureza en tanque de cultivo | 61 |
| Figura 28. Comportamiento del CO ₂ en tanque de cultivo. | 62 |
| Figura 29. Comportamiento de la DBO ₅ y la DQO en tanque de cultivo | 63 |
| Figura 30. Comportamiento de la temperatura en la unidad de cultivo | 64 |
| Figura 31. Comportamiento del oxígeno en la unidad de cultivo | 64 |
| Figura 32. Comportamiento del amonio en la unidad de cultivo | 65 |
| Figura 33. Comportamiento de los nitritos en unidad de cultivo | 66 |
| Figura 34. Comportamiento de los nitratos en unidad de cultivo | 67 |
| Figura 35. Comportamiento de la remoción de amonio en cada tratamiento | 71 |
| Figura 37. Promedios de comparación de la eficiencia de remoción | 71 |
| Figura 39. Porcentaje de la remoción de nitritos en los tratamientos | 73 |
| Figura 40. Promedios de comparación de la eficiencia de remoción | 73 |
| Figura 42. Porcentaje de la remoción de nitratos en cada tratamiento | 75 |
| Figura 43. Promedios de comparación de la eficiencia de remoción | 75 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Clasificación taxonómica tilapia roja (<i>Oreochromis sp</i>) Según Carl D Webster) | 31 |
| Cuadro 2. Rangos óptimos de calidad de aguas para la tilapia (Según Cantor).... | 32 |
| Cuadro 3. Clasificación taxonómica lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) Según National Center for Biotechnology Information (NCBI)..... | 33 |
| Cuadro 4. Distribución de sustratos cada tubo. | 47 |
| Cuadro 5. Monitoreo parámetros Físico-químicos. | 48 |
| Cuadro 6. Estadística Descriptiva peso y talla | 53 |
| Cuadro 7. Peso promedio e incremento de peso para cinco periodos de estudio. | 54 |
| Cuadro 8. Talla promedio e incremento de talla para cinco periodos de estudio. | 55 |
| Cuadro 9. Tasa de Crecimiento simple | 57 |
| Cuadro 10. Factor de conversión alimenticia | 58 |
| Cuadro 11. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos | 58 |
| Cuadro 12. Comportamiento por periodo y promedio del pH en la unidad de cultivo..... | 59 |
| Cuadro 13. Comportamiento por periodo y promedio de la alcalinidad en la unidad de cultivo..... | 60 |
| Cuadro 14. Comportamiento por periodo y promedio de la dureza en la unidad de cultivo..... | 61 |
| Cuadro 15. Comportamiento por periodo y promedio del CO ₂ en la unidad de cultivo | 62 |
| Cuadro 16. Comportamiento por periodo y promedio de la DBO ₅ y la DQO en la unidad de cultivo..... | 63 |
| Cuadro 17. Comportamiento por periodo y promedio del amonio en la unidad de cultivo..... | 65 |
| Cuadro 18. Comportamiento por periodo y promedio de los nitritos en unidad de cultivo..... | 66 |
| Cuadro 19. Comportamiento por periodo y promedio de los nitratos en unidad de cultivo..... | 67 |
| Cuadro 20. Valores promedio de la entrada y salida de los compuestos nitrogenados | 69 |
| Cuadro 21. Valores de remoción de amonio para cada tratamiento y porcentaje de remoción | 70 |
| Cuadro 22. Valores de remoción de nitritos para cada tratamiento y porcentaje de remoción | 72 |
| Cuadro 23. Valores de remoción de nitratos para cada tratamiento y porcentaje de remoción | 74 |
| Cuadro 24. Costos parciales de la investigación | 76 |
| Cuadro 25. Relación costo beneficio..... | 76 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo A. Peso promedio y desviación estándar de cada muestreo realizado durante el periodo de estudio. | 94 |
| Anexo B. Talla promedio y desviación estándar de cada muestreo realizado durante el periodo de estudio. | 95 |
| Anexo C. Variaciones en el comportamiento de la temperatura durante el periodo de estudio. | 96 |
| Anexo D. Variaciones en el comportamiento del oxígeno durante el periodo de estudio. | 97 |
| Anexo E. Datos de concentración de amonio en la entrada de la unidad experimental. | 98 |
| Anexo F. Datos promedio de concentración de amonio en la salida de cada tratamiento de la unidad experimental. | 98 |
| Anexo G. Datos de concentración de nitritos en la entrada de la unidad experimental. | 100 |
| Anexo H. Datos de la concentración de nitritos en la salida de cada tratamiento de la unidad experimental. | 101 |
| Anexo I. Datos de concentración de nitratos en la entrada de la unidad experimental. | 103 |
| Anexo J. Datos de la concentración de nitratos en la salida de cada tratamiento de la unidad experimental. | 103 |
| Anexo K. Concentración y porcentaje de la remoción de amonio en la unidad experimental. | 105 |
| Anexo L. Concentración y porcentaje de la remoción de nitritos en la unidad experimental. | 108 |
| Anexo M. Concentración y porcentaje de la remoción de nitrito en la unidad experimental. | 110 |
| Anexo N. Datos de caudales y promedios de entrada en cada uno de los tratamientos en la unidad experimental. | 113 |
| Anexo O. Datos de caudales y promedios de la salida en cada uno de los tratamientos en la unidad experimental. | 114 |
| Anexo P. Tabla ANOVA Análisis estadístico de comparación múltiple de varianza para caudales de entrada y salida. | 115 |
| Anexo Q. Tabla ANOVA Análisis estadístico de comparación múltiple de varianza para amonio. | 116 |
| Anexo R. Tabla ANOVA Análisis estadístico de comparación múltiple de varianza para nitritos. | 116 |
| Anexo S. Tabla ANOVA Análisis estadístico de comparación múltiple de varianza para nitratos. | 117 |
| Anexo T. Tablas costos del sistema acuapónico. | 117 |
| Anexo U. Tablas beneficio del sistema acuapónico. | 118 |
| Anexo V. Graficas relación costos para el sistema acuapónico. | 118 |
| Anexo W. Planos del sistema acuapónico. | 121 |

GLOSARIO

ACUAPONÍA: Es la Integración de la producción de peces y de plantas sin suelo (hidroponía) dentro de un sistema cerrado, donde los desechos metabólicos de los peces (principalmente nitrógeno) son aprovechados por las plantas para crecer.

COMPUESTOS NITROGENADOS: biomoléculas que contienen nitrógeno, ya sea macromoléculas o productos de desecho. Las macromoléculas nitrogenadas con mayor importancia biológica son los ácidos nucleicos y las proteínas; sus precursores son las bases nitrogenadas y los aminoácidos. Otros compuestos nitrogenados son las porfirinas, que se encuentran en la hemoglobina, la mioglobina, los citocromos y la catalasa, entre otras moléculas. Los productos del catabolismo de los ácidos nucleicos, las proteínas y el grupo hemo son el ácido úrico, la urea y la bilirrubina, respectivamente. La creatinina proviene del catabolismo de la fosfocreatina, que se forma a partir de tres aminoácidos (arginina, metionina y glicina) y, por tanto, se le puede considerar como producto del catabolismo de las proteínas.

BIOFILTRO: Se los conoce también como también como filtros biológicos, son dispositivos utilizados para la eliminación de compuestos contaminantes generados por una actividad acuícola y tratados en un proceso biológico.

HIDROPONÍA: Es el cultivo de plantas, principalmente hortalizas, sin usar suelo, que es substituido por un sustrato sólido constituido por materiales inertes.

NITRIFICACIÓN. El amoníaco es el principal producto final del catabolismo de la proteína y es excretado por los peces como amoníaco NH_3 a través de las branquias. El amoníaco existe en dos formas: ionizado y no ionizado, la suma de las dos formas se denomina nitrógeno amoniacal total (NAT).

INTRODUCCIÓN

Según la FAO.¹ La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos tanto en zonas costeras como del interior, que implica intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción, esta acción genera desechos contaminantes al medio natural, tales como los compuestos nitrogenados provenientes de las excreciones de los peces cultivados, el alimento proporcionado y otros insumos, siendo una de las principales limitantes en la producción acuícola puesto que generan grandes concentraciones de materia orgánica en los estanques de cultivo.

La acuicultura, dispone de diferentes sistemas de producción de organismos acuáticos, los cuales a su vez, se pueden combinar con el cultivo de plantas superiores, como son los sistemas acuapónicos, los cuales se conforma por plantas y peces en un sistema de recirculación, esto con el fin de que los desechos metabólicos disueltos en el agua sean absorbidos por las plantas y así reducir tasas de recambio a diario y su eliminación hacia el medio, el recambio que se realiza en un sistema acuapónico es aproximadamente de 1,5% o menor.²

Un componente que debe encontrarse en el sistema acuapónico, está constituido por las colonias de bacterias nitrificantes en el sustrato de las plantas para realizar dos funciones: degradar los compuestos nitrogenados en su forma peligrosa para los peces (amonio y nitritos), y proveer de nutrientes a las plantas³. En estos sistemas las plantas recuperan un porcentaje de estos nutrientes, por lo tanto se reduce la necesidad de vertimiento de efluentes contaminados al medio ambiente e incrementa la vida útil del líquido para el SRA.⁴

Por lo tanto, esta investigación pretende evaluar la capacidad de remoción de compuestos nitrogenados, en un sistema acuapónico, utilizando tres sustratos como turba, grava y Cascarilla de arroz.

¹ FAO. "El estado mundial de la pesca y acuicultura". {En línea}. {} disponible en: (<http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>).

² CALO, Pablo. Introducción a la Acuaponia, Centro Nacional de Desarrollo Acuicola CENADAC. En: <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>. (2011).

³ GARCIA-ULLOA, M, et al. Evaluation of an experimental aquaponic system. En: AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECIARIA. 2004•

⁴ COLAGROSSO ALESSANDRO. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala, Manual de desarrollo de cultivo acuapónico. 2014

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La acuicultura es el segmento agrícola de más rápido crecimiento y provee el 38% del pescado (incluyendo todo alimento para consumo humano de origen acuático). La predicción es que la acuicultura proveerá el 44% del pescado consumido para el año 2020; es por esto, que la posibilidad de producir alimentos, especialmente los relacionados con el sector primario, reviste su importancia en zonas altamente pobladas, sin embargo, su factibilidad está limitada por el rápido crecimiento de la ciudad y de la industria, utilizando la mayor parte de los suelos cercanos a los centros urbanos, la reducción del espacio de suelo cultivable y aprovechable, la menor disponibilidad de agua saneada para la producción y el aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad de los productos, sean de consumo en fresco o procesado, esto ha hecho que las técnicas integradas de producción sean potencialmente atractivas.⁵

En tales condiciones, para abastecer en forma permanente al mercado, se requiere de otros sistemas de mayor nivel tecnológico, como lo son, los sistemas acuapónicos, definidos como un sistema de recirculación en el que se utilizan plantas como filtros de nitrógeno para las descargas de la actividad acuícola, obteniendo así un doble beneficio: el de tratar el agua de los peces y el de obtener un subproducto que aumenta la rentabilidad de la empresa; sumado a esto, los productos que se obtienen de éste sistema son muy saludables ya que no contienen fertilizantes químicos ni pesticidas, posibilitando la competitividad de los productos obtenidos.⁶

En un sistema acuapónico como el mencionado es importante resaltar el manejo de los desechos, sin embargo, dentro de este tipo de sistemas se reduce el volumen de descarte de tales desechos al ambiente, el volumen es menor pero la carga de contaminación por unidad descargada es mayor. Ello representa una amenaza al medio ambiente o incurre en un gasto adicional si el agua es vertida a un sistema de alcantarillado para su tratamiento. En un sistema de acuaponía, las plantas recuperan un porcentaje de estos nutrientes por lo tanto se reduce la necesidad de vertimiento de efluentes al medio ambiente e incrementa la vida útil del líquido para el sistema⁷. Igualmente los sistemas acuícolas utilizados para producción intensiva, en la actualidad presentan incrementos de compuestos nitrogenados tales como amonio, nitritos y nitratos, los cuales son perjudiciales para los recursos hidrobiológicos que se cultivan y en general disminuyen la eficiencia de la producción acuícola, los nitritos a dosis mayores a 1 mg/L son tóxicos para los organismos de cultivo, siendo necesario eliminar estos compuestos de dichos sistemas incurriendo en altos costos según los métodos a utilizar.⁸

⁵ TIMMONS, M, et al. Sistemas de recirculación para la acuicultura. 2002.

⁶ CHAMORRO, Legarda E, et al. Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga y trucha arcoiris en un sistema acuícola. . En: San Juan de Pasto. 2012. vol. 6.

⁷ Ibíd.

⁸ LENNTECH, B. Water treatment solution. (2014), BV, Lenntech. "Tratamiento y purificación de agua". {En línea}. {} disponible en: (<https://www.lenntech.es/index.htm>).

Debido a la escasa investigación en Nariño sobre sistemas que permitan generar mayor rentabilidad y mejor manejo para una producción tanto animal como vegetal, y además de que se logra encontrar ciertas limitantes al momento de desarrollar un proyecto de manera eficiente, se formula la siguiente pregunta ¿Cuál es la eficiencia de los sustratos en la remoción de compuestos nitrogenados en un sistema acuapónico compuesto por tilapia y lechuga?

Por lo anterior, se realizó la presente investigación con el objetivo de determinar la capacidad que tiene un sistema para la eliminación de compuestos nitrogenados y adicional a esto determinar que al ser un sistema de recirculación permite la reutilización del recurso agua disminuyendo la reposición de esta abruptamente, en este caso involucrando las especies como la tilapia, considerada de gran importancia en el sector acuícola y, la lechuga, hortaliza de valor comercial de gran importancia en la economía del sector agropecuario del departamento de Nariño.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Según la FAO⁹, expresa que “La pesca y la acuicultura siguen siendo importantes fuentes de alimentos, nutrición, ingresos y medios de vida para cientos de millones de personas en todo el mundo. La oferta mundial per-cápita de pescado alcanzó un nuevo máximo histórico de 20 kg en 2014, gracias a un intenso crecimiento de la acuicultura, que en la actualidad proporciona la mitad de todo el pescado destinado al consumo humano, y a una ligera mejora de la situación de determinadas poblaciones de peces como consecuencia de una mejor ordenación pesquera”.

La producción acuícola en Colombia se divide en dos grupos: La Piscicultura, que participa con el 84% y, el cultivo de Camarón que constituye el 16%. Según la distribución por regiones, la de mayor producción es la región Andina que concentra el 58% con su producción de tilapia y trucha, la región Caribe con el 17,5% y la región del Pacífico con el 6,5%, cuya producción se sustenta principalmente en camarón y en un cultivo emergente de tilapia, mientras que la Orinoquia aporta 16% con tilapia y cachama y La Amazonía aporta el 2% produciendo en su mayoría peces ornamentales.¹⁰

Según Muñoz¹¹ expresa que “La acuicultura ha tenido un gran crecimiento por lo cual se hace necesario integrar diferentes tipos de cultivos para obtener una mejor oferta de productos acuícolas donde los primeros pasos en este campo, comenzaron en la década de los setenta con investigaciones que buscaban desarrollar sistemas de cultivo de peces a pequeña escala, hasta la década de los ochenta, la mayoría de los intentos para integrar la hidroponía y la acuicultura tuvieron éxitos limitados, sin embargo, en 1986, gracias a las innovaciones en los sistemas de recirculación propuestas por McMurtry *et al*, se creó el primer sistema acuapónico (llamado sistema acua-vegetativo), que utilizó los efluentes de tilapia dentro de un cultivo de tomate”.

En acuaponía, los efluentes ricos en nutrientes de los tanques de los peces son usados para fertilizar la producción hidropónica. En este sistema, las raíces de las plantas y las rhizobacterias remueven los nutrientes del agua. Estos nutrientes (constituidos principalmente por las heces de los peces, algas y la descomposición de los alimentos), son contaminantes que si no se retiran podrían alcanzar niveles tóxicos para los peces, pero dentro de un sistema acuapónico sirven como fertilizante líquido para el crecimiento de las plantas. A su vez, las camas hidropónicas funcionan como un biofiltro, que mejora la calidad del agua, que será recirculada nuevamente a los tanques de los peces.¹²

⁹ FAO, El estado mundial de la pesca y acuicultura. Op. cit.

¹⁰ ARBELAEZ, Maria Cristina. El sector piscícola se destaca por su potencial exportador y desarrollo tecnológico. Programa de Productividad y Competitividad Agropecuaria del Huila (2011).

¹¹ MUÑOZ, Mario Esteban. Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador técnico: (2012).

¹² Ibid

El Nitrógeno puede estar presente en los ambientes acuáticos en formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amonio ionizado (NH_4^+), amonio no ionizado (NH_3), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), nitrógeno molecular (N_2), nitrógeno orgánico disuelto (péptidos, purinas, aminas, aminoácidos) y como nitrógeno orgánico particulado, de todas estas formas de nitrógeno, los nitratos y el amonio son los más importantes para los ecosistemas acuáticos, por cuanto constituyen la fuente principal de N biodisponible para la generación de cadenas tróficas, siendo que el amonio (NH_3) y el nitrito (NO_2^-) son tóxicos para los peces y se convierten en un factor limitante para el crecimiento y sobrevivencia de estos en cultivo, así que, removerlo o transformarlo en nitrógeno no tóxico es esencial cuando se pretende aumentar la biomasa del sistema y disminuir los riesgos.¹³

Según la resolución 0631 del 17 de marzo del 2015, capítulo 2, artículo 3¹⁴, del Ministerio de Ambiente, el cual indica el cumplimiento de la norma de vertimientos cuando la captación y descarga se realicen en un mismo cuerpo de agua. Se realiza una sustracción del valor de carga entre las mismas cantidades másicas (kg) de metales, metaloides y de los elementos sustancias o parámetros considerados para la tasa retributiva por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales. Es necesario tener en cuenta la normatividad con el fin de utilizar parámetros de calidad que regulan la utilización del recurso agua en sistemas de recirculación acuícola.

Esta investigación permitió determinar la eficiencia de remoción de compuestos nitrogenados provenientes de heces y alimento no consumido en un sistema acuapónico con el fin de mantener altas producciones de peces y plantas aprovechando los compuestos nitrogenados que se generan de cultivos intensivos, el cual está dotado bajo un sistema de invernadero en la granja experimental Botana de la Universidad de Nariño.

¹³ LUIS F COLLAZOS, Jose A Arias. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. 2015

¹⁴ MINAMBIENTE. Resolución 0631. 2015

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la remoción de compuestos nitrogenados de un sistema acuapónico de tilapia roja (*Oreochromis sp*) y lechuga (*Lactuca sativa*) utilizando cuatro niveles del factor sustrato (sin sustratos, Turba comercial, Grava, Cascarilla de Arroz) bajo condiciones de invernadero.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir las variables productivas y de calidad del agua, en el cultivo de tilapia roja en un sistema acuapónico bajo condiciones de invernadero
- Determinar los valores de compuestos nitrogenados en las diferentes unidades experimentales del sistema acuapónico.
- Realizar un análisis costo-beneficio de las alternativas propuestas, con el fin de evaluar la viabilidad de un sistema acuapónico, compuesto de tilapia roja (*Oreochromis sp*) y lechuga (*Lactuca sativa*).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ACUICULTURA EN EL MUNDO

“El aumento del suministro mundial de pescado para consumo humano ha superado al crecimiento de la población en los últimos cinco decenios, aumentando a un ritmo anual medio del 3,2 % en el período 1961-2013, el doble que el ritmo de crecimiento demográfico, lo que ha dado lugar a un incremento de la disponibilidad media per cápita”.¹⁵

El consumo aparente de pescado per cápita a nivel mundial registró un aumento de un promedio de 9,9 kg en la década de 1960 a 14,4 kg en la década de 1990 y 19,7 kg en 2013, con estimaciones preliminares que apuntan a que seguirá aumentando hasta superar los 20 kg en 2014 y 2015. Además del aumento de la producción, otros factores que han contribuido a incrementar el consumo son, por ejemplo, la reducción del despilfarro, la mejora de la utilización, el fomento de los canales de distribución, y la demanda cada vez mayor asociada al crecimiento demográfico, el aumento de los ingresos y la urbanización. El comercio internacional también ha cumplido una función importante al ofrecer mayores alternativas a los consumidores.¹⁶

En 2014, los peces recolectados de la acuicultura ascendieron a 73,8 millones de toneladas año, lo que se estimó en un valor de primera venta de 160.200 millones de USD, compuesto por 49,8 millones de toneladas de peces de escama (99.200 millones de USD), 16,1 millones de toneladas de moluscos (19.000 millones de USD), 6,9 millones de toneladas de crustáceos (36.200 millones de USD). Casi todo el pescado producido en la acuicultura se destina al consumo humano, sin embargo, los subproductos pueden utilizarse para fines no alimentarios.¹⁷

La producción acuícola mundial de pescado representó el 44,1 % de la producción total (incluidos los usos no alimentarios) de la pesca de captura y la acuicultura en 2014, una cifra superior al 42,1% alcanzado en 2012 y al 31,1% registrado en 2004. Todos los continentes han mostrado una tendencia general de aumento del porcentaje de la producción acuícola en el total de la producción pesquera.¹⁸

¹⁵ FAO, El estado mundial de la pesca y acuicultura. Op. cit.

¹⁶ ARBELAEZ, El sector piscícola se destaca por su potencial exportador y desarrollo tecnológico. Op. cit.

¹⁷ FAO, El estado mundial de la pesca y acuicultura. Op. cit.

¹⁸ *Ibíd.* p 22

3.2 ACUICULTURA EN COLOMBIA

La acuicultura en Colombia se inició a finales de los años 30 del siglo XX con la introducción de la Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) para repoblamiento en aguas de uso público en lagunas naturales ubicadas en altiplanicies de más de 2500 msnm en la Región Andina; posteriormente fueron introducidas la Carpa común (*Cyprinus Carpio*) y la Tilapia Rendalli, se iniciaron las experiencias de cultivo con el tucunaré (*Cichla ocellaris*) para controlar la reproducción de tilapias en los estanques. También en esa época se iniciaron los estudios con especies nativas, especialmente con el bocachico (*Prochilodus magdalenae*) de la cuenca del río Magdalena y en 1968 se iniciaron los cultivos experimentales con ostras de mangle (*Crassostrea rizophorae*), en la década de 1980 se introdujeron al país las tilapias (*Oreochromis niloticus*) y (*Oreochromis sp*) para fomentar la acuicultura en estanques y diversificar las fuentes de ingreso de los pequeños productores campesinos, con esfuerzos realizados primero por la Federación Nacional de Cafeteros y más tarde por el Programa de Desarrollo Rural Integrado (DRI). En esa época el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente - INDERENA, entonces Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura, empezó a promocionar el cultivo de la cachama blanca en los Llanos Orientales.¹⁹

La acuicultura produjo casi 88.000 toneladas de pescado para consumo local y exportación en 2013 y 100.000 toneladas en 2014. El sector está dominado en gran medida por la piscicultura de agua dulce interior y los pequeños agricultores produjeron cerca de un tercio del volumen total. Tres especies representan el grueso de la producción: la tilapia roja y plateada contribuyen alrededor de dos tercios del volumen total, mientras que la trucha arco iris y la cachama blanca y negra representan cada una alrededor del 13%. El camarón es la principal especie cultivada en aguas marinas, pero la producción ha disminuido a niveles muy bajos tras un brote de la enfermedad de las manchas blancas y tasas de cambio desfavorables.²⁰

No se ha realizado un censo de granjas piscícolas. El diagnóstico de la Acuicultura de Recursos Limitados (AREL) realizado por el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER) en el 2011 con apoyo de la FAO, estimó que hay 26304 granjas AREL y 2854 tipo AM y PE (Acuicultura de la micro y pequeña empresa) en el país. La estimación de la AUNAP del número de acuicultores medianos y grandes es de cerca de 245, estando la gran mayoría de ellos localizados en los departamentos de la Región Andina y en algunos departamentos de las regiones de la Orinoquia y la Amazonía, en donde casi todos los cultivos se ubican en el pie de monte de la Cordillera Oriental.²¹

¹⁹ AUNAP. Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia. En: PlaNDAS. 2014

²⁰ OCDE. "Pesca y acuicultura en Colombia". {En línea}. {} disponible en: (https://www.oecd.org/tad/fisheries/Fisheries_Colombia_SPA_rev.pdf).

²¹ FAO. Diagnostico de la acuicultura de recursos limitados (AREL) y de la acuicultura de la micro y pequeña empresa (AMYPE) en america latina. En: Serie acuicultura en latinoamerica. 2012. vol. 7

3.3 ACUICULTURA Y CONTAMINACIÓN

La acuicultura impacta en el medio ambiente a través tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final. Para producir el alimento de especies carnívoras, como los salmónidos, se está generando una alta presión sobre los bancos de peces. Además, la intervención intensiva que generan las prácticas acuícolas va degradando el medio ambiente: primero por la utilización del agua que recibe grandes cantidades de desechos, como el alimento no consumido por los peces que sedimenta en el fondo, dañando un espacio que no sólo es utilizado por los peces cultivados sino también por otras las especies; segundo porque se introducen antibióticos y sustancias químicas al ecosistema, necesarias para realizar la actividad, además la introducción de ovas foráneas aumenta la probabilidad de expansión de enfermedades en el medio, entre otros impacto; finalmente se genera una enorme cantidad de desechos en el proceso de faena del producto que muchas veces termina en los cursos de agua. A esto se agrega que una significativa porción de los nutrientes queda disueltos en la columna de agua, produciendo fenómenos de eutrofización.²²

3.4 ACUAPONÍA

La Acuaponía es un sistema de recirculación sustentable y totalmente noble con la naturaleza ya que funciona como cualquier otro ecosistema natural. La “Acuaponía es el nombre que se le da a la fusión de la acuicultura (cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, crustáceos) y la hidroponía (cultivo de plantas colocando las raíces en soluciones nutrientes)”²³, en un mismo sistema donde tanto los organismos acuáticos como los vegetales, se benefician el uno al otro. Por un lado, los desechos de los peces sirven como nutrientes para el crecimiento de las plantas, y éstas a su vez, los absorben del agua permitiendo que ésta se encuentre disponible nuevamente para los peces, ya que de otra manera, serían tóxicos y no podrían subsistir sin cambio alguno. Junto con la ayuda de microorganismos que existen en este filtro biológico complementan los procesos de mineralización y nitrificación.²⁴

3.5 SISTEMAS DE CULTIVO

Los sistemas de cultivo conocidos cubren aquellos de tipo comercial que se desarrollan en forma semi-intensiva e intensiva en nuestro país, por tratarse de una especie exótica que no puede cultivarse libremente en forma extensiva en ambientes naturales. Los cerramientos o recintos empleados para ello abarcan desde estanques excavados en tierra en sistema semi-intensivo o intensivo, hasta jaulas o recintos suspendidos en cuerpos de agua aptos y manejados intensivamente o bien, sistemas intensivos con recirculación parcial o total del agua (semi-cerrados o cerrados, respectivamente). Estos últimos son empleados

²² BUSCHMANN, ALEJANDRO H. IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA EL ESTADO DE LA INVESTIGACION EN CHILE Y EL MUNDO. En: Santiago, Chile. 2001

²³ PADILLA, Juana Arroyo. Acuaponia. 2012

²⁴ ACUAPONICO, SISTEMA. ACUAPONIA, UN SISTEMA INNOVADOR EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS.

especialmente para cultivos instalados fuera del área climática de posible producción de la especie y siempre que su costo sea rentable para un productor.²⁵

3.6 SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA

Para lograr la sustentabilidad en los cultivos acuícolas es necesario intensificar los cultivos, valiéndose de tecnología como los sistemas de recirculación acuícola (SRA) y tratamiento de la misma, optimizando un recurso tan valioso. La utilización de la tecnología en el tratamiento de agua tiene como ventajas: un monitoreo y control constante de las variables físico-químicas y sanitarias del agua, la reutilización del agua y producciones de altas densidades.²⁶

Los sistemas de recirculación de agua son sistemas de cultivo en los que una porción o toda del agua se procesan a través de sistemas de filtración para restaurar la calidad del agua y luego es reciclada hacia los tanques, la utilización de filtros en la acuicultura, tiene como objetivo la eliminación de sustancias y organismos indeseables en el agua de cultivo; para la acuicultura el nitrógeno es de central preocupación como componente de los residuos generados en la crianza de peces, en particular, los peces excretan varios productos nitrogenados residuales por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces, la descomposición de estos compuestos nitrogenados es especialmente importante en sistemas de recirculación debido a la toxicidad del amoníaco, nitrito y nitrato.²⁷

El medio usado en los biofiltros debe ser inerte, no compresible, y no degradable biológicamente. Los más utilizados en biofiltros en acuicultura son arena, roca molida o ripio de río, algunas formas de material plástico o cerámico en forma de pequeños gránulos o grandes esferas, anillos.²⁸

3.6.1 Caudal

El caudal es uno de los parámetros importantes en las determinaciones que se realizan "*in situ*" ya que de él dependerá en gran parte las concentraciones de los contaminantes en las muestras. Cuanto mayor sea el caudal menor será el impacto de contaminación.²⁹

²⁵ L, Luchini. "TILAPIA: SU CULTIVO Y SISTEMAS DE PRODUCCION". {En línea}. {} disponible en: ([https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/especies/_archivos/000008-Tilapia/071201_Generalidades%20acerca%20del%20cultivo%20\(Parte%2001\).pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/especies/_archivos/000008-Tilapia/071201_Generalidades%20acerca%20del%20cultivo%20(Parte%2001).pdf)).

²⁶ FAO, El estado mundial de la pesca y acuicultura. Op. cit.p 28

²⁷ GALLI, M. O; Miguel. S. F. Sistemas de recirculación y tratamiento de agua. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y alimentos. En: CENADAC (Santa Ana-Corrientes. 2007

²⁸ *Ibíd.*p 28

²⁹ METALES PESADOS Y COMPONENTES MAYORITARIOS EN AGUAS, Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94296/04ComponentesAguas01.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

3.7 TRATAMIENTO DE AGUAS

En la acuicultura, el Nitrógeno es de central preocupación como componente de los residuos generados en la crianza de peces. En particular, los peces excretan varios productos nitrogenados residuales por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces. La descomposición de estos compuestos nitrogenados es especialmente importante en sistemas de recirculación de acuicultura debido a la toxicidad del amoníaco, nitrito y en algún grado el nitrato.³⁰

Halling-Sørensen, et al expresa que “Los procesos biológicos no asimilativos, como la nitrificación y la desnitrificación, han constituido la forma más efectiva, sostenible y económicamente factible de eliminación de nitrógeno de las aguas residuales”.³¹

3.7.1 Asimilación del nitrógeno Según Maldonado³² los dos procesos biológicos por los que el nitrógeno inorgánico es convertido en nitrógeno orgánico son la fijación del nitrógeno molecular (N₂) y la asimilación del nitrato. Aunque el gas di nitrógeno presente en la atmósfera constituye el mayor reservorio de nitrógeno inorgánico disponible, sólo ciertos procariontas en estado libre o en asociación con algunas plantas (principalmente, leguminosas), son capaces de fijar y asimilar dicha forma de nitrógeno. La asimilación del nitrato consta de tres etapas: **1.** absorción, **2.** reducción del nitrato a amonio y **3.** incorporación del amonio a esqueletos carbonados para la síntesis de aminoácidos, proceso que recibe el nombre específico de asimilación del amonio.

3.7.2 Producción de NAT. En teleósteos la excreción de desechos nitrogenados, se produce principalmente en forma de amonio no ionizado (NH₃), resultado del catabolismo de aminoácidos, denominándolos organismos amoniotélicos³³, además en peces, el nitrógeno amoniacal total (NAT) es el primer producto metabólico, representado entre el 70 al 95% del nitrógeno total excretado³⁴; Está conformado por la concentración de amonio y amoniaco. Los valores de amoniaco deben fluctuar entre 0.01 – 0.1 mg.L-1 (valores cercanos a 2 mg.L-1 ya son críticos). El amoniaco es tóxico y depende del pH y de la temperatura del agua. Los niveles de tolerancia propiamente dichos para la tilapia se encuentran en un rango de 0.6 – 2.0 mg.L-1.³⁵

³⁰ *Ibíd.* p 28

³¹ B. HALLING-SØRENSEN, S.E. Jorgensen. The Removal of Nitrogen Compounds from Wastewater. 1993.

³² MALDONADO, JOSÉ. FUNDAMENTOS DE FISIOLÓGÍA VEGETAL. Asimilación del nitrógeno y del azufre. Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FisioVegetal/15.pdf>

³³ WALSH PJ, Mommsen TP. Evolutionary considerations of nitrogen metabolism and excretion. Nitrogen Excretion. Academic Press. San Diego, EEUU: Remen M, Imsland AK, Stefansson SO, Jonassen TM, Foss A. Interactive effects of ammonia and oxygen on growth and physiological status of juvenile atlantic cod (*Gadus morhua*). Aquaculture., 2001.

³⁴ SJ, Kaushik. Factores que afectan la excreción nitrogenada en teleósteos y crustáceos. Avances en nutrición acuícola memorias del IV Simposium internacional de nutrición acuícola. Monterrey, México, 2000.

³⁵ BALTAZAR, P; PALOMINO, A. . Manual de Cultivo de Tilapia. FONDEPES (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero). En: LIÑAN, W. 2007 MACRO. 110 p. (Colección de Acuicultura). 2004

3.7.3 Biofiltro. Para convertir el amonio tóxico liberado por los peces en nitrato inofensivo, el cual es un buen alimento para las plantas. Tres cosas son necesarias para la óptima operación de un biofiltro: **A:** bacterias nitrificantes, las cuales se encuentran en los ambientes terrestres y acuáticos; **B:** un sustrato para que las bacterias se adhieran (arena, grava, plásticos, etc.) y **C:** oxígeno.³⁶

En la biofiltración existen dos tipos de bacterias las que colectivamente ejecutan la nitrificación. Estas son generalmente catalogadas como bacterias quimioautótrofas, ya que obtienen la energía de la oxidación de compuestos inorgánicos a diferencias de las bacterias heterótrofas que obtienen energía oxidando compuestos orgánicos. Las bacterias de oxidación del amoniaco obtienen su energía oxidando amoniaco no ionizado a nitrito como: Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus y Nitrosovibrio. Las bacterias de oxidación del nitrito al nitrato son: Nitrobacter, Nitrococcus, Nitrospira y Nitrospina. Las bacterias nitrificantes son principalmente autotróficas obligadas, que consumen dióxido de carbono, y aeróbicas obligadas, que requieren oxígeno para desarrollarse. Las bacterias heterotróficas crecen significativamente más rápido que las bacterias nitrificantes y prevalecen por sobre estas compitiendo por espacio y oxígeno en los biofiltros cuando las concentraciones de materia orgánica disuelta y particulada son altas. Por ese motivo, es imperativo que la fuente de agua para los biofiltros sea mantenida tan limpia como sea posible con la mínima concentración de sólidos totales.³⁷

3.7.4 Nitrificación. El amoniaco es el principal producto final del catabolismo de la proteína y es excretado por los peces como amoniaco no ionizado (NH_3) a través de las branquias. El amoniaco existe en dos formas: no ionizado y ionizado y la suma de las dos formas se denomina amoniaco total o simplemente amoniaco (NAT).³⁸

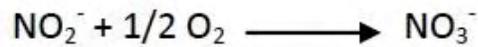
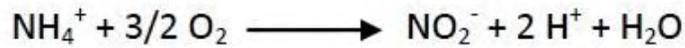
³⁶ GUTIÉRREZ, Mario Esteban Muñoz. Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador Técnico. (2012).

³⁷ GALLI, Sistemas de recirculación y tratamiento de agua. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y alimentos. Op. cit.

³⁸ GALLI. 2007, Op. Cit., p 17.

Figura 1. Proceso de nitrificación.

Nitrificación



3.7.5 Balance de masas El flujo del agua es el mecanismo a través del cual el oxígeno es transportado hacia un estanque de cultivo de peces y por lo cual los productos residuales generados son retirados. El diseño de un sistema de recirculación de acuicultura (SRA) debe asegurar que los importantes parámetros que afectan la calidad del agua y la productividad de los peces, oxígeno, amoníaco, dióxido de carbono y los sólidos suspendidos se mantengan adecuadamente balanceados. Esto requiere calcular el valor de cada uno de estos parámetros independientemente para determinar los umbrales de cada uno. Mientras se mantiene un parámetro en particular, puede ser muy alta para mantener a otro. La misma premisa de balance de masa puede ser utilizada en cualquier variable que afecte la calidad del agua. Simplemente se trata de balancear el transporte de ingreso, la producción de un parámetro en particular dentro del estanque de cultivo y el transporte de salida.³⁹

³⁹ TIMMONS, Sistemas de recirculación para la acuicultura. Op. cit.

3.4. GENERALIDADES DE LA TILAPIA ROJA

3.4.1 Generalidades de la tilapia. Según Morales⁴⁰ los cíclidos se diferencian de otros peces de agua dulce, por la presencia de un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, cuerpo comprimido discoidal, boca protráctil con labios gruesos; estos peces pueden sobrevivir en aguas estancadas y encuentran buenos escondites entre piedras y raíces de plantas acuáticas.

El mismo autor menciona que el género de la tilapia es de origen africano, a la cual pertenecen cerca de 100 especies, distribuidas en gran parte por el continente africano y una menor cantidad en Asia, muchas han tenido éxito siendo introducidas en varias partes del mundo y cultivadas en aguas dulces como salobres.

Figura 2. Tilapia Roja (*Oreochromis sp*)



⁴⁰ MORALES DÍAZ, Armando. Biología, cultivo y comercialización de la tilapia. México D.F: AGT. Editor, S.A. 2004. p. 4-12

3.4.2 Clasificación taxonómica.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica tilapia roja (*Oreochromis sp*) Según Carl D Webster)⁴¹

| | |
|-------------------|------------------|
| Phylum | Chordata |
| Subphylum | Vertebrata |
| Superclase | Gnathotomata |
| Serie | Pisces |
| Clase | Actinopterygii |
| Orden | Perciforme |
| Suborden | Percoidei |
| Familia | Cichlidae |
| Género | Oreochromis sp . |

3.4.3 Biología de la tilapia. Giraldo afirma⁴² que:

“Las características más importantes en cuanto a la biología de la tilapia son que viven a rangos muy amplios de temperatura, alcanzan una edad de madurez sexual entre 4 a 6 meses en machos y 3 a 5 meses en hembras logrando desoves que van de 5 a 8 veces al año a temperaturas de 25 a 31°C estos desoves aproximadamente de 1500 huevos dependiendo de la hembra, además se sabe que una tilapia puede ser reproductor hasta 2 o 3 años como máximo; el tiempo de incubación es de 3 a 6 días, y esta incubación es bucal de acuerdo a la especie con la que se esté trabajando”.

La Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*), también conocida como Mojarra Roja, es un híbrido, resultado del cruce de varias especies de Tilapias; el peso de los reproductores puede oscilar de 1000 a 3000 gramos con una proporción de 2 machos por cada 3 hembras, mientras que el peso comercial de 300 gramos lo puede alcanzar de 7 a 8 meses dependiendo de las condiciones fisicoquímicas y la densidad de siembra.⁴³

⁴¹ CARL D WEBSTER, Chhorn Lim Tilapia biology, culture and nutrition 2001.

⁴² GIRALDO, Wilbert E Liñan. Crianza de tilapia. 2007.

⁴³ Ibíd.

3.4.4 Calidad de agua. Según Cantor⁴⁴ está determinada por sus propiedades físico-químicas, destacando: temperatura, oxígeno, pH. Estos parámetros influyen en los aspectos productivos y reproductivos de los peces, por lo que, los parámetros del agua deben mantenerse dentro de los rango óptimos para el desarrollo de la tilapia.

Cuadro 2. Rangos óptimos de calidad de aguas para la tilapia (Según Cantor⁴⁵)

| Parámetro | Rango |
|--|-----------|
| Temperatura °C | 24 - 28 |
| pH | 6,5 - 9 |
| Oxígeno disuelto mg/L | 3 - 10 |
| Dureza (Alcalinidad CaCO ₃) mg/L | 10 - 500 |
| Dióxido de carbono mg/L | 0 - 2 |
| Amonio (mg/L) | 0,6 - 2 |
| Nitritos (mg/L) | < 1 |
| Nitratos (mg/L) | 300 - 500 |

3.5 CULTIVO DE LECHUGA

De acuerdo con Casseres⁴⁶ “el origen de la lechuga remota del año 4000 A.C, de la antigua civilización egipcia, donde se han encontrado registros pictóricos en varias tumbas de los faraones, pero se conoció bien alrededor de año 500 A.C”.

El mismo autor menciona que existen gran cantidad de variedades originadas a partir de la especie *Lactuca serriola*, y en general es típica de climas templados y húmedos; las temperaturas mayores a 21°C aceleran el desarrollo floral pero la calidad de la lechuga se deteriora por el calor. Para su cultivo se recomienda temperaturas medias entre 15 y 18°C, con máximas de 21 a 24°C y mínimas de 7 °C.

⁴⁴ CANTOR A., F. Manual de Producción de Tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. México. Puebla, Mexico: (2007).

⁴⁵ Ibíd.

⁴⁶ CASERES, Ernesto. Produccion de Hortalizas. En: Intituto Interamericano de ciencias agricolas. San Jose de Costa Rica, 1980

3.5.1 Clasificación taxonómica.

Cuadro 3. Clasificación taxonómica lechuga (*Lactuca sativa*) Según National Center for Biotechnology Information (NCBI).

| | |
|------------------|---------------------------------------|
| Reino: | Plantae |
| Subreino: | Embryobionta |
| División: | Magnoliophyta |
| Clase: | Magnoliopsida |
| Subclase: | Asteridae |
| Orden: | Asterales |
| Familia: | Asteraceae |
| Género: | Lactuca |
| Especie: | <i>Lactuca sativa</i> . ⁴⁷ |

3.5.2 Descripción botánica. La lechuga es una planta herbácea, anual y bianual, que cuando se encuentra en su etapa juvenil contiene en sus tejidos un jugo lechoso de látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta; se reporta que las raíces principales de absorción se encuentran a una profundidad de 5 a 30 centímetros, la raíz principal llega a medir hasta 1.80 m por lo cual se explica su resistencia a la sequía. Llega a tener hasta 80 cm de altura.⁴⁸

Las hojas de la lechuga son lisas, sin pecíolos (sésiles), arrosetadas, ovales, gruesas, enteras y las hojas caulinares son semi amplexicaules, alternas, auriculado abrazadoras; el extremo puede ser redondo rizado, su color va del verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo de cultivar; el tallo es pequeño y no se ramifica; sin embargo cuando existen altas temperaturas (mayor de 26 °C) y días largos (mayor de 12 horas) el tallo se alarga hasta 1.20 m de longitud, ramificándose el extremo y presentando cada punta de las ramillas terminales una inflorescencia .⁴⁹

La inflorescencia está constituida de grupos de 15 a 25 flores, las cuales están ramificadas y son de color amarillo, las semillas son largas (4-5 mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas recién cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia de oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30 °C) para inducir la germinación, el fruto de la lechuga es un aquenio, seco y oblongo.⁵⁰

⁴⁷ INFORMATION, NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY. "Taxonomy". {En línea}. {} disponible en: (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>).

⁴⁸ LOPEZ, Valdez. Producción de hortalizas. 1989.

⁴⁹ Ibíd.p 150

⁵⁰ Ibíd.p 150

3.6 SUSTRATOS

En los sistemas acuapónicos, los sustratos más adecuados para remplazar el suelo son aquellos que por su composición estructural (estabilidad y granulometría) aseguran una buena aireación, son ideales aquellos que ofrecen la posibilidad de una proporción aproximada del 30% de materiales y un 70% de espacios vacíos los cuales deben ser ocupados en cantidades iguales tanto de aire como de agua⁵¹. Algunos de los medios más utilizados dentro de los cultivos sin suelo son vermiculita, perlita, pumita, turba, cascarilla de arroz, piedra pómez entre otros.

3.6.1 Turba. De acuerdo con Lucas citado por Resh⁵², “la turba consiste en vegetación acuática parcialmente descompuesta, la composición de los diferentes depósitos de turba varía ampliamente, dependiendo de la vegetación original, estado de descomposición, contenido mineral y grado de acidificación; existen tres tipos de turba, turba de musgo, de cañaveral y de hongos, la primera es menos descompuesta, teniendo una alta capacidad de retención de humedad (diez veces su peso en seco) con acidez elevada (pH 3,8 – 4,5) y también con una pequeña cantidad de nitrógeno cerca del 1%”⁵³.

Otros autores como Bigelow et. al⁵⁴ señalan “la alta porosidad de musgo de turba (aproximadamente 74 %), que es un resultado de su estructura esponjosa, permite una alta absorción de agua. Además, también se caracteriza por tener una baja cantidad de semillas y plantas denominadas como mala hierba, lo que disminuye el riesgo de propagación de plagas”⁵⁵.

3.6.2 Cascarilla de arroz. Este sustrato es un material técnicamente inerte (Sin reacción física o química) que reúne varias funciones importantes tales como, capacidad para retener humedad, capacidad de proteger la raíz, servir de anclaje a la planta, etc.⁵⁶

Autores como Resh⁵⁷; mencionan que “antes de utilizar este material, debe ser humedecido durante varias semanas para evitar la germinación de algunas semillas que ocasionen el uso de mano de obra después del funcionamiento del sistema ya que este tipo de hierba debe ser arrancado a mano”.

⁵¹ PARRA, Pablo. MANUAL HIDROPÓNICO. En: Una huerta en su casa. San Cristobal Bogota 1989.

⁵² M., HOWARD RESH. Cultivos hidropónicos. Barcelona España2006.

⁵³ Ibíd.

⁵⁴ BIGELOW, Cale A. BOWMAN, Daniel C. CASSEL, Keith. . Physical Properties of Three Sand Size Classes Amended with Inorganic Materials or Sphagnum Peat Moss for Putting Green Rootzones. . En: Crop Science. 2004. vol. 44

⁵⁵ REEDY, S. Is peat helping you. En: Growertalks. 2005

⁵⁶ MOYANO, Gil. Cultivos hidropónicos. Universidad Estatal Abierta y a Distancia. 1989.

⁵⁷ M., Cultivos hidropónicos. Op. cit.p 337

Evans et al⁵⁸, demostró que “la cascarilla de arroz, puede ser utilizada como sustrato orgánico que puede mejorar el drenaje y la aireación del cultivo gracias a los espacios que tiene entre poro. En otras experiencias se ha reportado que al mezclarse con otro sustrato como zeolita incrementa la producción y calidad del cultivo de tomate (*Solanumly copersicum L*)”.⁵⁹

3.6.3 Grava. La grava son pequeñas partículas que se obtienen de materiales procedentes de canteras que son triturados, las que miden alrededor de 1 a 2 mm de diámetro son las que se utilizan en la hidroponía, la grava proporciona una excelente aireación; sin embargo, la retención de humedad es muy escasa (aprox. 17%).⁶⁰

⁵⁸ EVANS, Michael. GACHUKIA, Mary. Physical Properties of Sphagnum Peat-based Root Substrates Amen ded with Perlite or Parboiled Fresh Rice Hulls. En: Hort science. 2004. vol. 2

⁵⁹ PEÑA, Mayda Y. CASIERRA-POSADA, Fánor. MONSALVE, Oscar I. Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. En: Colombiana de ciencias hortícolas. 2013. vol. 2.

⁶⁰ SONIA CAMPOS, José Armando. Hidroponía Y Acuaristica Del Caribe. . 2012

4 DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero en la granja experimental Botana perteneciente a la universidad de Nariño, ubicada en el corregimiento de Catambuco, Vereda Botana a una altura de 2820 msnm, coordenadas geográficas 01° 09' 12" LN y 77° 18' 31" LW, cuenta con una temperatura promedio de 12,6°C, 900 horas sol/año, humedad relativa del 79% y una precipitación anual de 967 mm/año.⁶¹

Figura 3. Mapa ubicación de la granja experimental Botana (Catambuco)



Granja Experimental Botana Universidad de Nariño [online]

4.2 INSTALACIONES, EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.2.1 Instalaciones. La Granja Experimental Botana cuenta con una extensión de 140 hectáreas, de las cuales se utilizó un área total de 150 m² que se distribuye de la siguiente manera:

- 16 m² módulo acuapónico (3 módulos).
- 8 m² modulo hidropónico.

La investigación se realizó en el invernadero tipo túnel, utilizando 1 módulo acuapónico.

⁶¹ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS MEDIO AMBIENTALES. "IDEAM Datos Meteorológicos". {En línea}. {}.

Figura 4. Instalaciones del proyecto acuapónico.



(A): Invernadero tipo túnel.

(B): Módulos acuapónicos

4.2.2 Equipos. Los equipos utilizados en esta investigación fueron los siguientes:

Balanza digital CL SERIES.

Oxímetro YSI 550 A.

Espectrofotómetro SPECTRONIC 20 D+.

Electro bomba sumergible PEDROLLO 0.5 HP.

Blower RESUN AIR PUMP LP 50 Watts.

Picnómetro.

Cronometro.

Beaker 500 ml.

Termostatos.

Reactor Hach DRB 200.

Computador Accer.

Cámara digital Canon.

4.2.3 Materiales. Se utilizaron los siguientes

Tanque 500 litros.

Tanque cónico plástico 105 litros.

Tanque plástico rectangular industrial. 330 litros.

2 Tanques plásticos rectangulares industrial. 80 litros.

Tuberías y accesorios PVC sanitaria y presión.

Piedras difusoras en barra, manguera para acuario.

Estructuras metálicas de soporte para los sistemas.

Tubos PVC 4" x 3 metros con 12 perforaciones.

Calefactor digital (resistencia, termocupla y controlador)

Baldes plásticos.

Silicona.

Pistola de silicona.

Nasas.
Vasos plásticos.
Probetas.
Erlenmeyer de 100 ml.
Pipetas de 10 ml y 20 ml.
Tubos de ensayo de 10, 50 y 500 ml.
Ictímetro.

4.2.4 Insumos

Sulfato de manganeso.
Ácido Hipocloroso.
Sal de fenol.
Reactivo colorante.
Ácido clorhídrico.
Fenolftaleína.
Indicador mixto.
Indicador NET.
Indicador murexide.
Hidróxido de sodio.
Ácido sulfúrico.
Solución reguladora pH.
Eugenol.
Alimento comercial 32% proteína.
Sustratos (turba, cascarilla de arroz, grava).
Sal marina.

4.3 PLAN DE MANEJO

4.3.1 Recolección de datos La información registrada correspondió a la adecuación del sistema, siembra de plantas y peces tanto para parámetros fisicoquímicos, productivos, peso, talla inicial y final, cantidad de compuestos nitrogenados generados en el tanque de cultivo, salida del filtro y en cada tratamiento del estudio.

4.3.2 Material Biológico los animales que se utilizaron para la ejecución de este proyecto fueron provenientes de una estación acuícola ubicada en el municipio de Remolino, los cuales fueron extraídos por medio de chinchorro y transportados a el área de ejecución del proyecto, con un peso aproximado de $134,40 \pm 31,94$ gramos y una talla de $19,02 \pm 1,41$ cm, utilizándose 25 ejemplares iniciando con una carga de $7,47 \text{ kg/m}^3$ y finalizando con una carga de $11,77 \text{ Kg/m}^3$ De igual manera se dispuso de 144 plántulas de Lechuga de 15 días de germinadas.

Figura 5. Recolección de material Biológico (tilapia roja)



Figura 6. Siembra en el tanque de cultivo



4.3.3 Adecuación de instalaciones el sistema acuapónico fue adecuado con el fin de que se realice correctamente la recirculación del agua, se tuvo en cuenta la implementación de la caja de nivel, los tubos de PVC, tanque de cultivo, clarificador, biofiltro y sumidero, siendo necesario realizar pruebas hidráulicas antes de iniciar esta investigación, también se adecuó el laboratorio de calidad de aguas del programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño.

Figura 7. Adecuación del sistema acuapónico y laboratorio de calidad de aguas utilizado en el desarrollo de la investigación



A B

(A) Sistema acuapónico, (B) Laboratorios de calidad de aguas

4.3.4 Limpieza y desinfección. Se realizó previamente una desinfección a cada componente del sistema acuapónico utilizando hipoclorito de sodio a una dosis del 5 g/L, posteriormente se dio paso a recircular el agua y enjuagar con el fin de retirar residuos.

4.3.5 Caja de nivel constante. Se utilizó un tanque rectangular de 80 litros se conforma por cuatro cámaras de aquietamiento una de estas realiza la distribución del agua a cada uno de los tubos de PVC (Unidad experimental), también se conforma por dos reboses que llevan nuevamente el agua hacia la caja de succión.

Figura 8. Caja de nivel constante.



4.3.6 Unidades experimentales. Se dispuso 12 tubos de PVC de 4" diámetro y un largo de 3 metros con una pendiente de $0.0016^m/m$, el transporte de agua se realiza por medio de flujo libre, gravedad y bombeo, el agua que ingresa es aireada con piedras difusoras en barra para cada uno de los tubos, se realizaron perforaciones de 2" de diámetro sirviendo de soporte para la siembra de lechuga, con un total de doce (12). A cada tubo por medio de una distribución completamente al azar se dispuso sustratos (cascarilla de arroz, grava, turba) y el blanco, cada uno de estos con las plántulas y sirviendo de soporte vasos de plástico y espuma.

Figura 9. Unidades experimentales conformadas por 12 tubos de PVC



4.3.7 Tanque de cultivo. Se utilizó un tanque plástico negro con capacidad neta de 500 L y se dispuso un volumen efectivo de 450 L, donde se sembraron los ejemplares de tilapia roja.

Figura 10. Tanque de cultivo.



4.3.8 Clarificador. Se utilizó tanque cónico de 110 litros en el cual por medio de flujo ascendente recibe agua del tanque de cultivo, la entrada se dispone de dos (2) tubos en forma de T, con el fin de disminuir la velocidad del agua generando que los sólidos más pesados se sedimenten de forma más eficiente.

Figura 11. Clarificador.



4.3.9 Biofiltro. Se utilizó un tanque industrial de 330 litros, el agua ingresa desde el clarificador por flujo ascendente el cual distribuye esta de forma uniforme por medio de tubería tipo flauta, se conforma por tres (3) tipos de grava de diferente diámetro, soportada en una malla mosquitera, con una base plástica y aireación.

Figura 12. Biofiltro.



4.3.10 Sumidero. Compuesto por un tanque de 80 litros, donde el agua ingresa por rebose desde el biofiltro, en tubería PVC de 1 ½ pulgadas, en el cual está dispuesta la bomba de succión para enviar el agua hacia la caja de nivel constante.

Figura 13. Sumidero, bomba y entrada de reboses.



4.3.11 Unidad de aireación. Se utilizó dos (2) blower RESUN AIR PUMP LP con una potencia de 50 Watts, distribuyendo está a cada uno de los tubos PVC, tanque de cultivo y biofiltro.

Figura 14. Blower con sus respectivas salidas de aire.



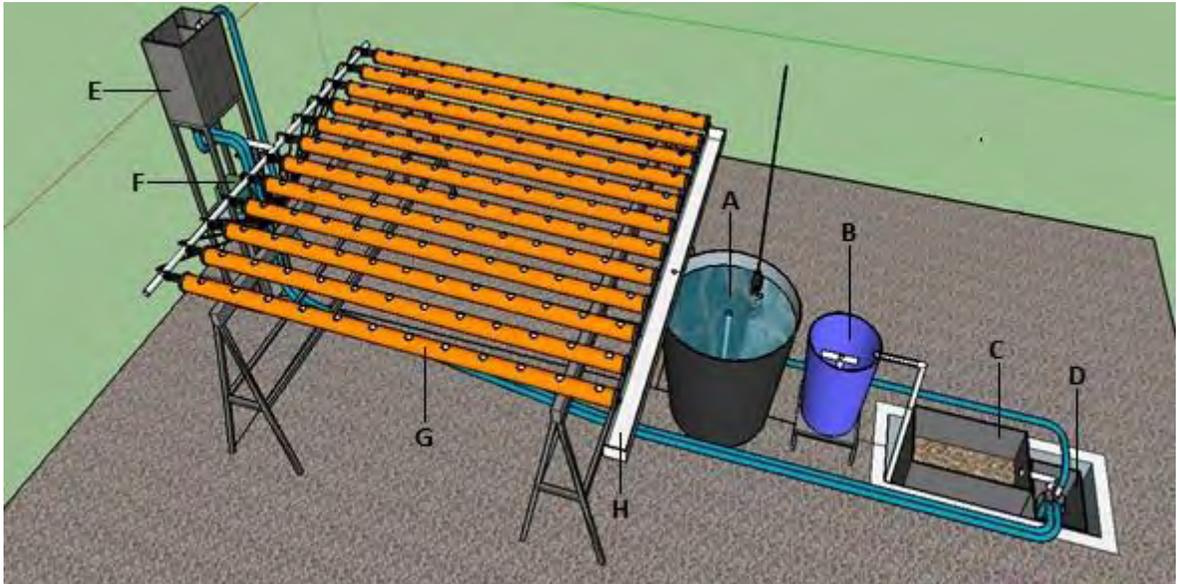
4.3.12 Tanques para almacenamiento de agua. Se usó 1 tanque de 1000 litros para el almacenamiento, maduración y reposición del agua para el sistema acuapónico.

Figura 15. Tanque para maduración de agua.



4.3.13 Descripción general del sistema acuapónico. El proceso de recirculación inicia en el tanque de cultivo, un rebose central es encargado de llevar los sólidos hacia el clarificador a través de flujo ascendente, en la entrada se encuentra una tubería con forma de T, la cual ayuda a disminuir la velocidad del agua haciendo que los sólidos más pesados se sedimenten; al pasar hacia el biofiltro la entrada del agua es por flujo ascendente, se encuentran diferentes tipos de grava, siendo este un medio de fijación para las bacterias; posteriormente el agua se dirige hacia el sumidero, la bomba se encarga de llevar el agua hacia la caja de nivel constante, la cual consta de una salida que distribuye el agua a cada uno de los tubos de cultivo, estos tubos de cultivo tienen sustratos diferentes el cual les da soporte a las plantas, el agua sale y se recolecta en una canaleta que llega nuevamente al tanque de cultivo y así empieza nuevamente el ciclo de recirculación del agua, como se indica en la figura 16.

Figura 16. Diseño sistema acuapónico



Donde:

- A:** Tanque de cultivo.
- B:** Clarificador.
- C:** Biofiltro.
- D:** Sumidero.
- E:** Caja de nivel constante.
- F:** Unidad de aireación.
- G:** Unidades experimentales.
- H:** Canaleta de recolección de agua.

4.4 TRASPORTE Y ACLIMATACIÓN

Los animales fueron transportados desde el Remolino hasta la granja experimental de la Universidad de Nariño Botana, se utilizó un tanque de 250 litros con suficiente aireación. Una vez llegaron los animales se realizó un tratamiento con sal de 1 g/L durante el transporte y permanganato de potasio 6 mg/L durante 15 minutos antes de pasarlos al tanque de cultivo, según la FAO⁶² el permanganato de potasio en una dosis de 5 - 10 mg/L, es un buen desinfectante si no hay materia orgánica que lo destruya, esto con el fin eliminar bacterias o microorganismos procedentes del lugar de la extracción. Se realizó la aclimatación

⁶² FAO. "prevención y tratamiento de enfermedades de los peces ". {En línea}. {} disponible en: (ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/).

de los animales hasta que se equilibró la temperatura y el pH del tanque de transporte hacia la unidad de cultivo.

Figura 17. Recepción de material biológico y aclimatación



4.5 ALIMENTACIÓN

Para el proceso de alimentación se utilizó concentrado comercial de 35% de proteína, para lo cual se tuvo en cuenta la biomasa poblacional, se alimentó con una frecuencia de 4 comidas diarias con intervalos de tiempo de 2 horas iniciando la primera alimentación a las 8:00 am y terminando a las 5:00 pm.

4.6 MUESTREO

El censo de los animales se realizó cada 15 días, tomando la totalidad de los ejemplares del sistema, se cuantificó el peso y la talla utilizando para este muestreo un anestésico a base de clavo de olor (eugenol) en dosis de 1 ml por galón de agua, siendo esta la dosis recomendada por, Arzu y Muhammed⁶³. Para este proceso los animales se trasladaron a un balde de 12 Litros con aireación, dejando a los ejemplares por un tiempo aproximado de 3 minutos, posteriormente se procedió a medir el peso y la talla, y los datos fueron consignados en la bitácora correspondiente.

Figura 18. Muestreo de los ejemplares



63
phe
(Or
adv

eff
or
mo t
2010

(A)Aplicación de Eugenol, (B) toma de peso de ejemplar

4.7 ADECUACIÓN DE LAS PLANTAS

Una vez el sistema acuapónico inicia el proceso se realizan pruebas hidráulicas e inicia el proceso de recirculación, se adecuan a cada una de las unidades experimentales los sustratos (turba, cascarilla de arroz, grava y sin sustrato) aleatoriamente (cuadro 3), estos son sobrepuestos en vasos desechables con aberturas a los lados con el fin de que las raíces de las plantas puedan salir libremente.

Cuadro 4. Distribución de sustratos cada tubo.

| Tubo | Sustrato |
|------|---------------|
| 1 | Turba |
| 2 | Grava |
| 3 | Grava |
| 4 | Blanco |
| 5 | Turba |
| 6 | Cascarilla |
| 7 | Grava |
| 8 | Blanco |
| 9 | Cascarilla |
| 10 | Turba |
| 11 | Cascarilla |
| 12 | Blanco |

Las plántulas fueron germinadas en los laboratorios de la Universidad de Nariño, por estudiantes de Ingeniería Agronómica, esta germinación duro 15 días para ser trasplantadas a cada uno de los tubos, para la adecuación de las plantas se las sobrepuso sobre una espuma para que su raíz pueda fijarse al sustrato de cada vaso. Antes de ser sembradas se desinfecto y se humedecieron los sustratos con anterioridad.

Figura 19. Siembra y cosecha de las plántulas de Lechuga



4.8 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUAS

Para la toma de parámetros fisicoquímicos como: Oxígeno disuelto y la temperatura, para controlar este parámetro se utilizó un calefactor digital con el fin de mantener la temperatura adecuada para los ejemplares esta toma se realizó diariamente durante los 60 días de la investigación.

Para los parámetros de amonio, nitritos y nitratos se realizó cada 10 días en las salidas de cada tubo, tanque de cultivo, clarificador y Salida del Biofiltro, para su respectivo análisis se tomaron en total 15 muestras, estas fueron llevadas a el laboratorio de calidad de aguas, ubicado en el programa de Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño, la lectura de estos parámetros se realizó mediante el método estándar que se reporta en el cuadro 5, Mediante un patrón inicial se realizó el cálculo de la cantidad en mg/L de cada uno de estos parámetros.

En cuanto a alcalinidad, CO₂ y dureza se tomó cada 10 días, para la medición de estos parámetros se realizó por medio del método estándar, al igual que para los anteriores parámetros se tomaron 15 muestras.

Cuadro 5. Monitoreo parámetros Físico-químicos.

| Parámetros | Unidades | Frecuencia | Método estándar |
|-------------------------|-----------------|-------------------|---|
| Oxígeno Disuelto | mg/L | Diaria | Oxímetro YSI 550 A. |
| Temperatura | °C | Diaria | Oxímetro YSI 550 A. |
| pH | | 10 días | 4500 H ⁺ Electrometric Method |
| Amonio | mg/L | 10 días | 4500-NH3-B Sal de fenol |
| Nitritos | mg/L | 10 días | 4500-NO2-B colorimétrico |
| Nitratos | mg/L | 10 días | Espectrometrico ultravioleta selectivo 220 nm |

| | | | |
|------------------------|------|---------|---|
| Alcalinidad | mg/L | 10 días | 2320 B Método titulación. |
| CO₂ | mg/L | 10 días | 4500 - CO ₂ C Método título métrico para dióxido de carbono libre. |
| Dureza | mg/L | 10 días | 2340 C Método título métrico EDTA |
| DBO₅ | mg/L | 15 días | 5210 B 5 Day BOD Test |
| DQO | mg/L | 15 días | Metodo 8000 |

4.9 MONITOREO DE CAUDALES

Para que el caudal sea el mismo fue necesario aforar la entrada y salida de la unidad experimental, el aforo se realizó mediante método volumétrico para determinar el caudal promedio equivalente a 1.39 L/minuto. Con una frecuencia de tres días en semana para verificar y controlar los recambios que se requerían con el fin de que el sistema tenga un óptimo funcionamiento.

4.10 MONITOREO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO

Para el monitoreo del sistema, se realizó revisión del nivel del agua todos los días, con el fin de hacer reposición de esta que es causada por la evaporación y salpicaduras, el porcentaje de reposición de agua fue aproximadamente del 5% (47,29 litros). Cuando el clarificador sufrió colmatación se procedió a realizar un lavado parcial del tanque, y reposición de un 30% (24 litros) de agua de recambio con el fin de obtener un buen funcionamiento del sistema.

4.11 DISEÑO EXPERIMENTAL

4.11.1 Remoción: La evaluación de los tratamientos se realizó durante 60 días, para determinar la remoción en cada tratamiento se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con sub-muestreo, conformado por cuatro tratamientos con tres replicas, conformado de la siguiente manera:

- T0 Plántulas sin sustrato.
- T1 Plántulas + turba comercial.
- T2 Plántulas + Sustrato cascarilla de arroz.
- T3 Plántulas + Sustrato grava.

Para realizar el análisis de varianza se utilizó la siguiente expresión algebraica:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} + \eta_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Variable respuesta.

μ : Media poblacional.

T_i : Efecto medio del i-ésimo tratamiento $i=1$.

ε_{ij} : Error experimental asociado del i-ésimo tratamiento en la j-ésima unidad experimental.

η_{ijk} : Error de muestreo, asociado a la k-ésima muestra.

k : Unidad observacional.

4.11.2 Formulación de la hipótesis las hipótesis a comparar serán:

$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4$ No existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

$H_1: T_1 \neq T_2 \neq T_3 \neq T_4$ Por lo menos una de las medias de los tratamientos presenta diferencias estadísticas significativas.

4.11.3 Variables a evaluar. López⁶⁴. “Aplica los siguientes índices para la evaluación de aspectos productivos”.

4.11.3.1 Eficiencia de remoción amonio, nitritos y nitratos. Porcentaje de remoción de compuestos se obtienen por cargas en entrada y salida del sistema acuapónico.

⁶⁴ MACIAS, JORGE NELSON LOPEZ. Nutricion y alimentacion acuicola. En: Universidad de Nariño. 2011. vol. 2

$$\%R = \frac{E - S}{E} * 100$$

Donde:

R : Remoción.
E : Entrada
S : Salida

4.11.3.2 Carga Contaminante.

$$Z = Q * Conc. * 0,0864$$

Donde:

Z : Carga (en kg/d).
Q : Caudal (en L/s).
Conc. : Concentración (en mg/L).
 0,0864: Factor de conversión para pasar de mg/s a kg/d.

4.11.3.3 Incremento de peso: se obtiene calculando la diferencia entre el peso final y el peso inicial durante un periodo de observación.

$$IP = W_f - W_i$$

Dónde:

IP : Incremento de peso.
W_f : Peso final.
W_i : Peso inicial.

4.11.3.4 Tasa de crecimiento específico (TCE): Es el incremento de peso expresado en porcentaje, de un individuo durante el periodo de estudio.

$$TCE = \frac{Ln(W_f) - Ln(W_i)}{T} * 100$$

Dónde:

TCE : Tasa de crecimiento específico (%/día).
W_f : Peso final.
W_i : Peso inicial.
T : Tiempo en días.

4.11.3.5 Supervivencia: Permite determinar la cantidad de población que sobrevivió durante todo el periodo de estudio y se calcula mediante la siguiente fórmula.⁶⁵

$$\%S = \frac{N^{\circ} Ind.f}{N^{\circ} Ind.i} * 100$$

Donde:

S : Supervivencia.

N° Ind.f : Número final de individuos.

N° Ind.i : Numero inicial de individuos.

4.11.4 Análisis parcial de costos. Es el índice que resulta de dividir los beneficios (flujos efectivos) entre los costos variables, a precios actuales de acuerdo a la siguiente formula.

$$RBC = \frac{B}{C}$$

Dónde:

RBC : Relación beneficio costo.

B : Beneficio.

C : Costo.

4.11.5 Análisis estadístico. Antes de realizar el análisis de los datos se verificó el cumplimiento de los supuestos estadísticos de normalidad (Chi-cuadrado, Shapiro-Wilk), Z para asimetría, homogeneidad de varianzas (Bartlett) e independencia (Durbin-Watson); se aplicó un análisis de varianza ANOVA, con el fin de determinar si existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

⁶⁵ LOPEZ, M. 1989, Op. Cit., p. 202

5 RESULTADOS

Finalizado el estudio, la recolección de datos, el respectivo análisis estadístico de las variables productivas del cultivo de tilapia roja, la capacidad de remoción de compuestos nitrogenados y en análisis de calidad de agua, se obtuvieron los siguientes resultados, como se indica a continuación.

5.1 VARIABLES PRODUCTIVAS Y CALIDAD DE AGUAS

En esta investigación el objetivo fue analizar las variables productivas (incremento en peso, incremento de talla, tasa de crecimiento simple, supervivencia, factor de conversión alimenticia) y de calidad de aguas (pH, alcalinidad, dureza, dióxido de carbono, DBO₅, DQO, oxígeno y temperatura).

5.1.1 Descripción de la población de peces. Los muestreos fueron realizados cada 15 días de manera directa en la unidad de cultivo registrando los valores en la respectiva bitácora ver (Anexo A y B). La población de peces objeto de estudio conformada por 25 tilapias rojas fueron censadas durante 5 periodos de tiempo y evaluadas las variables peso y talla obteniendo los resultados estadísticos que se indican a continuación en el cuadro 6.

Cuadro 6. Estadística Descriptiva peso y talla

| | PESO (g) | | TALLA (cm) | |
|------------------------------------|----------|--------|------------|-------|
| | Inicial | Final | Inicial | Final |
| Media | 134,5 | 211,9 | 19,0 | 22,6 |
| Desviación estándar | 32,6 | 41,9 | 1,4 | 1,6 |
| Varianza poblacional | 1062,8 | 1754,2 | 2,1 | 2,5 |
| Mínimo | 90,0 | 149,0 | 17,0 | 20,0 |
| Máximo | 191,0 | 311,0 | 21,0 | 26,0 |
| Coficiente de variación (%) | 24,23 | 19,77 | 7,36 | 7,07 |

5.1.2 Incremento de peso. Los muestreos fueron realizados cada 15 días de manera directa en la unidad de cultivo registrando los valores en la respectiva bitácora (Anexo A). De acuerdo con los resultados en la estadística descriptiva se calculó el incremento de peso para cada periodo evaluado obteniéndose 33,44, 20,56, 19,52, 3,92 gramos por periodo respectivamente. Los valores de peso promedio obtenidos con los cuales se calculó esta variable se indican en el cuadro 7, así como el valor de incremento de peso para cada periodo.

Cuadro 7. Peso promedio e incremento de peso para cinco periodos de estudio.

| Periodo | Peso Promedio(g) | Incremento peso (g) |
|---------|------------------|---------------------|
| 1 | 134,48 | — |
| 2 | 167,92 | 33,44 |
| 3 | 188,48 | 20,56 |
| 4 | 208 | 19,52 |
| 5 | 211,92 | 3,92 |

La ganancia de peso promedio obtuvo un incremento positivo durante los periodos evaluados como se observa en la Figura 20, así mismo el valor de dicho incremento fue descendiendo paulatinamente como se indica en la figura 21.

Figura 20. Ganancia en peso

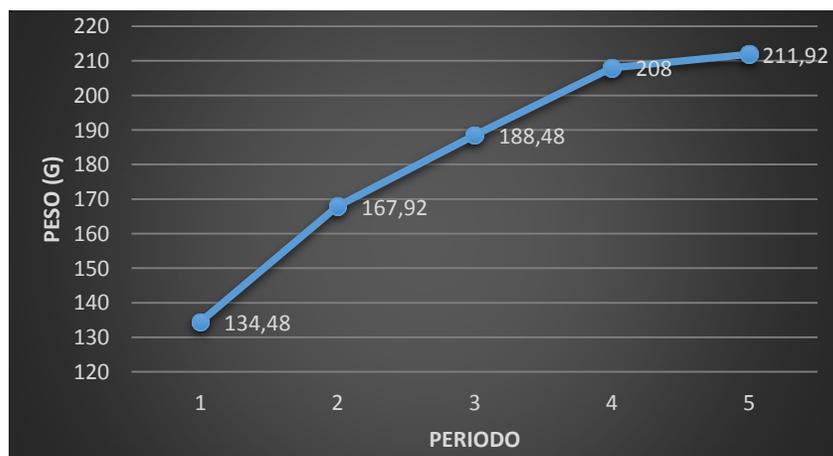
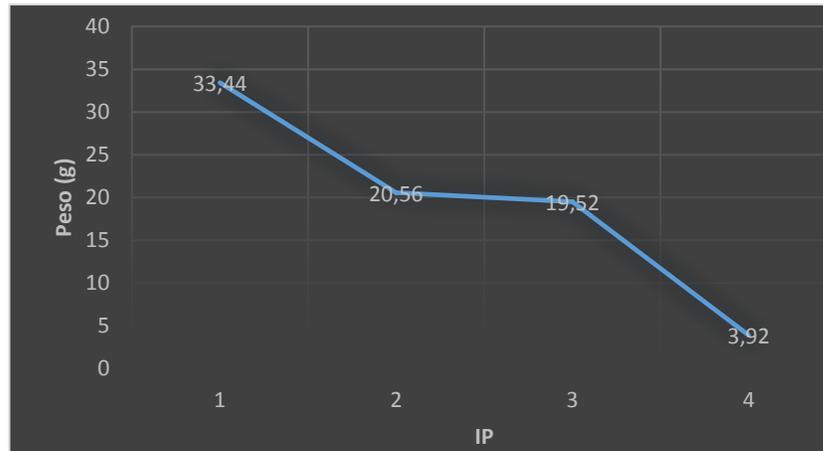


Figura 21. Incremento de peso



5.1.3 Incremento de talla. Los muestreos fueron realizados cada 15 días de manera directa en la unidad de cultivo registrando los valores en la respectiva bitácora (Anexo B). De acuerdo con los resultados en la estadística descriptiva se calculó el incremento de talla para cada periodo evaluado obteniéndose 1,16, 1,28, 1,06, 0,04 centímetros por periodo respectivamente. Los valores de talla promedio obtenidos con los cuales se calculó esta variable se indican en el cuadro 8 así como el valor de incremento de talla para cada periodo.

Cuadro 8. Talla promedio e incremento de talla para cinco periodos de estudio.

| Periodo | Talla promedio (cm) | Incremento de talla (cm) |
|---------|---------------------|--------------------------|
| 1 | 19,02 | — |
| 2 | 20,18 | 1,16 |
| 3 | 21,46 | 1,28 |
| 4 | 22,52 | 1,06 |
| 5 | 22,56 | 0,04 |

La ganancia de talla promedio obtuvo un incremento positivo durante los periodos evaluados como se observa en la figura 22, así mismo el valor de dicho incremento fue descendiendo paulatinamente como se indica en la figura 23.

Figura 22. Comportamiento de talla

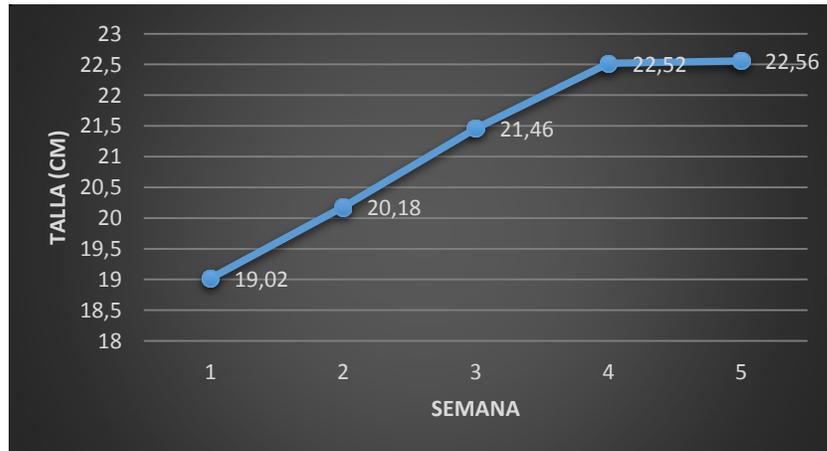
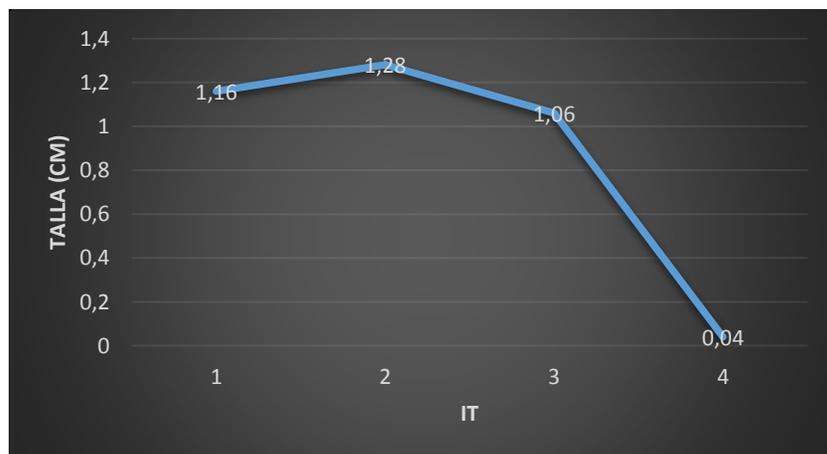


Figura 23. Incremento de talla



5.1.4 Tasa de crecimiento simple. Los resultados de esta variable arrojaron los siguientes valores 1,48, 0,77, 0,66 y 0,12 para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio de la tasa de crecimiento simple registro un valor de 0,76% como se indica en el cuadro 9.

Cuadro 9. Tasa de Crecimiento simple

| Tasa de crecimiento simple | |
|----------------------------|------|
| Periodo | TCS |
| 1 | 1,48 |
| 2 | 0,77 |
| 3 | 0,66 |
| 4 | 0,12 |
| Promedio | 0,76 |

La tasa de crecimiento simple obtuvo un incremento positivo y descendente durante los periodos evaluados como se observa en la figura 24.

Figura 24. Comportamiento de tasa de crecimiento



5.1.5 Supervivencia. La supervivencia durante todo el estudio fue del 100% de los 25 animales sembrados.

5.1.6 Factor de conversión alimenticia. Los resultados obtenidos en la conversión del alimento con un porcentaje de 2% biomasa/día, suministrado para cada periodo evaluado y convertido en biomasa íctica fueron 1,45, 2,94, 3,48 y 19,10 respectivamente, así mismo valor de la conversión alimenticia general es

decir todo el alimento suministrado durante los 60 días y la biomasa incrementada fue de 3,25 como se indica en el cuadro 10.

Cuadro 10. Factor de conversión alimenticia

| Periodo | Alimento suministrado (gramos) | Incremento biomasa (gramos) | FCA |
|--------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1 | 1210,32 | 836 | 1,45 |
| 2 | 1511,28 | 514 | 2,94 |
| 3 | 1696,32 | 488 | 3,48 |
| 4 | 1872 | 98 | 19,10 |
| Total | 6289,92 | 1936 | 3,25 |

5.2 CALIDAD DE AGUA

Los resultados promedios generales obtenidos del análisis de calidad de aguas para los parámetros fisicoquímicos pH, alcalinidad, dureza, dióxido de carbono, Oxígeno, temperatura, DBO₅, DQO, amonio, nitritos y nitratos medidos en la unidad de cultivo previo al proceso de remoción de compuestos nitrogenados mediante las plántulas de lechuga se registran en el cuadro 11.

Cuadro 11. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos

| Parámetro | Unidad de cultivo | Unidades |
|------------------------|-------------------|----------|
| pH | 7,54 ± 0,046 | |
| Alcalinidad | 59 ± 10,754 | mg/L |
| Dureza | 30,83 ± 10,237 | mg/L |
| CO₂ | 7,63 ± 2,195 | mg/L |
| DBO₅ | 5,258 ± 0,672 | mg/L |
| DQO | 27,75 ± 4,815 | mg/L |
| Temperatura | 26,2 ± 0,647 | °C |
| O₂ | 3,8 ± 0,202 | mg/L |
| Amonio | 0,22 ± 0,108 | mg/L |
| Nitrito | 0,15 ± 0,246 | mg/L |
| Nitratos | 20,97 ± 16,885 | mg/L |

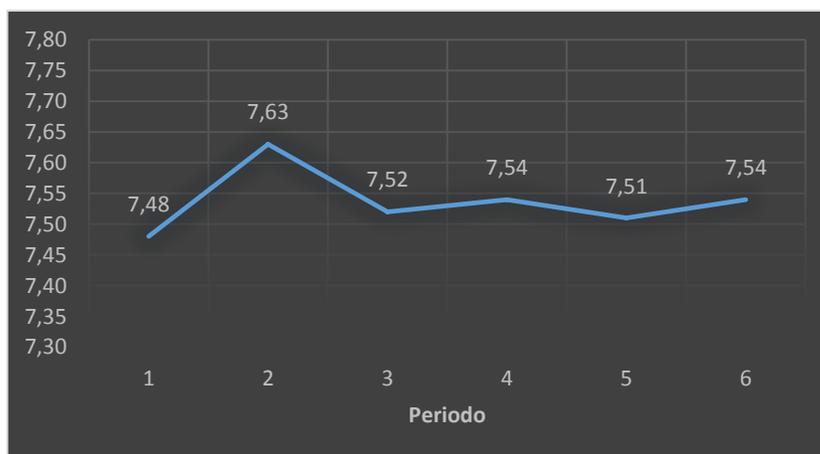
5.2.1 Potencial de hidrogeno (pH). Los resultados promedios de esta variable arrojaron los siguientes valores 7,48, 7,63, 7,52, 7,54, 7,51 y 7,54 para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio general del potencial de hidrogeno registro un valor de 7,54 como se indica en el cuadro 12.

Cuadro 12. Comportamiento por periodo y promedio del pH en la unidad de cultivo.

| Periodo | pH Unidad de cultivo |
|-----------------|----------------------------|
| 1 | 7,48 |
| 2 | 7,63 |
| 3 | 7,52 |
| 4 | 7,54 |
| 5 | 7,51 |
| 6 | 7,54 |
| Promedio | 7,54 |

El comportamiento de esta variable en la unidad de cultivo fue constante con una variación que osciló entre 7,48 y 7,63 como se observa en la figura 25.

Figura 25. Comportamiento del pH en la unidad de cultivo.



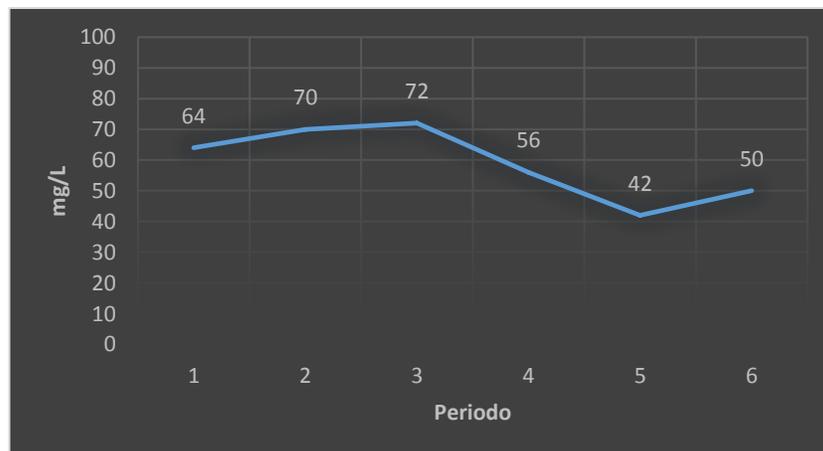
5.2.2 Alcalinidad. Los resultados de esta variable arrojaron los siguientes valores 64, 70, 72, 56, 42 y 50 mg/L para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio de la alcalinidad registro un valor de 59 mg/L como se indica en el cuadro 13.

Cuadro 13. Comportamiento por periodo y promedio de la alcalinidad en la unidad de cultivo

| Periodo | Alcalinidad Unidad de cultivo(mg/L) |
|-----------------|-------------------------------------|
| 1 | 64 |
| 2 | 70 |
| 3 | 72 |
| 4 | 56 |
| 5 | 42 |
| 6 | 50 |
| Promedio | 59 |

El comportamiento de esta variable en la unidad de cultivo fue constante con una variación que osciló entre 72 y 42 mg/L como se observa en la figura 26.

Figura 26. Comportamiento de alcalinidad en la unidad de cultivo



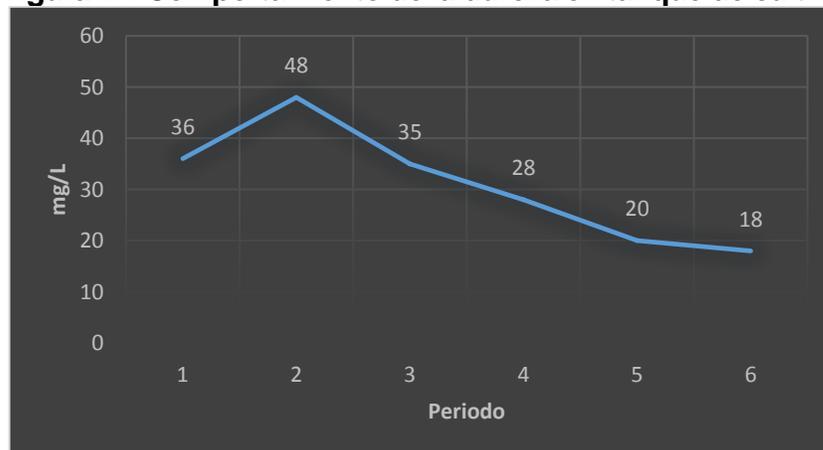
5.2.3 Dureza. Los resultados de esta variable arrojaron los siguientes valores 36, 48, 35, 28, 20 y 18 mg/L para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio de la dureza registro un valor de 30,8 mg/L como se indica en el cuadro 14.

Cuadro 14. Comportamiento por periodo y promedio de la dureza en la unidad de cultivo

| Periodo | Dureza Unidad de cultivo (mg/L) |
|-----------------|---------------------------------|
| 1 | 36 |
| 2 | 48 |
| 3 | 35 |
| 4 | 28 |
| 5 | 20 |
| 6 | 18 |
| Promedio | 30,8 |

La dureza obtuvo unas variaciones mínimas y un comportamiento descendente con valores de 48 a 18 mg/L durante los periodos evaluados como se observa en la Figura 27.

Figura 27. Comportamiento de la dureza en tanque de cultivo



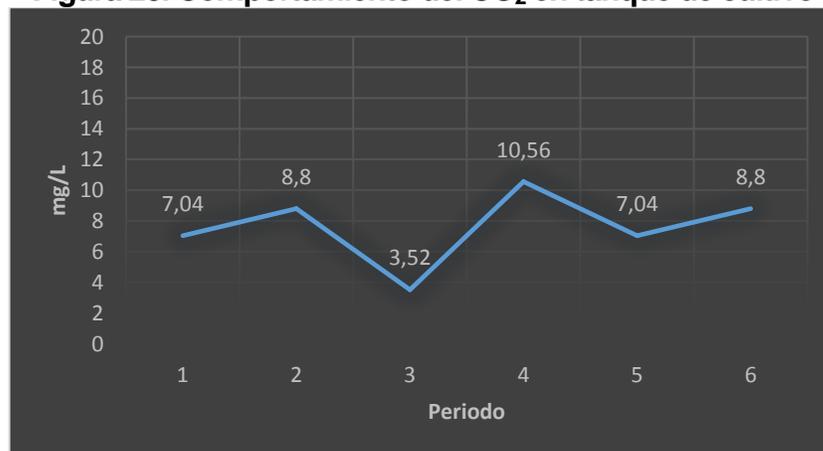
5.2.4 Dióxido de carbono (CO₂). Los resultados de esta variable arrojaron los siguientes valores 7,04, 8,8, 3,52, 10,56, 7,04 y 8,8 mg/L para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio del dióxido de carbono registro un valor de 7,6 mg/L como se indica en el cuadro 15.

Cuadro 15. Comportamiento por periodo y promedio del CO₂ en la unidad de cultivo

| Periodo | CO ₂ Unidad de cultivo(mg/L) |
|-----------------|---|
| 1 | 7,04 |
| 2 | 8,8 |
| 3 | 3,52 |
| 4 | 10,56 |
| 5 | 7,04 |
| 6 | 8,8 |
| Promedio | 7,6 |

El dióxido de carbono obtuvo variaciones en el comportamiento con valores de 7,04 a 10,56 mg/L como se observa en la figura 28

Figura 28. Comportamiento del CO₂ en tanque de cultivo



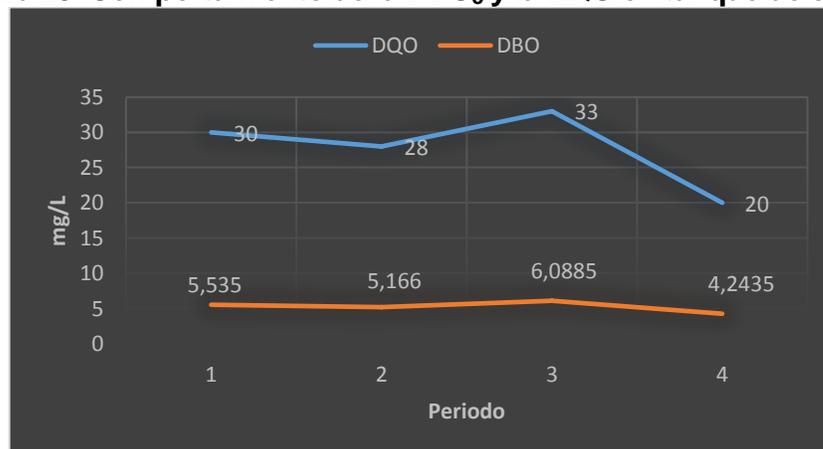
5.2.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO). Los resultados de estas variable arrojaron los siguientes valores para DBO₅ 5,53, 5,16, 6,08, 4,24 mg/L y para DQO 30, 28, 33 Y 20 para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio de la DBO₅ registro un valor de 5,25 mg/L y el promedio para la DQO registro un valor de 27,75 como se indica en el cuadro 16.

Cuadro 16. Comportamiento por periodo y promedio de la DBO₅ y la DQO en la unidad de cultivo.

| Periodo | Unidad de cultivo | |
|-----------------|----------------------------|---|
| | DQO (mg O ₂ /L) | DBO ₅ (mg O ₂ /L) |
| 1 | 30 | 5,53 |
| 2 | 28 | 5,16 |
| 3 | 33 | 6,08 |
| 4 | 20 | 4,24 |
| promedio | 27,75 | 5,25 |

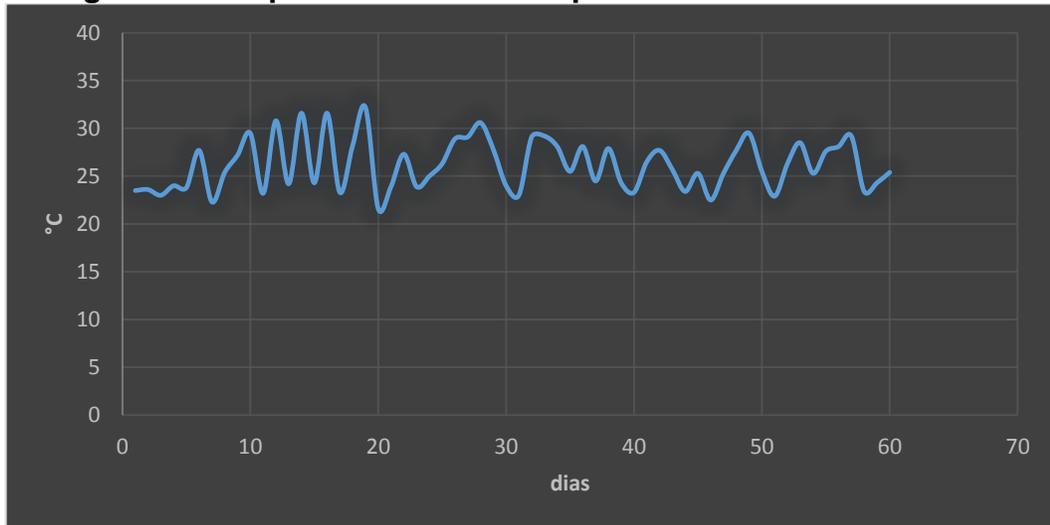
La DBO₅ y la DQO obtuvieron un comportamiento constante durante los periodos evaluados como se observa en la Figura 29.

Figura 29. Comportamiento de la DBO₅ y la DQO en tanque de cultivo



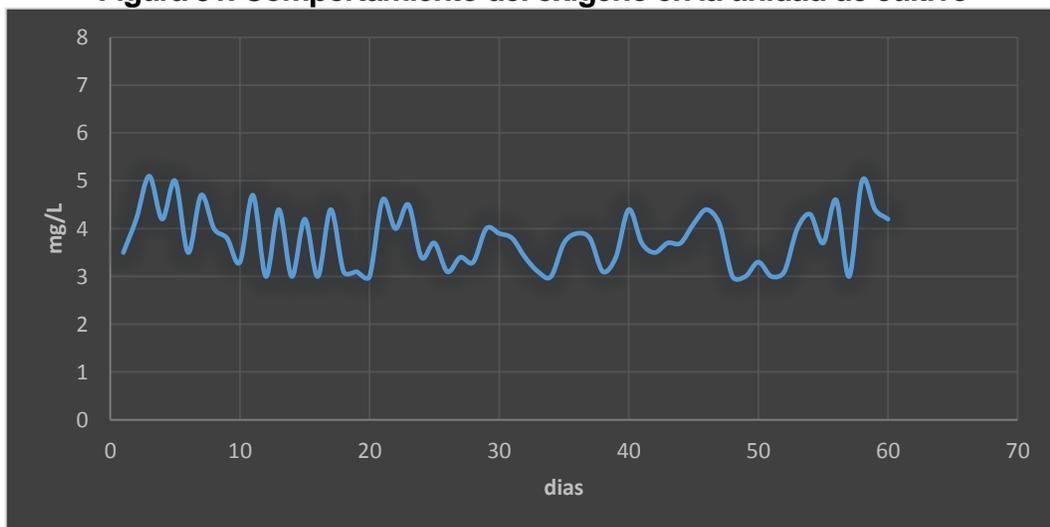
5.2.6 Temperatura. Esta variable fue medida diariamente a las 9:00 am de manera directa en la unidad de cultivo registrando los valores en la respectiva bitácora (anexo C). El promedio de la temperatura registro un valor de 26,2 °C. El comportamiento de esta variable presento una variación que osciló entre 32,2 y 21,6 °C como se observa en la figura 30.

Figura 30. Comportamiento de la temperatura en la unidad de cultivo



5.2.7 Oxígeno. Esta variable fue medida diariamente a las 9:00 am de manera directa en la unidad de cultivo registrando los valores en la respectiva bitácora (anexo D). El promedio del oxígeno registro un valor de 3,8 ± 0,20 mg/L. El comportamiento de esta variable presento una variación que osciló entre 5,1 y 3 mg/L como se observa en la figura 31.

Figura 31. Comportamiento del oxígeno en la unidad de cultivo



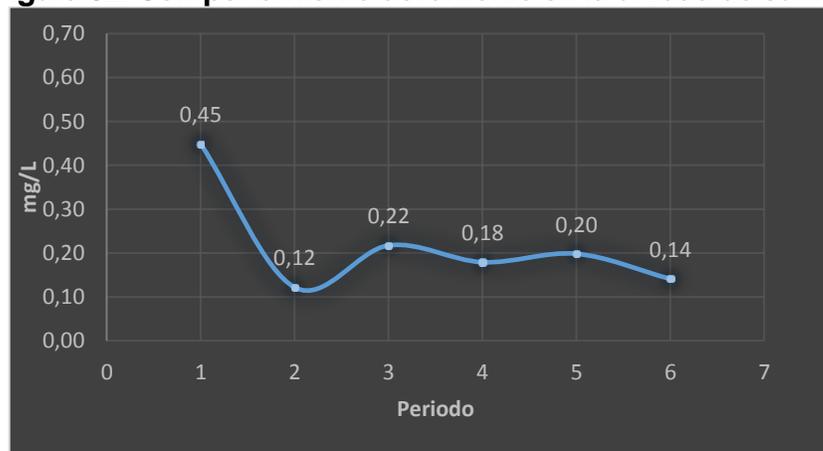
5.2.8 Amonio. Los resultados de esta variable en la unidad de cultivo arrojaron los siguientes valores 0,45, 0,12, 0,22, 0,18, 0,20 y 0,14 mg/L para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio del amonio registró un valor de 0,22 mg/L como se indica en el cuadro 17.

Cuadro 17. Comportamiento por periodo y promedio del amonio en la unidad de cultivo

| Unidad de cultivo | |
|-------------------|---------------|
| Periodo | Amonio (mg/L) |
| 1 | 0,45 |
| 2 | 0,12 |
| 3 | 0,22 |
| 4 | 0,18 |
| 5 | 0,20 |
| 6 | 0,14 |
| Promedio | 0,22 |

El amonio obtuvo un incremento positivo y descendente durante los periodos evaluados el comportamiento de esta variable presento una variación que osciló entre 0,45 y 0,12 mg/L como se observa en la figura 32.

Figura 32. Comportamiento del amonio en la unidad de cultivo



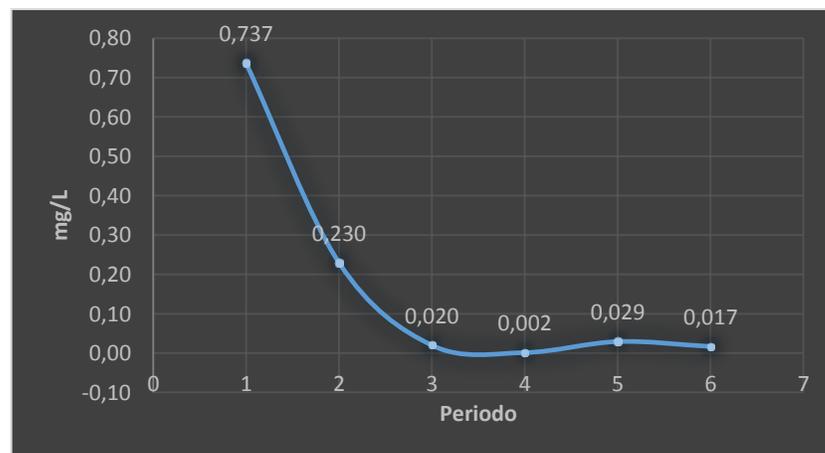
5.2.9 Nitritos. Los resultados de esta variable en la unidad de cultivo arrojaron los siguientes valores 0,74, 0,23, 0,02, 0,00, 0,03 Y 0,02 mg/L para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio de los nitritos registró un valor de 0,17 mg/L como se indica en el cuadro 18.

Cuadro 18. Comportamiento por periodo y promedio de los nitritos en unidad de cultivo

| Unidad de Cultivo | |
|-------------------|-----------------|
| Periodo | Nitritos (mg/L) |
| 1 | 0,74 |
| 2 | 0,23 |
| 3 | 0,02 |
| 4 | 0,002 |
| 5 | 0,03 |
| 6 | 0,02 |
| Promedio | 0,17 |

El comportamiento de esta variable presento una variación que osciló entre 0,737 y 0,002 mg/L como se observa en la figura 33.

Figura 33. Comportamiento de los nitritos en unidad de cultivo



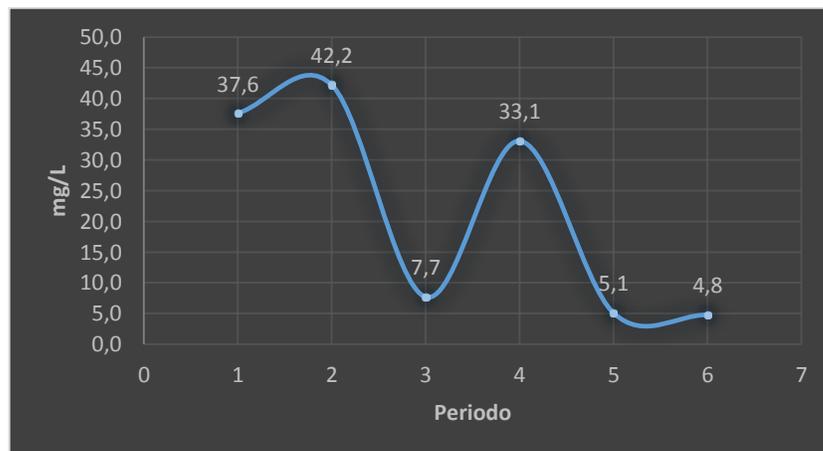
5.2.10 Nitratos. Los resultados de esta variable en la unidad de cultivo arrojaron los siguientes valores 37,6, 42,2, 7,7, 33,1, 5,1 Y 4,8 mg/L para cada periodo de estudio respectivamente, así mismo el promedio de los nitratos registró un valor de 21,75 mg/L como se indica en el cuadro 19.

Cuadro 19. Comportamiento por periodo y promedio de los nitratos en unidad de cultivo

| Tanque | |
|-----------------|-----------------|
| Periodo | Nitratos (mg/L) |
| 1 | 37,6 |
| 2 | 42,2 |
| 3 | 7,7 |
| 4 | 33,1 |
| 5 | 5,1 |
| 6 | 4,8 |
| Promedio | 21,75 |

Los nitratos obtuvieron un incremento positivo y descendente y los valores oscilaron entre 42,2 y 4,8 mg/L durante los periodos evaluados como se observa en la figura 34.

Figura 34. Comportamiento de los nitratos en unidad de cultivo



5.3 CAUDAL DE ENTRADA Y SALIDA

Para la evaluación de los caudales se aforo cada 3 días según la metodología establecida, tomando dichos parámetros tanto en la entrada como en la salida de cada uno de los 12 tubos correspondientes a las unidades experimentales anexo (N-O). Los valores promedios registrados se observan en el cuadro 20 y 21

Cuadro 20. Caudales promedio de entrada para cada tratamiento

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| BLANCO | 0,02460529 | 0,02485691 | 0,02352744 | 0,02135194 | 0,02354052 | 0,02089364 | 0,02055942 | 0,02279873 | 0,02460529 | 0,02233754 |
| TURBA | 0,02277544 | 0,01922983 | 0,02382037 | 0,0235166 | 0,02378104 | 0,02566027 | 0,02297355 | 0,02369602 | 0,02277544 | 0,02404648 |
| CASCARILLA | 0,02473075 | 0,02528586 | 0,02326434 | 0,0250892 | 0,02243409 | 0,02154742 | 0,02497901 | 0,02511863 | 0,02473075 | 0,02378909 |
| GRAVA | 0,02165821 | 0,02308886 | 0,02116854 | 0,02282048 | 0,02369736 | 0,0249152 | 0,02474643 | 0,02267417 | 0,02165821 | 0,02312032 |

| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----|
| 0,02462229 | 0,02117641 | 0,02214546 | 0,0192456 | 0,02145674 | 0,02669796 | 0,02436188 | 0,02205876 | 0,02400477 | 0,02279661 | |
| 0,0228622 | 0,02393814 | 0,02293006 | 0,02547247 | 0,0228069 | 0,02402271 | 0,0244597 | 0,02461007 | 0,02304783 | 0,02165722 | |
| 0,02450319 | 0,02681696 | 0,02264776 | 0,02579945 | 0,02376857 | 0,02242313 | 0,02040513 | 0,02167151 | 0,02075691 | 0,02394559 | |
| 0,02142966 | 0,02152753 | 0,026028 | 0,02268715 | 0,02373064 | 0,0207936 | 0,0250881 | 0,02428514 | 0,02475083 | 0,02522622 | |

Cuadro 21. Caudales promedio de salida para cada tratamiento

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| BLANCO | 0,02448288 | 0,02473324 | 0,02341039 | 0,02124571 | 0,02342341 | 0,02078969 | 0,02045714 | 0,0226853 | 0,02448288 | 0,02222641 |
| TURBA | 0,02266212 | 0,01913416 | 0,02370186 | 0,0233996 | 0,02366272 | 0,02553261 | 0,02285926 | 0,02357813 | 0,02266212 | 0,02392685 |
| CASCARILLA | 0,02460771 | 0,02516006 | 0,02314859 | 0,02496437 | 0,02232247 | 0,02144021 | 0,02485474 | 0,02499366 | 0,02460771 | 0,02367074 |
| GRAVA | 0,02155045 | 0,02297399 | 0,02106323 | 0,02270695 | 0,02357946 | 0,02479124 | 0,02462331 | 0,02256136 | 0,02155045 | 0,0230053 |

| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----|
| 0,0244998 | 0,02107105 | 0,02203528 | 0,01914985 | 0,02134999 | 0,02656514 | 0,02424068 | 0,02194902 | 0,02388535 | 0,02268319 | |
| 0,02274846 | 0,02381904 | 0,02281598 | 0,02534574 | 0,02269343 | 0,02390319 | 0,02433801 | 0,02448763 | 0,02293316 | 0,02154947 | |
| 0,02438128 | 0,02668354 | 0,02253508 | 0,0256711 | 0,02365032 | 0,02231157 | 0,02030361 | 0,02156369 | 0,02065365 | 0,02382645 | |
| 0,02132304 | 0,02142043 | 0,02589851 | 0,02257428 | 0,02361257 | 0,02069015 | 0,02496328 | 0,02416432 | 0,02462769 | 0,02510072 | |

El análisis estadístico de comparación múltiple de varianza con un 95% de significancia (anexo P) determinó que no existieron diferencias significativas en cuanto a el caudal de entrada y el de salida de la unidad experimental durante todo el estudio. Para el cálculo de carga contaminante se debe tener en cuenta la variación del caudal, sin embargo al no existir diferencias significativas se procedió

a estimar la eficiencia de remoción solo con la diferencia de las concentraciones de la entrada y salida de la unidad experimental

5.4 REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS

Para la evaluación de la remoción de compuestos nitrogenados tales como amonio, nitritos y nitratos se midió cada 10 días según la metodología establecida, tomando dichos parámetros tanto en la caja de nivel constante (entrada) como en los 12 tubos correspondientes a las unidades experimentales (salida) ver anexo (E - I). Los valores promedios registrados se observan en el cuadro 22.

Cuadro 22. Valores promedio de la entrada y salida de los compuestos nitrogenados

| | Periodo 1 | | Periodo 2 | | Periodo 3 | | Periodo 4 | | Periodo 5 | | Periodo 6 | | | | | | | |
|----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-------|----|-------|-------|----|-------|
| | Entrada | Salida | | | | | | |
| Amonio | 0,313 | T0 | 0,198 | 0,103 | T0 | 0,039 | 0,160 | T0 | 0,198 | 0,198 | T0 | 0,083 | 0,141 | T0 | 0,058 | 0,236 | T0 | 0,052 |
| | | T1 | 0,243 | | T1 | 0,052 | | T1 | 0,358 | | T1 | 0,103 | | T1 | 0,064 | | T1 | 0,052 |
| | | T2 | 0,436 | | T2 | 0,045 | | T2 | 0,198 | | T2 | 0,109 | | T2 | 0,071 | | T2 | 0,052 |
| | | T3 | 0,268 | | T3 | 0,058 | | T3 | 0,217 | | T3 | 0,096 | | T3 | 0,083 | | T3 | 0,058 |
| Nitritos | 0,755 | T0 | 0,691 | 0,236 | T0 | 0,218 | 0,067 | T0 | 0,039 | 0,017 | T0 | 0,002 | 0,048 | T0 | 0,000 | 0,017 | T0 | 0,002 |
| | | T1 | 0,666 | | T1 | 0,171 | | T1 | 0,036 | | T1 | 0,004 | | T1 | 0,004 | | T1 | 0,006 |
| | | T2 | 0,643 | | T2 | 0,219 | | T2 | 0,028 | | T2 | 0,005 | | T2 | 0,006 | | T2 | 0,007 |
| | | T3 | 0,652 | | T3 | 0,214 | | T3 | 0,026 | | T3 | 0,004 | | T3 | 0,014 | | T3 | 0,005 |
| Nitratos | 35,000 | T0 | 26,433 | 40,700 | T0 | 34,700 | 5,200 | T0 | 5,800 | 17,700 | T0 | 8,900 | 6,100 | T0 | 6,567 | 5,2 | T0 | 4,433 |
| | | T1 | 18,467 | | T1 | 33,767 | | T1 | 4,733 | | T1 | 9,100 | | T1 | 7,300 | | T1 | 4,600 |
| | | T2 | 24,533 | | T2 | 32,767 | | T2 | 4,500 | | T2 | 9,600 | | T2 | 8,000 | | T2 | 3,700 |
| | | T3 | 16,167 | | T3 | 36,833 | | T3 | 4,200 | | T3 | 8,500 | | T3 | 6,000 | | T3 | 4,600 |

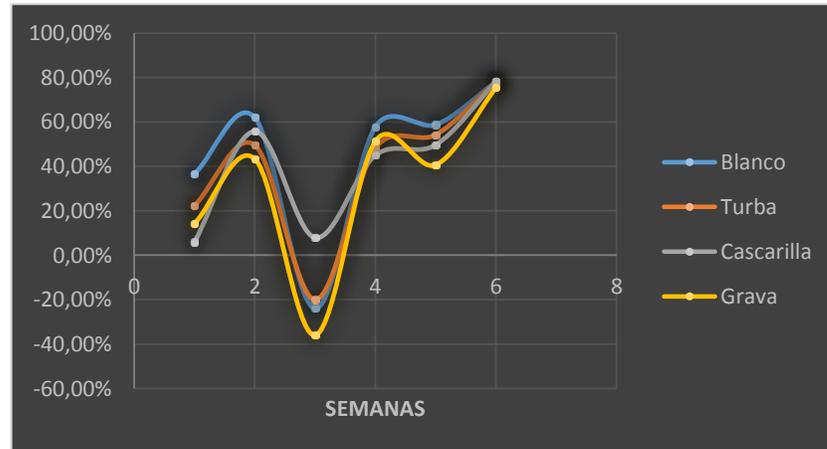
5.4.1 Remoción de amonio. Los valores de remoción de amonio correspondientes a la diferencia de las concentraciones de este parámetro de la caja de nivel y la salida de cada unidad experimental se observan en el cuadro 23; así mismo los resultados en cuanto al porcentaje de remoción para cada uno de los periodos.

Cuadro 23. Valores de remoción de amonio para cada tratamiento y porcentaje de remoción

| Periodo | T0 (Blanco) | | T1 (Turba) | | T2 (Cascarilla) | | T3 (Grava) | |
|-----------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | Remoción amonio | % remoción |
| 1 | 0,115 | 37% | 0,070 | 22% | 0,028 | 6% | 0,045 | 14% |
| 2 | 0,064 | 62% | 0,051 | 50% | 0,057 | 56% | 0,044 | 43% |
| 3 | -0,038 | -24% | -0,096 | -20% | 0,019 | 8% | -0,057 | -36% |
| 4 | 0,115 | 58% | 0,096 | 48% | 0,089 | 45% | 0,102 | 51% |
| 5 | 0,083 | 59% | 0,076 | 54% | 0,070 | 50% | 0,057 | 41% |
| 6 | 0,185 | 78% | 0,185 | 78% | 0,185 | 78% | 0,178 | 75% |
| Promedio | 0,087 | 45% | 0,064 | 39% | 0,075 | 40% | 0,062 | 32% |

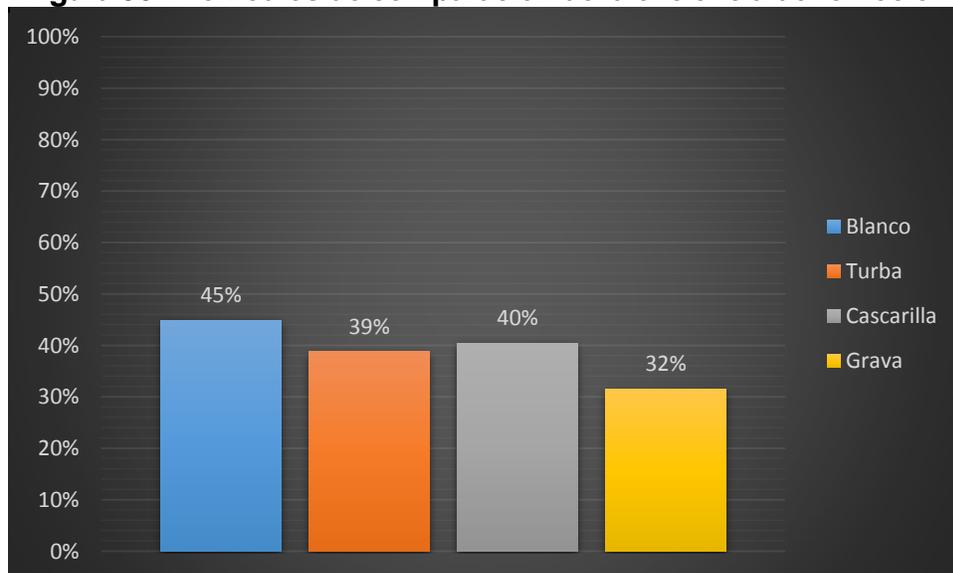
En la figura 35 se muestra el comportamiento de la remoción de amonio en cada uno de los tratamientos por cada muestreo durante 60 días de estudio, En el primer periodo los valores de remoción de amonio estuvieron por encima del 6% para los cuatro tratamientos, para el segundo periodo el comportamiento de este estuvo por encima del 43%, para el tercer periodo se puede observar un descenso abrupto en la remoción de amonio para los cuatro tratamientos por motivo de que los valores fueron tomados después de un lavado realizado al clarificador, para el cuarto y quinto periodo se presentan valores por encima de 45% y a su vez descendiendo con valores por encima de 41% respectivamente, finalmente para el sexto periodo se observa un incremento súbito de la cantidad de amonio removido en el sistema alcanzando valores por encima de 32%

Figura 35. Comportamiento de la remoción de amonio en cada tratamiento



El análisis estadístico de comparación múltiple de varianza con un 95% de significancia (anexo Q) determinó que no existieron diferencias significativas en cuanto la cantidad de amonio removido entre los parámetros durante todo el estudio. En la figura 37 se observan los valores promedios de comparación en cuanto a la eficiencia de remoción de que presento cada tratamiento.

Figura 36. Promedios de comparación de la eficiencia de remoción



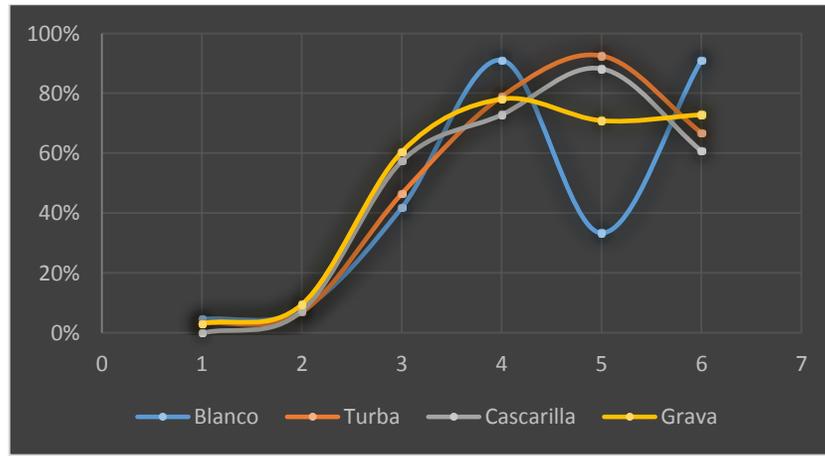
5.4.2 Remoción de nitritos. Los valores de remoción de nitritos correspondientes a la diferencia de las concentraciones de este parámetro de la caja de nivel y la salida de cada unidad experimental se observan en el cuadro 24; así mismo los resultados en cuanto al porcentaje de remoción para cada uno de los periodos. anexo (xx)

Cuadro 24. Valores de remoción de nitritos para cada tratamiento y porcentaje de remoción

| Periodo | T0 (Blanco) | | T1 (Turba) | | T2 (Cascarilla) | | T3 (Grava) | |
|-----------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | Remoción nitritos | % remoción |
| 1 | 0,063 | 5% | 0,088 | 3% | 0,112 | 0% | 0,102 | 3% |
| 2 | 0,018 | 8% | 0,065 | 7% | 0,017 | 7% | 0,022 | 10% |
| 3 | 0,028 | 42% | 0,031 | 46% | 0,038 | 57% | 0,040 | 60% |
| 4 | 0,016 | 91% | 0,013 | 79% | 0,012 | 73% | 0,013 | 78% |
| 5 | 0,048 | 33% | 0,044 | 93% | 0,042 | 88% | 0,034 | 71% |
| 6 | 0,016 | 91% | 0,011 | 67% | 0,010 | 61% | 0,012 | 73% |
| Promedio | 0,032 | 45% | 0,042 | 49% | 0,039 | 48% | 0,037 | 49% |

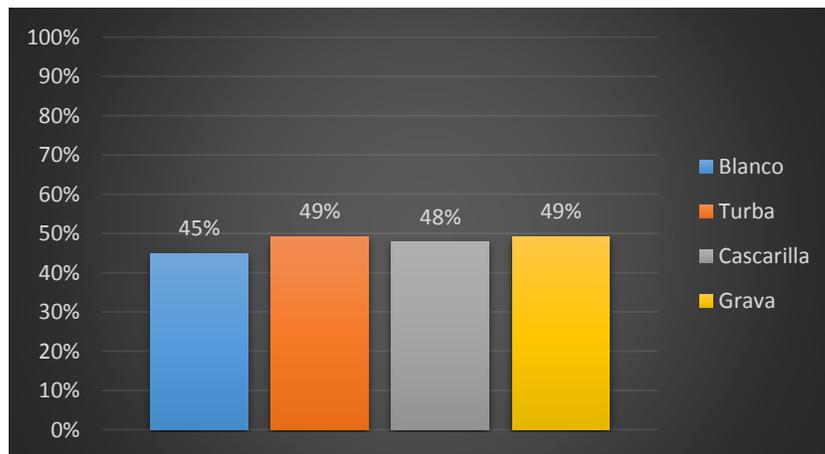
En la figura 39 se muestra el comportamiento del porcentaje de remoción de nitritos en cada uno de los tratamientos por cada muestreo durante 60 días de estudio, En el primer periodo los valores de porcentaje de remoción de nitritos estuvieron por encima de 0% para los cuatro tratamientos, para el segundo periodo el comportamiento de este estuvo por encima de 7%, para el tercer periodo la cantidad de nitritos aumento para los cuatro tratamientos a niveles superiores de 42% para el cuarto periodo el valor aumento con valores por encima de 73%, el quinto periodo se presenta un descenso y los valores por encima del 33% , finalmente para el sexto periodo se observa un ascenso de la cantidad de nitritos removidos en el sistema alcanzando valores por encima de 61%.

Figura 37. Porcentaje de la remoción de nitritos en los tratamientos



El análisis estadístico de comparación múltiple de varianza con un 95% de significancia (anexo R) determinó que no existieron diferencias significativas en cuanto la cantidad de nitritos removidos entre los parámetros durante todo el estudio. En la figura 40 se observan los valores promedios de comparación en cuanto a la eficiencia de remoción de que presento cada tratamiento.

Figura 38. Promedios de comparación de la eficiencia de remoción



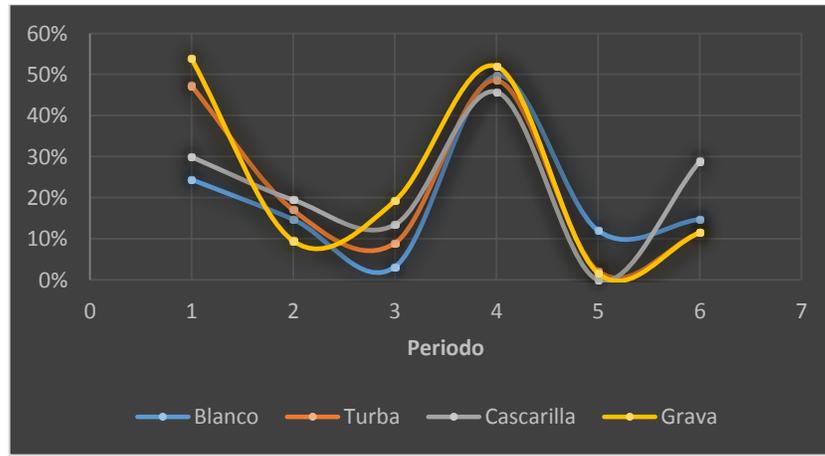
5.4.3 Remoción de nitratos. Los valores de remoción de nitratos correspondientes a la diferencia de las concentraciones de este parámetro de la caja de nivel y la salida de cada unidad experimental ver anexo (xx) se observan en el cuadro 23; así mismo los resultados en cuanto al porcentaje de remoción para cada uno de los periodos.

Cuadro 25. Valores de remoción de nitratos para cada tratamiento y porcentaje de remoción

| Periodo | T0 (Blanco) | | T1 (Turba) | | T2 (Cascarilla) | | T3 (Grava) | |
|-----------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | Remoción nitratos | % remoción |
| 1 | 8,567 | 24% | 16,533 | 47% | 10,467 | 30% | 18,833 | 54% |
| 2 | 6,000 | 15% | 6,933 | 17% | 7,933 | 19% | 3,867 | 10% |
| 3 | -0,600 | -12% | 0,467 | 9% | 0,700 | 13% | 1,000 | 19% |
| 4 | 8,800 | 50% | 8,600 | 49% | 8,100 | 46% | 9,200 | 52% |
| 5 | -0,467 | -8% | -1,200 | -20% | -1,900 | -31% | 0,100 | 2% |
| 6 | 0,767 | 15% | 0,600 | 12% | 1,500 | 29% | 0,600 | 12% |
| Promedio | 3,844 | 14% | 5,322 | 19% | 4,467 | 18% | 5,600 | 25% |

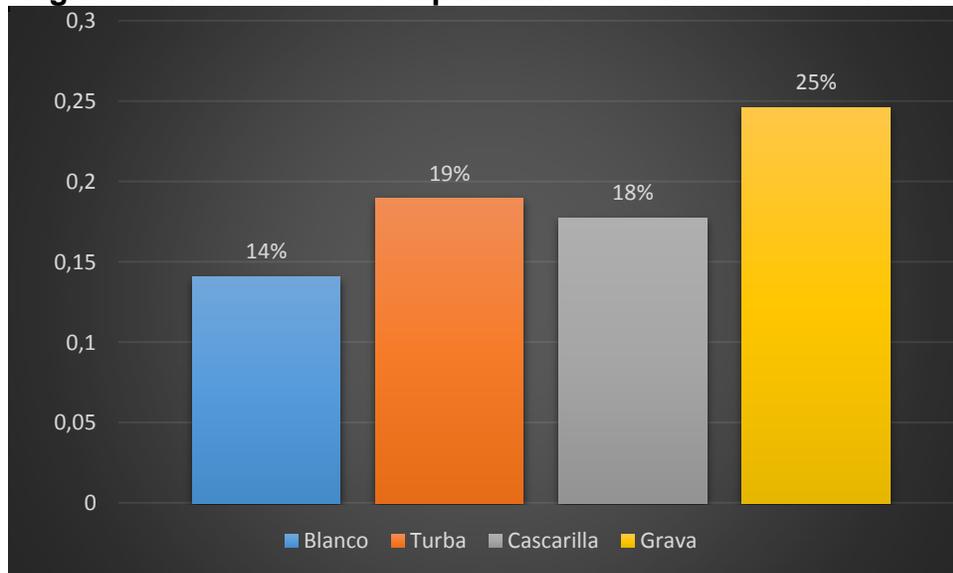
En la figura 42 se muestra el comportamiento del porcentaje de remoción de nitratos en cada uno de los tratamientos por cada muestreo durante 60 días de estudio, En el primer periodo los valores de porcentaje de remoción de nitratos estuvieron por encima de 24% para los cuatro tratamientos, para el segundo periodo el comportamiento de este estuvo por encima de 19%, para el tercer periodo la cantidad de nitratos descendió para los cuatro tratamientos a niveles superiores de 3% para el cuarto periodo el valor aumento con valores por encima de 43%, el quinto periodo se presenta un descenso y los valores por encima del 0% , finalmente para el sexto periodo se observa un ascenso de la cantidad de nitratos removidos en el sistema alcanzando valores por encima de 12%.

Figura 39. Porcentaje de la remoción de nitratos en cada tratamiento



El con un 95% de significancia (anexo S) determino que no existieron diferencias significativas en cuanto la cantidad de nitratos removidos entre los parámetros durante todo el estudio. En la figura 43 se observan los valores promedios de comparación en cuanto a la eficiencia de remoción de que presento cada tratamiento

Figura 40. Promedios de comparación de la eficiencia de remoción



5.5 ANÁLISIS PARCIAL DE COSTOS

En esta investigación se tuvo en cuenta los costos relacionados con el costo del montaje del Sistema acuapónico, consumo eléctrico, alimento utilizado, juveniles de tilapia y los sustratos. El cálculo de la relación beneficio costo para los cuatro tratamientos fueron: T0 (blanco) 1, T1 (turba) 0.99, T2 (grava) 1, T3 (cascarilla de arroz) 1, así mismo la participación porcentual de cada costo de producción se observa en la cuadro 26.

Cuadro 26. Costos parciales de la investigación

| Ítem | Valor total | Blanco | T1 | T2 | T3 |
|--|---------------|--------|--------|--------|--------|
| Depreciación | \$ 99.613,33 | 18,33% | 18,17% | 18,32% | 18,32% |
| Consumo Eléctrico | \$ 236.160,00 | 43,47% | 43,07% | 43,43% | 43,43% |
| Mano de obra | \$ 138.750,00 | 25,54% | 25,31% | 25,51% | 25,52% |
| Alimento balanceado | \$ 14.786,20 | 2,72% | 2,70% | 2,72% | 2,72% |
| Juveniles de Tilapia | \$ 37.500,00 | 6,90% | 6,84% | 6,90% | 6,90% |
| Paquete de semillas <i>Lactuca sativa</i> | \$ 2.500,00 | 0,46% | 0,46% | 0,46% | 0,46% |
| Otros | \$ 9.000,00 | 1,66% | 1,64% | 1,65% | 1,66% |
| Sal marina | \$ 5.000,00 | 0,92% | 0,91% | 0,92% | 0,92% |
| Turba 1kg | \$ 5.000,00 | | 0,91% | | |
| Gravilla 60 kg | \$ 400,00 | | | | 0,07% |
| Cascarilla 40 kg | \$ 500,00 | | | 0,09% | |
| | | 100% | 100% | 100% | 100% |

En la cuadro 27 se discrimina las utilidades y los costos para cada uno de los tratamientos así mismo el valor del indicador. (anexo T)

Cuadro 27. Relación costo beneficio

| Relación beneficio costo | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|------|
| Tratamientos | Beneficio | Costo | B/C |
| Blanco | \$ 543.775,00 | \$ 543.309,53 | 1,00 |
| T1 | \$ 543.775,00 | \$ 548.309,53 | 0,99 |
| T2 | \$ 543.775,00 | \$ 543.809,53 | 1,00 |
| T3 | \$ 543.775,00 | \$ 543.709,53 | 1,00 |

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 VARIABLES PRODUCTIVAS

6.1.1 Incremento en peso. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación los incrementos de peso para los 4 periodos registrados fueron 33,44, 20,56, 19,52, 3,92 gramos, es decir que tuvieron un incremento diario de 2,22, 1,37, 1,3, 0,26 gramos respectivamente. Según Pérez Mercedes et al⁶⁶ manifiesta que los incrementos de peso diarios para esta especie pueden ser entre 1 a 2 gramos por día en sistemas de producción semi-intensivo en estanques. Popma, T. J. y B. W. Green⁶⁷ afirman que las tilapias deben alcanzar un peso promedio entre 15 a 50 g en 30 días y realizó un experimento donde encontró durante ocho semanas, un crecimiento diario de 1.09 g. (5.5 g/5 días) en condiciones de laboratorio. En concordancia con los autores citados se puede observar que para los periodos 1, 2 y 3 de esta investigación los valores de esta variable están dentro de los incrementos normales para tilapia y fueron superiores a los obtenidos por dichos investigadores, de igual manera el resultado obtenido para el 4 periodo es menor a 1 gramo diario siendo un valor inadecuado dentro de los procesos productivos.

De acuerdo con Pérez Mercedes⁶⁸ el incremento de peso diario en peces se ve afectado por las condiciones ambientales en las cuales estos se desarrollan tales como calidad de agua, altas densidades, alimentación entre otras, de igual manera FAO⁶⁹, menciona que Intervalos inadecuados como la Temperatura, el nivel de oxígeno disuelto; el pH, la concentración de sólidos suspendidos, la concentración de compuestos nitrogenados, pueden afectar el incremento en peso y/o enfermedades.

En la figura 21 se observó que el incremento de peso fue descendiendo en el horizonte de tiempo establecido, para esta investigación dicho comportamiento está acorde según FAO⁷⁰ quien manifiesta que esta variable tiene una inflexión a medida que se finalizan las etapas de producción, por lo tanto el comportamiento observado está dentro de lo normal. Para el caso de los valores inferiores de

⁶⁶ RAMOS, Milagros Mercedes Pérez Muñoz Martha Isabel Sáenz. Crecimiento de las tilapias *Oreochromis niloticus* en cultivo Monosexual y Ambos sexos, en sistemas de producción semi - intensivos.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA. FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA, 2015.

⁶⁷ POPMA, T. J. y B. W. Green. . "Sex Rerversal of Tilapia in Eartherm Ponds International Center of Aquaculture". {En línea}. {04 febrero de 2018} disponible en: (<http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/technical/14tchhtml/2/2b/2b4/2b4.html>).

⁶⁸ RAMOS, Crecimiento de las tilapias *Oreochromis niloticus* en cultivo Monosexual y Ambos sexos, en sistemas de producción semi - intensivos. Op. cit.

⁶⁹ FAO. Introduccion a la dinamica de poblaciones. 1993

⁷⁰ Ibíd.

incremento de peso en el cuarto periodo se puede deber a los cambios bruscos de temperatura y oxígeno como se indicaron anteriormente.

6.1.2 Incremento de talla. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación los incrementos de talla para los 4 periodos registrados fueron de 1,16, 1,28, 1,06, 0,04 cm. En concordancia se puede observar que para los periodos 1, 2 y 3 de esta investigación los valores obtenidos fueron descendiendo y en el cuarto periodo se observa un incremento mínimo y muy inferior a los anteriormente registrados, según Castillo N⁷¹, et al, para el estudio realizado en alevinos de tilapia obteniendo un incremento en longitud de 2.01 cm quincenal, en comparación con el autor citado se puede observar que para los 4 periodos los valores registrados fueron menores afectando los procesos productivos esto pudo deberse a los cambios bruscos de temperatura y oxígeno como se indicaron anteriormente.

Según FAO⁷², al tratar de relacionar la velocidad de incremento en longitud del pez se obtendrá normalmente una regresión lineal con una pendiente negativa, donde el incremento en longitud va descendiendo en el eje de las abscisas.

En la figura 23 se observó que el incremento de talla fue descendiendo en el horizonte de tiempo establecido para esta investigación dicho comportamiento está acorde según FAO⁷³ quien manifiesta que esta variable desciende a medida que se finalizan las etapas de producción, por lo tanto el comportamiento observado está dentro de lo normal.

6.1.3 Tasa de crecimiento simple. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación la tasa de crecimiento simple para los 4 periodos de estudio fueron 1,48%, 0,77%, 0,66% y 0,12% respectivamente, en comparación con Burbano⁷⁴ que trabajo con alevinos de tilapia obteniendo un crecimiento simple de 7,21% durante 90 días lo que quiere decir una tasa de crecimiento de 1,2% quincenal, en comparación con el autor citado se puede observar que para el periodo 1 el valor registrado fue superior a la citada investigación sin embargo para los periodos 2, 3, 4 fueron menores afectando los procesos productivos esto pudo deberse a los cambios bruscos de temperatura y oxígeno como se indicaron anteriormente.

⁷¹ CASTILLO N, Maya C. Evaluación comparativa de un probiótico, en alevinos de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en estanque tipo invernadero. Universidad de Nariño. Pasto Colombia, 2008.

⁷² FAO, Introducción a la dinámica de poblaciones. Op. cit.

⁷³ *Ibíd.*

⁷⁴ BURBANO.C. H. Buenas prácticas de producción acuícola (BPPA) para el levante de alevinos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en piscícola botero, estación villa dana.: Universidad de Nariño. Huila Colombia, 2015.

En la Figura 24 se observó que el tasa de crecimiento es descendente en el transcurso del tiempo dicho comportamiento está acorde con Hephher⁷⁵, quien manifiesta que los animales más pequeños utilizaban el alimento consumido más eficientemente y a medida que las especies crecen disminuye la tasa de crecimiento, los procesos metabólicos y fisiológicos, por lo tanto el comportamiento observado está dentro de lo normal.

6.1.4 Supervivencia. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación la supervivencia durante el estudio de fue del 100% de los 25 animales, equivalentes a una densidad de 55,55 animales/m³ y una carga inicial 7,47 kg/m³ y finalizando con una carga 11,77 kg/m³. Medina⁷⁶ manifiesta una supervivencia de 78,5% para tilapia del Nilo y 81,6% para el híbrido utilizando jaulas, piletas en concreto y tanques, siendo estos valores inferiores a los registrados por esta investigación. La alta supervivencia de esta especie dentro de la investigación se debió a que las condiciones de calidad de agua manejo y alimentación estuvieron dentro de los requerimientos establecidos para su cultivo.

6.1.5 Factor de conversión alimenticia. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación el factor de conversión para los 4 periodos fue de 1,45, 2,94, 3,48, 19,1 y la final de todo el estudio fue de 3,25, según Diaz,.M. et al⁷⁷, afirma que en el estudio realizado para cultivo semi-intensivo de *Oreochromis Niloticus* reportan un valor de F.C.A de 1,65:1 durante los 11 meses de cultivo, en comparación con los citados autores se observa que para el periodo 1 se obtuvieron mejores resultados con esta investigación; sin embargo para los periodos 2, 3, 4 dichos valores son inadecuados de igual manera para el resultado final del estudio. Esto se pudo deber que las condiciones de calidad de agua tales como temperatura, oxígeno presentaron cambios bruscos en periodos de 24 horas generando estrés en los animales y disminuyendo como consecuencia la eficiencia para esta variable tal cual como lo afirma GIRALDO.⁷⁸

⁷⁵ HEPHER, Balfour. Nutrición de peces comerciales en estanques. 1993.

⁷⁶ MEDINA. F. G, M Comparación del pre-engorde de alevines de tilapia del Nilo e híbrido rojo de tilapia en tres ambientes. En: Zamorano, Honduras.

⁷⁷ MOISÉS DÍAZ BARBOZA, Roger Alva Calderón, Bilmia Veneros Urbina, Felix Dávila Gil, Luis A. Luján Bulnes, Willy Plasencia Angulo y Francisco Mendoza Álvarez. Cultivo semi-intensivo de tilapia, *Oreochromis niloticus*, en estanque de concreto en el caserío Palo Blanco (Cascas, La Libertad-Perú). Universidad Nacional de Trujillo. Departamento de Pesquería. Facultad de Ciencias Biológicas, 2012.

⁷⁸ GIRALDO, Crianza de tilapia. Op. cit.

6.2 CALIDAD DEL AGUA

Los valores promedios para cada parámetro fisicoquímico analizado (T, CO₂, O₂, DQO, DBO₅, pH, alcalinidad y dureza) estuvieron acorde a los requerimientos de la especie según Cantor⁷⁹, sin embargo se presentaron variaciones en parámetros tales como oxígeno y temperatura. De acuerdo con GIRALDO⁸⁰ las variaciones de los parámetros fisicoquímicos afectan al desempeño productivo de las especies ícticas conllevando a resultados por debajo de los parámetros esperados.

Las concentraciones de los diferentes parámetros fueron:

- En la unidad de cultivo el pH estuvo entre los rangos de $7,54 \pm 0,046$, sin embargo se presentaron picos para esta variable obteniendo valores mínimos de pH de 7,48 y máximas de 7,63. De acuerdo a CARRILLO⁸¹ el rango adecuado para tilapia es de 7-9 de igual manera Boyd⁸² asegura que el pH para el cultivo de cualquier especie se debe encontrar en rangos de 6.5 y 9 siendo los más adecuados. Así mismo CANDARLE. P⁸³ afirma que este parámetro se debe mantener en valores cercanos a la neutralidad (pH= 7) debido a que influye sobre la calidad del agua, interviene en muchos otros procesos y también en la disponibilidad de los nutrientes que obtienen las plantas de manera diferenciada y por ende los resultados estando dentro de los rangos establecidos para el cultivo de la especie.
- Según Meyer, D⁸⁴. afirma que los niveles deseables de alcalinidad y dureza en el agua usada en el cultivo de peces son entre 20 a 300 mg/l para cada parámetro, Carruthers⁸⁵ menciona que el agua dura puede ser una fuente de micronutrientes para la acuaponía sin afectar a las especies. Timmons⁸⁶ recomienda que para agua dulce la alcalinidad presenta valores de 5 – 500 CaCO₃ mg/L, al igual que la concentración de la alcalinidad se encuentra ligada directamente del pH y a las concentraciones del CO₂. La unidad de cultivo presentan valores promedio de $59 \pm 10,754$ para alcalinidad y $30,83 \pm 10,237$ para dureza, sin embargo se presentaron picos para esta variable obteniendo valores mínimos de 42 mg/L y máximas de 72

⁷⁹ CANTOR A., Manual de Producción de Tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. México. Op. cit.

⁸⁰ GIRALDO, Crianza de tilapia. Op. cit.

⁸¹ CARRILLO, Daniel Mauricio Coral. Diseño de un diseño acuaponico en la unidad de agricultura organica. Zamorano Honduras, 2015.

⁸² BOYD, C. E. . Water quality in puond for aquaculture. En: SUMMERFELT, Robert. Water Quality Cconsiderations for Aquaculture. 1990.

⁸³ CANDARLE, Pablo. Tecnicas de acuaponia, Centro Nacional de desarrollo acuicola CENADAC.

⁸⁴ MEYER. D, E. . Introduccion a la acuacultura. 2004.

⁸⁵ CARRUTHERS, Steven. Producción de alimentos acuapónicos en pequeña escala. Practical Hydroponics and Greenhouses. 2015. 152 p.

⁸⁶ TIMMONS, Sistemas de recirculación para la acuicultura. Op. cit.

mg/L para alcalinidad, valores mínimos de 18 mg/L y máximas de 48 mg/L para dureza, por lo cual estos valores son adecuados para el cultivo de la especie.

- Según FAO⁸⁷ los peces utilizados en piscicultura sobreviven a altas concentraciones de dióxido de carbono, tolerando hasta 20 mg/L toda vez que el nivel de oxígeno disuelto no sea muy bajo (<3 mg/L). De igual manera Merino et al⁸⁸, afirma que el dióxido de carbono (CO₂) es el producto de la respiración de los animales, siendo un compuesto ácido este podría ocasionar afectaciones en el pH y que se produzcan concentraciones mayores a 20 mg/L que causarían inapetencia, letargia en los peces. La concentración promedio de dióxido de carbono para la unidad de cultivo fue de 7,63 ± 2,195 mg/L, sin embargo se presentaron picos para esta variable obteniendo valores mínimos de dióxido de carbono de 3,52 y máximas de 10,56 mg/L y por ende los resultados están dentro de los rangos establecidos para el cultivo de la especie.

- De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación la concentración promedio de DBO₅ de la unidad de cultivo fue de 5,26±0,67 mg/L, con valores mínimos 4,24, máximos de 6,08 mg/L y carga de 0,01 kg/d, la DQO con datos promedios de 27,75±4,81 mg/L con valores mínimos 20, máximos de 33 mg/L y carga de 0,05 kg/d. Según Benavidez⁸⁹ donde realizaron un estudio de biofloc obteniendo registros de DBO₅ de 121,25 mg/L y la DQO con rangos de 30,05 mg/L en un cultivo de biofloc, de igual manera Recalde y Araya⁹⁰, quienes afirman que el aumento de microorganismos contribuye al aumento de la DBO₅ y DQO debido al consumo de oxígeno.

La resolución 0631 del 2015⁹¹ afirma, que los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público son de DQO 800 mg/L y DBO₅ 450 mg/L de igual manera el ARTÍCULO 13. Fija Valores límite de carga contaminante, expresada en kg/día DQO, en vertimientos puntuales a cuerpos de agua continentales superficiales. Cuando la carga contaminante expresada en DQO en el(los) vertimiento(s) puntual(es) de aguas residuales de un generador a cuerpos de agua superficiales sea superior a 4.000,0 kg/día de DQO, se deberá efectuar la gestión del mismo por parte del generador, de tal manera que la concentración de DQO en los caudales o volúmenes superiores a la carga límite anteriormente definida en

⁸⁷ FAO, El estado mundial de la pesca y acuicultura. Op. cit.

⁸⁸ MERINO, A. M. Guía práctica de piscicultura en Colombia. (2015).

⁸⁹ BENAVIDEZ, L. Lopez, W. . EVALUACION DEL EFECTO DEL BIOFLOC EN LA PRODUCCION DE ALEVINOS DE CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818) EN CONDICIONES DE LABORATORIO. UNIVERSIDAD DE NARIÑO. PASTO, COLOMBIA. Ingeniería en producción acuícola: Universidad de Nariño. Recursos hidrobiológicos, 2012.

⁹⁰ RECALDE, P y ARAYA, J. . Diseño de tecnologías para la descontaminación de aguas residuales en sistemas agropecuarios. Guacimo, Costa Rica: Universidad Earth,. Ingeniero agrónomo, 2006.

⁹¹ MINAMBIENTE, Resolución 0631. Op. cit.

el(los) vertimiento(s) puntual(es), sea menor a 100 mg/L. por ende los resultados de este estudio son inferiores a los exigidos por la citada norma.

- De acuerdo a Saavedra⁹² la tilapia soporta bajas concentraciones de oxígeno, aproximadamente 1 mg/L, e incluso en períodos cortos valores menores. A menor concentración de oxígeno el consumo de alimento se reduce, por consiguiente el crecimiento de los peces. Lo más conveniente son valores mayores de 2 ó 3 mg/L, particularmente en ausencia de luz, igualmente Boyd⁹³ afirma que es ampliamente conocido que la solubilidad del O₂ disminuye a medida que la temperatura del agua aumenta y que, además, es el principal factor que afecta el metabolismo respiratorio y la excreción de amonio en organismos acuáticos, por lo cual en la unidad de cultivo se registró valores promedio de 3,78±0,60 mg/L. Sin embargo todos los días se presentaron picos para esta variable obteniendo valores mínimos de oxígeno de 3,0 y máximas de 5,1 mg/L por ende estos valores son los adecuados para el cultivo de la especie, tal como lo afirma Nicovita⁹⁴, que el rango debe ser mayor 4,5 mg/L, bajos rangos de oxígeno los peces se verán afectados por un bajo metabolismo, evidenciándose en un crecimiento lento.

- Nicovita⁹⁵ afirma que el rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 28°C y 32°C, aunque ésta puede continuarse con una variación de hasta 5°C por debajo de este rango óptimo, esta influye en los diferentes procesos fisiológicos y metabólicos tales como talla, peso y apetencia de la especie. De acuerdo Petersen⁹⁶ para tilapia que se encuentre en un rango óptimo entre 22 a 26 °C, la temperatura promedio fue 26,18 ± 2, 65 °C. sin embargo todos los días se presentaron picos para esta variable obteniendo valores de temperatura mínimos de 21,6 y máximas de 32,2°C observándose una diferencia de hasta 11°C lo cual no es adecuado para el cultivo de la especie y tal como lo afirma Giraldo⁹⁷, dichos cambios afectan los procesos fisiológicos de la especie y por ende los resultados de las variables productivas que para ese caso afectaron significativamente el incremento de peso, talla, tasa de crecimiento simple, y conversión alimenticia

⁹² SAAVEDRA, Maria Auxiliadora. Manejo del cultivo de tilapia. En: Managua Nicaragua. 2006

⁹³ BOYD, Water quality in puond for aquaculture. Op. cit.

⁹⁴ NICOVITA. Manual de Crianza de tilapia.

⁹⁵ Ibíd.

⁹⁶ A, PETERSEN T. Evaluación del rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en un sistema acuapónico. Licenciada en Acuicultura UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA, 2008.

⁹⁷ GIRALDO, Crianza de tilapia. Op. cit.

6.3 REMOCIÓN DE COMPUESTOS NITROGENADOS

- En esta investigación se registraron valores máximos de amonio de 0,17 mg/L mg/L, Ragash⁹⁸ sugiere que para amonio se deben manejar valores menores a 1 mg/L y Timmons⁹⁹ sugiere que el valor para el NAT debe ser <3 mg/L y para el amonio no ionizado (NH₃) < 0,6 mg/L.
- En este estudio los valores de remoción máximos obtenidos fueron del 45% para el T0 (Blanco) y mínimo de 32% para T3 (Grava) sin embargo el análisis de varianza demostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al porcentaje de remoción de amonio. según Morales et al¹⁰⁰ afirma que en la investigación que realizó utilizando la técnica de reactor de lecho móvil discontinuo logro remover un 90% de nitrógeno amoniacal, mientras que Vargas¹⁰¹ en su investigación el cual era efecto de las micro algas en la remoción de los compuestos nitrogenados obtuvo valores de porcentaje de remoción de 36,42%. Se puede observar que el porcentaje de remoción con el sistema acuapónico obtuvo valores similares a los reportados por Vargas quien utilizo micro algas, así mismo dichos resultados son inferiores a los publicados por Morales quien utilizo el reactor de lecho móvil siendo una tecnología más avanzada y costosa
- Por otro lado en el periodo tres de esta investigación el comportamiento de remoción de amonio disminuyo drásticamente para cada uno de los tratamientos con un valor de -24% para T0 (blanco), -20% para T1 (Turba), 8% para T2 (cascarilla) y -36% para el T3 (grava), teniendo en cuenta que dos días antes de la toma de muestras se realizó un lavado previo al clarificador lo cual implica reposición de agua y remoción de solidos lo cual afecta el ambiente donde habitan las bacterias nitrificantes Según Sánchez et al¹⁰², en los resultados de su investigación observó una disminución progresiva de la remoción de amonio posterior al lavado indicando un valor de -25%.
- En esta investigación se registraron valores máximos de 0,11 mg/L de nitritos según Timmons¹⁰³, afirma que el valor óptimo de nitritos en acuicultura es <1

⁹⁸ RAGASH. Municipalidad de ragash. Manual de crianza trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Peru: (2009).

⁹⁹ TIMMONS, Sistemas de recirculación para la acuicultura. Op. cit.

¹⁰⁰ MORALES, Julio Cesar, Gonzales Simon, Gonzales Oscar. Remocion biologica simultanea de fosforo y nitrogeno de agua residual. (2006).

¹⁰¹ VARGAS LUIS, Cardenas Carmen, et al. EFECTO DE LAS MICROALGAS EN LA REMOCIÓN DE LOS COMPUESTOS NITROGENADOS PRESENTES EN LA LAGUNA FACULTATIVA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Maracaibo –Venezuela: Centro de Investigación del Agua, Ciudad Universitaria, Lagunas de Oxidación.

¹⁰² IVAN ANDRES SANCHEZ, Roberto Garcia et al. Evaluacion preliminar de la eficiencia de diferentes inoculos en el tratamiento de aguas residuales de cultivo de trucha por medio de biofiltros aerobios de flujo ascendente en un sistema de recirculacion. Universidad de Nariño (2011).

¹⁰³ TIMMONS, Sistemas de recirculación para la acuicultura. Op. cit.

mg/L. en consecuencia dicho parámetro permaneció por debajo del límite máximo registrado por el autor. En cuanto al porcentaje de remoción los valores máximos obtenidos fueron de 49% siendo el valor más alto para T1 (Turba) y T3 (Grava), mientras que para T2 (cascarilla) fue de 48% y para T0 (blanco) fue de 45%, estos porcentajes fueron inferiores a lo reportado por Sánchez et al¹⁰⁴, en su investigación sobre la evaluación en la remoción de compuestos nitrogenados de un sistema acuapónico vs sistema acuícola convencional obtuvieron una densidad final de 4 Kg/m³ y valores de remoción de hasta 75% dicha situación se puede explicar a la baja carga de biomasa Kg/m³ utilizada por los autores en comparación a la carga obtenida con esta investigación.

En esta investigación se registraron valores máximos de nitratos de 18,83 mg/L Según Candarle¹⁰⁵ los valores de nitratos deben ser menores a 300-500 mg/L, en consecuencia este parámetro se mantuvo por debajo de dichos niveles. El porcentaje de remoción promedio obtuvo valores más altos de 25% para T3 (Grava) utilizando 12 plantas en el sistema, en este caso para el sistema acuapónico la remoción de nitrato fue baja, para la cantidad de plantas que se utilizaron, de igual manera Sanchez¹⁰⁶ et al, afirma que los valores de remoción de nitratos más altos en un sistema acuapónico fueron de 33,75% utilizando 15 plantas por cada tubo.

Taiz y Zeiger¹⁰⁷ reportan que la asimilación óptima de los nutrientes requeridos por las plantas se logra cuando el pH del agua y suelo se encuentra entre 5.5 y 6.5. Al respecto Sánchez¹⁰⁸ recomiendan mantener valores promedio de pH cercanos a 7, lo que permite la asimilación de nutrientes por la planta, el funcionamiento eficiente del biofiltro y el crecimiento de los peces. El porcentaje de remoción para nitrato durante los 60 días tuvo un comportamiento menor al autor citado y adecuados en la unidad experimental para pH ya que permitió una mejor asimilación de nutrientes en las plantas.

¹⁰⁴ SANCHEZ, Daisy, RUIZ, Darling. Evaluación en la remoción de compuestos nitrogenados de un sistema acuapónico vs un sistema acuícola convencional bajo condiciones de laboratorio Universidad de Nariño-Colombia. Pasto: (2016).

¹⁰⁵ CANDARLE, Técnicas de acuaponia, Centro Nacional de desarrollo acuicola CENADAC. Op. cit.

¹⁰⁶ SANCHEZ, Evaluación en la remoción de compuestos nitrogenados de un sistema acuapónico vs un sistema acuícola convencional bajo condiciones de laboratorio Universidad de Nariño-Colombia. Op. cit.

¹⁰⁷ TAIZ L, Zeiger E. Nutrition mineral. En: Plant Physiology. Sinauer Associates. Sunderland MA USA 2006, p. 67 - 86.

¹⁰⁸ SANCHEZ, Evaluación en la remoción de compuestos nitrogenados de un sistema acuapónico vs un sistema acuícola convencional bajo condiciones de laboratorio Universidad de Nariño-Colombia. Op. cit.

6.4 ANALISIS PARCIAL DE COSTOS

De acuerdo con los valores obtenidos de relación beneficio costo para cada tratamiento, fueron para T1 (blanco) 1, T2 (turba) 0,99, T3 (grava) 1 y T4 (cascarilla de arroz) 1, se puede determinar que por cada peso invertido para cada tratamiento se obtienen unos ingresos totales de \$ 1. De acuerdo con Pedraza¹⁰⁹ indica que en la relación costo beneficio al dar un valor de 1 este se encuentra en punto de equilibrio. En este caso en el proyecto para todos los tratamientos no se generó pérdidas ni ganancias.

Los costos incurridos dentro del proyecto pueden disminuir al incrementar el volumen de producción especialmente mano de obra y los costos de energía esto de acuerdo con Resh¹¹⁰ et al, quien afirma que esta técnica consigue rendimientos altos por unidad de área cultivada, por la mayor densidad y elevada producción por planta, lográndose mayores cosechas por año

¹⁰⁹ JOSE FABIAN PEDROZA SEPULVEDA, Katherine Criado Ortiz. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E IMPLEMENTACION DE UN CULTIVO ACUAPONICO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER Francisco de Paula Santander Ciencias Administrativas y economicas, 2012.

¹¹⁰ M., Cultivos hidropónicos. Op. cit.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

La remoción de compuestos nitrogenados con el sistema acuapónico implementado fue eficiente con lo cual se mejoró la disminución de estos compuestos tóxicos para el desarrollo y crecimiento de los peces.

De acuerdo con el análisis de varianza no existieron diferencias significativas al 95% entre los sustratos utilizados en los cuales se sembraron las plantas que mejorarían la remoción de compuestos nitrogenados. Por lo tanto la capacidad de remoción de estos compuestos es igual de eficiente sin utilizar sustratos.

El sistema acuapónico demostró ser eficiente en la remoción de amonio, nitritos y nitratos con valores de 45%, 49% y 25% respectivamente, así mismo la cantidad de estos compuestos nitrogenados estuvo por debajo de los límites superiores permitidos para el cultivo de la especie.

Durante los tres primeros periodos los valores de las variables productivas como (incremento en peso, incremento en talla y tasa de crecimiento simple) estuvieron acorde con el desarrollo normal de la especie, sin embargo para el cuarto periodo dichos valores fueron afectados disminuyendo a rangos inferiores a lo obtenido anteriormente esto se pudo deber a los cambios bruscos de temperatura y oxígeno.

Con respecto a la conversión alimenticia se observó que para el periodo uno y dos se lograron los mejores resultados los cuales fueron afectados negativamente para los periodos tres y cuatro toda vez que dichos valores de estos últimos dos periodos son inadecuados dentro de los procesos de producción acuícola.

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos se lograron resultados acordes a el desarrollo normal de la especie sin embargo se presentaron picos para oxígeno y temperatura debido a las diferentes variaciones que pudieron existir en el ambiente del invernadero.

La relación costo beneficio obtenido para este estudio indica que el proyecto bajo condiciones de laboratorio no genera pérdidas ni ganancias lo cual es adecuado debido al control exhaustivo que se tuvo dentro del proyecto.

7.2 RECOMENDACIONES

El sistema acuapónico implementado demostró un potencial para el cultivo de especies ícticas como la tilapia roja en combinación con la lechuga por lo tanto es recomendable fortalecer dicha tecnología para ser aplicada dentro de los procesos industriales que se podrían implementar bajo condiciones de invernadero y a una altura de 2820 m.s.n.m.

En fundamental estudiar la relación de biomasa íctica y de plántulas a utilizar que permitan obtener una mejor eficiencia sobre la remoción de los compuestos nitrogenados provenientes del cultivo de una especie íctica bajo condiciones de invernadero y recirculación.

Es necesario evaluar el sistema acuapónico utilizando otras especies ícticas que se adapten de manera natural a la temperatura que se manejó en el invernadero y de esta manera disminuir costos de energía por aclimatación de agua.

Es necesario evaluar el sistema acuapónico utilizando otras especies vegetales que se adapten de manera natural a la temperatura que se manejó en el invernadero y de esta manera disminuir costos de energía por aclimatación de agua.

BIBLIOGRAFÍA

A, PETERSEN T. Evaluación del rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en un sistema acuapónico. Licenciada en Acuicultura UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura - CEMA, 2008.

ACUAPONICO, SISTEMA. ACUAPONIA, UN SISTEMA INNOVADOR EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS.

ARBELAEZ, Maria Cristina. El sector piscícola se destaca por su potencial exportador y desarrollo tecnológico. Programa de Productividad y Competitividad Agropecuaria del Huila (2011), p. 62.

ARZU, U. y MUHAMMED, A. . The effects of natural (clove oil) and synthetical (2-phenoxyethanol) anesthesia substances on hematology parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta fario*). En: Journal of animal and veterinary advances Faculty of aquaculture engineering. 2010, no. Ataturk University. Erzurum, Turkey

AUNAP. Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia. En: PlaNDAS. 2014

B. HALLING-SØRENSEN, S.E. Jorgensen. The Removal of Nitrogen Compounds from Wastewater. 1993.

BALTAZAR, P; PALOMINO, A. . Manual de Cultivo de Tilapia. FONDEPES (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero). En: LIÑAN, W. 2007 MACRO. 110 p. (Colección de Acuicultura). 2004

BENAVIDEZ, L. Lopez, W. . EVALUACION DEL EFECTO DEL BIOFLOC EN LA PRODUCCION DE ALEVINOS DE CACHAMA BLANCA (*Piaractus brachipomus*, Cuvier 1818) EN CONDICIONES DE LABORATORIO. UNIVERSIDAD DE NARIÑO. PASTO, COLOMBIA. Ingenieria en produccion acuicola: Universidad de Nariño. Recursos hidrobiologicos, 2012.

BIGELOW, Cale A. BOWMAN, Daniel C. CASSEL, Keith. . Physical Properties of Three Sand Size Classes Amended with Inorganic Materials or Sphagnum Peat Moss for Putting Green Rootzones. . En: Crop Science. 2004. vol. 44

BOYD, C. E. . Water quality in pond for aquaculture. En: SUMMERFELT, Robert. Water Quality Considerations for Aquaculture. 1990.).

BURBANO.C. H. Buenas practicas de producción acuícola (BPPA) para el levante de alevinos de tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*) en piscícola botero, estación villa dana.: Universidad de Nariño. Huila Colombia, 2015. 196 p.

BUSCHMANN, ALEJANDRO H. IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACUICULTURA EL ESTADO DE LA INVESTIGACION EN CHILE Y EL MUNDO. En: Santiago, Chile. 2001

BV, Lenntech. "Tratamiento y purificacion de agua". {En línea}. {} disponible en: (<https://www.lenntech.es/index.htm>).

CALO, Pablo. Introducción a la Acuaponia, Centro Naconal de Desarrollo Acuicola CENADAC. En: <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>. (2011).

CANDARLE, Pablo. Tecnicas de acuaponia, Centro Nacional de desarrollo acuicola CENADAC.).

CANTOR A., F. Manual de Producción de Tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. México. Puebla, mexico: (2007).

CARL D WEBSTER, Chhorn Lim Tilapia biology, culture and nutrition 2001.

CARRILLO, Daniel Mauricio Coral. Diseño de un diseño acuaponico en la unidad de agricultura organica. Zamorano Honduras, 2015.

CARRUTHERS, Steven. Producción de alimentos acuapónicos en pequeña escala. Practical Hydroponics and Greenhouses. 2015. 152 p.

CASERES, Ernesto. Produccion de Hortalizas. En: Intituto Interamericano de ciencias agricolas. San Jose de Costa Rica, 1980

CASTILLO N, Maya C. Evaluacion comparativa de un probiotico, en alevinos de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en estanque tipo invernadero. Universidad de Nariño. Pasto Colombia, 2008.

COLAGROSSO ALESSANDRO. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala, Manual de desarrollo de cultivo acuapónico. 2014
CHAMORRO, Legarda E, et al. Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utizando lechuga y trucha arcoiris en un sistema acuicola. . En: San Juan de Pasto. 2012. vol. 6.

EVANS, Michael. GACHUKIA, Mary. Physical Properties of Sphagnum Peat-based Root Substrates Amen ded with Perlite or Parboiled Fresh Rice Hulls. En: Hort science. 2004. vol. 2

FAO. Introduccion a la dinamica de poblaciones. 1993

FAO. Diagnostico de la acuicultura de recursos limitados (AREL) y de la acuicultura de la micro y pequeña empresa (AMYPE) en america latina. En: Serie acuicultura en latinoamerica. 2012. vol. 7

FAO. "El estado mundial de la pesca y acuicultura". {En línea}. {} disponible en: (<http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>).

FAO. "prevención y tratamiento de enfermedades de los peces ". {En línea}. {} disponible en: (ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/).

GALLI, M. O; Miguel. S. F. Sistemas de recirculación y tratamiento de agua. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y alimentos. En: CENADAC (Santa Ana-Corrientes. 2007

GARCIA-ULLOA, M, HERNÁNDEZ, León C y CHÁVEZ, R. Evaluation of an experimental aquaponic system. En: AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. 2004

GIRALDO, Wilbert E Liñan. Crianza de tilapia. 2007.

GUTIÉRREZ, Mario Esteban Muñoz. Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador Técnico. (2012), p. 123- 129.

HEPHER, Balfour. Nutricion de peces comerciales en estanques. 1993. INFORMATION, NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY. "Taxonomy". {En línea}. {} disponible en: (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>).

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS MEDIO AMBIENTALES. "IDEAM Datos Meteorológicos". {En línea}. {}.

IVAN ANDRES SANCHEZ, Roberto Garcia et al. Evaluacion preliminar de la eficiencia de diferentes inoculos en el tratamiento de aguas residuales de cultivo de trucha por medio de biofiltros aerobios de flujo ascendente en un sistema de recirculacion. Universidad de Nariño (2011).

JOSE FABIAN PEDROZA SEPULVEDA, Katherine Criado Ortiz. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD E IMPLEMENTACION DE UN CULTIVO ACUAPONICO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER Francisco de Paula Santander Ciencias Administrativas y economicas, 2012.

L, Luchini. "TILAPIA: SU CULTIVO Y SISTEMAS DE PRODUCCION". {En línea}. {} disponible en: (<https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/especies/archivos/000008->

[Tilapia/071201_Generalidades%20acerca%20del%20cultivo%20\(Parte%2001\).pdf](#)).

LENNTECH, B. Water treatment solution. (2014).

LOPEZ, Valdez. Producción de hortalizas. 1989.

LUIS F COLLAZOS, Jose A Arias. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. 2015

M., HOWARD RESH. Cultivos hidropónicos. Barcelona España2006.

MACIAS, JORGE NELSON LOPEZ. Nutricion y alimentacion acuicola. En: Universidad de Nariño. 2011. vol. 2

MEDINA. F. G, M Comparación del pre-engorde de alevines de tilapia del Nilo e híbrido rojo de tilapia en tres ambientes. En: Zamorano, Honduras.

MERINO, A. M. Guia practica de piscicultura en Colombia. (2015).

MEYER. D, E. . Introduccion a la acuicultura. 2004.

MINAMBIENTE. Resolucion 0631. 2015

MOISÉS DÍAZ BARBOZA, Roger Alva Calderón, Bilmia Veneros Urbina, Felix Dávila Gil, Luis A. Luján Bulnes, Willy Plasencia Angulo y Francisco Mendoza Álvarez. Cultivo semi-intensivo de tilapia, *Oreochromis niloticus*, en estanque de concreto en el caserío Palo Blanco (Casca, La Libertad-Perú). Universidad Nacional de Trujillo. Departamento de Pesquería. Facultad de Ciencias Biológicas, 2012.

MORALES, Julio Cesar, Gonzales Simon, Gonzales Oscar. Remocion biologica simultanea de fosforo y nitrogeno de agua residual. (2006).

MOYANO, Gil. Cultivos hidropónicos. Universidad Estatal Abierta y a Distancia. 1989.

MUÑOZ, Mario Esteban. Sistemas de recirculacion acuaponicos. Informador tecnico: (2012).

NICOVITA. Manual de Crianza de tilapia.

OCDE. "Pesca y acuicultura en Colombia". {En línea}. {} disponible en: (https://www.oecd.org/tad/fisheries/Fisheries_Colombia_SPA_rev.pdf).

PADILLA, Juana Arroyo. Acuaponia. 2012, p. 2-7

PARRA, Pablo. MANUAL HIDROPÓNICO. En: Una huerta en su casa. San Cristobal Bogota 1989.

PEÑA, Mayda Y. CASIERRA-POSADA, Fánor. MONSALVE, Oscar I. Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. En: Colombiana de ciencias hortícolas. 2013. vol. 2.

POPMA, T. J. y B. W. Green. . "Sex Rerversal of Tilapia in Eartherm Ponds International Center of Aquaculture". {En línea}. {04 febrero de 2018} disponible en: (<http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/technical/14tchhtml/2/2b/2b4/2b4.html>).

RAGASH. Municipalidad de ragash. Manual de crianza trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Peru: (2009).

RAMOS, Milagros Mercedes Pérez Muñoz Martha Isabel Sáenz. Crecimiento de las tilapias *Oreochromis niloticus* en cultivo Monosexual y Ambos sexos, en sistemas de producción semi - intensivos.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA. FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA, 2015.

RECALDE, P y ARAYA, J. . Diseño de tecnologías para la descontaminación de aguas residuales en sistemas agropecuarios. Guacimo, Costa Rica: Universidad Earth,. Ingeniero agrónomo, 2006.

REEDY, S. Is peat helping you. En: Growertalks. 2005

SAAVEDRA, Maria Auxiliadora. Manejo del cultivo de tilapia. En: Managua Nicaragua. 2006

SANCHEZ, Daisy, RUIZ, Darling. Evaluación en la remoción de compuestos nitrogenados de un sistema acuapónico vs un sistema acuícola convencional bajo condiciones de laboratorio Universidad de Nariño-Colombia. Pasto: (2016).

SJ, Kaushik. Factores que afectan la excreción nitrogenada en teleósteos y crustáceos. Avances en nutrición acuícola memorias del IV Simposium internacional de nutrición acuícola. Monterrey, México, 2000.

SONIA CAMPOS, José Armando. Hidroponía Y Acuaristica Del Caribe. . 2012
TAIZ L, Zeiger E. Nutrition mineral. En: Plant Physiology. Sinauer Associates. Sunderland MA USA 2006, p. 67 - 86.

TIMMONS, M, et al. Sistemas de recirculación para la acuicultura. 2002.

VARGAS LUIS, Cardenas Carmen, et al. EFECTO DE LAS MICROALGAS EN LA REMOCIÓN DE LOS COMPUESTOS NITROGENADOS PRESENTES EN LA LAGUNA FACULTATIVA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Maracaibo –Venezuela: Centro de Investigación del Agua, Ciudad Universitaria, Lagunas de Oxidación.).

WALSH PJ, Mommsen TP. Evolutionary considerations of nitrogen metabolism and excretion. Nitrogen Excretion. Academic Press. San Diego, EEUU: Remen M, Imsland AK, Stefansson SO, Jonassen TM, Foss A. Interactive effects of ammonia and oxygen on growth and physiological status of juvenile atlantic cod (*Gadus morhua*). Aquaculture., 2001.

ANEXOS

Anexo A. Peso promedio y desviación estándar de cada muestreo realizado durante el periodo de estudio.

| N° Animales | PESO (gramos) | | | | |
|-------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 103 | 267 | 278 | 167 | 244 |
| 2 | 100 | 184 | 208 | 152 | 230 |
| 3 | 169 | 199 | 228 | 267 | 169 |
| 4 | 143 | 170 | 141 | 223 | 200 |
| 5 | 132 | 198 | 246 | 146 | 296 |
| 6 | 130 | 158 | 198 | 231 | 267 |
| 7 | 151 | 265 | 162 | 168 | 311 |
| 8 | 129 | 147 | 180 | 310 | 164 |
| 9 | 90 | 175 | 186 | 307 | 231 |
| 10 | 170 | 226 | 145 | 205 | 198 |
| 11 | 130 | 194 | 178 | 151 | 214 |
| 12 | 94 | 137 | 148 | 195 | 158 |
| 13 | 170 | 162 | 146 | 241 | 223 |
| 14 | 130 | 119 | 205 | 245 | 194 |
| 15 | 94 | 129 | 288 | 216 | 221 |
| 16 | 179 | 138 | 188 | 180 | 194 |
| 17 | 149 | 132 | 210 | 229 | 162 |
| 18 | 102 | 194 | 200 | 162 | 221 |
| 19 | 190 | 137 | 129 | 171 | 253 |
| 20 | 191 | 117 | 158 | 233 | 184 |
| 21 | 93 | 125 | 144 | 220 | 182 |
| 22 | 148 | 177 | 216 | 160 | 183 |
| 23 | 111 | 115 | 155 | 255 | 249 |
| 24 | 163 | 221 | 135 | 191 | 149 |
| 25 | 101 | 112 | 240 | 175 | 201 |
| PROMEDIO | 134,48 | 167,92 | 188,48 | 208,00 | 211,92 |
| DESVIACION | 31,94 | 43,82 | 43,10 | 45,62 | 41,04 |

Anexo B. Talla promedio y desviación estándar de cada muestreo realizado durante el periodo de estudio.

| TALLA (centímetros) | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N° Animales | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 17,5 | 23 | 24 | 24 | 24 |
| 2 | 17 | 21 | 22 | 21 | 24,5 |
| 3 | 20 | 21 | 23 | 24 | 21 |
| 4 | 19 | 19,5 | 21 | 22 | 22 |
| 5 | 20 | 21 | 23 | 20 | 25 |
| 6 | 19 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 7 | 19,5 | 23 | 20 | 21 | 26 |
| 8 | 19,5 | 21 | 22 | 25 | 20 |
| 9 | 17 | 20,5 | 22 | 26 | 24 |
| 10 | 21 | 22 | 20 | 22 | 21,5 |
| 11 | 18,5 | 20,5 | 21 | 19 | 23 |
| 12 | 17,5 | 19 | 20 | 22,5 | 20,5 |
| 13 | 21 | 19,5 | 19 | 25 | 22,5 |
| 14 | 18,5 | 19 | 22 | 24,5 | 23 |
| 15 | 17,5 | 17,5 | 24 | 22 | 23,5 |
| 16 | 21 | 19 | 21 | 21,5 | 22 |
| 17 | 19,5 | 20 | 22 | 24 | 20,5 |
| 18 | 17,5 | 22 | 23 | 20,5 | 23 |
| 19 | 21 | 19 | 20 | 21 | 23,5 |
| 20 | 21 | 18 | 21 | 24 | 21 |
| 21 | 18 | 19 | 20 | 23,5 | 21,5 |
| 22 | 19 | 21 | 21,5 | 20,5 | 21 |
| 23 | 17 | 18,5 | 20 | 24 | 24 |
| 24 | 21 | 22 | 19 | 22,5 | 21 |
| 25 | 18 | 17,5 | 24 | 20,5 | 22 |
| PROMEDIO | 19,02 | 20,18 | 21,46 | 22,52 | 22,56 |
| DESVIACION | 1,42 | 1,55 | 1,47 | 1,79 | 1,55 |

Anexo C. Variaciones en el comportamiento de la temperatura durante el periodo de estudio.

| Días | Temperatura (°C) | Días | Temperatura (°C) |
|-------------------|------------------|------|------------------|
| 1 | 23,5 | 31 | 23 |
| 2 | 23,6 | 32 | 29,1 |
| 3 | 23 | 33 | 29,2 |
| 4 | 24 | 34 | 28,1 |
| 5 | 23,8 | 35 | 25,5 |
| 6 | 27,7 | 36 | 28,1 |
| 7 | 22,3 | 37 | 24,5 |
| 8 | 25,4 | 38 | 27,9 |
| 9 | 27,2 | 39 | 24,3 |
| 10 | 29,5 | 40 | 23,3 |
| 11 | 23,2 | 41 | 26,5 |
| 12 | 30,8 | 42 | 27,7 |
| 13 | 24,2 | 43 | 25,7 |
| 14 | 31,6 | 44 | 23,4 |
| 15 | 24,3 | 45 | 25,3 |
| 16 | 31,6 | 46 | 22,5 |
| 17 | 23,3 | 47 | 25,3 |
| 18 | 28,2 | 48 | 27,7 |
| 19 | 32,2 | 49 | 29,5 |
| 20 | 21,6 | 50 | 25,5 |
| 21 | 23,9 | 51 | 22,9 |
| 22 | 27,3 | 52 | 26,3 |
| 23 | 23,9 | 53 | 28,5 |
| 24 | 25 | 54 | 25,3 |
| 25 | 26,3 | 55 | 27,6 |
| 26 | 28,9 | 56 | 28,1 |
| 27 | 29,1 | 57 | 29,2 |
| 28 | 30,6 | 58 | 23,4 |
| 29 | 27,8 | 59 | 24,3 |
| 30 | 24 | 60 | 25,4 |
| Promedio | 26,26 | | |
| Desviación | 3,08 | | |

Anexo D. Variaciones en el comportamiento del oxígeno durante el periodo de estudio.

| Días | Oxígeno (mg/L) | Días | Oxígeno (mg/L) |
|-------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| 1 | 3,5 | 31 | 3,8 |
| 2 | 4,2 | 32 | 3,4 |
| 3 | 5,1 | 33 | 3,1 |
| 4 | 4,2 | 34 | 3 |
| 5 | 5 | 35 | 3,7 |
| 6 | 3,5 | 36 | 3,9 |
| 7 | 4,7 | 37 | 3,8 |
| 8 | 4 | 38 | 3,1 |
| 9 | 3,8 | 39 | 3,4 |
| 10 | 3,3 | 40 | 4,4 |
| 11 | 4,7 | 41 | 3,7 |
| 12 | 3 | 42 | 3,5 |
| 13 | 4,4 | 43 | 3,7 |
| 14 | 3 | 44 | 3,7 |
| 15 | 4,2 | 45 | 4,1 |
| 16 | 3 | 46 | 4,4 |
| 17 | 4,4 | 47 | 4,1 |
| 18 | 3,1 | 48 | 3 |
| 19 | 3,1 | 49 | 3 |
| 20 | 3 | 50 | 3,3 |
| 21 | 4,6 | 51 | 3 |
| 22 | 4 | 52 | 3,1 |
| 23 | 4,5 | 53 | 4 |
| 24 | 3,4 | 54 | 4,3 |
| 25 | 3,7 | 55 | 3,7 |
| 26 | 3,1 | 56 | 4,6 |
| 27 | 3,4 | 57 | 3 |
| 28 | 3,3 | 58 | 5 |
| 29 | 4 | 59 | 4,4 |
| 30 | 3,9 | 60 | 4,2 |
| Promedio | 3,78 | | |
| Desviación | 0,597 | | |

Anexo E. Datos de concentración de amonio en la entrada de la unidad experimental.

| ENTRADA | |
|----------------------|-------|
| AMONIO (mg/L) | |
| 1 | 0,313 |
| 2 | 0,103 |
| 3 | 0,160 |
| 4 | 0,198 |
| 5 | 0,141 |
| 6 | 0,236 |
| Promedio | 0,191 |

Anexo F. Datos promedio de concentración de amonio en la salida de cada tratamiento de la unidad experimental.

| TRATAMIENTO 0 | | | |
|----------------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Periodo | Replica | Amonio (mg/L) | Promedio |
| 1 | 1 | 0,160 | 0,198 |
| 1 | 2 | 0,275 | |
| 1 | 3 | 0,160 | |
| 2 | 1 | 0,026 | 0,039 |
| 2 | 2 | 0,064 | |
| 2 | 3 | 0,026 | |
| 3 | 1 | 0,217 | 0,198 |
| 3 | 2 | 0,198 | |
| 3 | 3 | 0,179 | |
| 4 | 1 | 0,064 | 0,083 |
| 4 | 2 | 0,103 | |
| 4 | 3 | 0,083 | |
| 5 | 1 | 0,064 | 0,058 |
| 5 | 2 | 0,026 | |
| 5 | 3 | 0,083 | |
| 6 | 1 | 0,026 | 0,052 |
| 6 | 2 | 0,064 | |
| 6 | 3 | 0,064 | |

TRATAMIENTO 1

| Periodo | Replica | Amonio (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|---------------|----------|
| 1 | 1 | 0,160 | 0,243 |
| 1 | 2 | 0,141 | |
| 1 | 3 | 0,429 | |
| 2 | 1 | 0,064 | 0,052 |
| 2 | 2 | 0,045 | |
| 2 | 3 | 0,045 | |
| 3 | 1 | 0,448 | 0,358 |
| 3 | 2 | 0,256 | |
| 3 | 3 | 0,371 | |
| 4 | 1 | 0,083 | 0,103 |
| 4 | 2 | 0,122 | |
| 4 | 3 | 0,103 | |
| 5 | 1 | 0,064 | 0,064 |
| 5 | 2 | 0,083 | |
| 5 | 3 | 0,045 | |
| 6 | 1 | 0,045 | 0,052 |
| 6 | 2 | 0,026 | |
| 6 | 3 | 0,083 | |

TRATAMIENTO 2

| Periodo | Replica | Amonio (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|---------------|----------|
| 1 | 1 | 0,141 | 0,436 |
| 1 | 2 | 0,739 | |
| 1 | 3 | 0,429 | |
| 2 | 1 | 0,064 | 0,045 |
| 2 | 2 | 0,045 | |
| 2 | 3 | 0,026 | |
| 3 | 1 | 0,083 | 0,198 |
| 3 | 2 | 0,198 | |
| 3 | 3 | 0,313 | |
| 4 | 1 | 0,141 | 0,109 |
| 4 | 2 | 0,083 | |
| 4 | 3 | 0,103 | |
| 5 | 1 | 0,103 | 0,071 |
| 5 | 2 | 0,045 | |
| 5 | 3 | 0,064 | |
| 6 | 1 | 0,045 | 0,052 |
| 6 | 2 | 0,045 | |
| 6 | 3 | 0,064 | |

TRATAMIENTO 3

| Periodo | Replica | Amonio (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|---------------|----------|
| 1 | 1 | 0,256 | 0,268 |
| 1 | 2 | 0,179 | |
| 1 | 3 | 0,371 | |
| 2 | 1 | 0,045 | 0,058 |
| 2 | 2 | 0,045 | |
| 2 | 3 | 0,083 | |
| 3 | 1 | 0,217 | 0,217 |
| 3 | 2 | 0,275 | |
| 3 | 3 | 0,160 | |
| 4 | 1 | 0,103 | 0,096 |
| 4 | 2 | 0,103 | |
| 4 | 3 | 0,083 | |
| 5 | 1 | 0,064 | 0,083 |
| 5 | 2 | 0,083 | |
| 5 | 3 | 0,103 | |
| 6 | 1 | 0,045 | 0,058 |
| 6 | 2 | 0,064 | |
| 6 | 3 | 0,064 | |

Anexo G. Datos de concentración de nitritos en la entrada de la unidad experimental.

| ENTRADA | |
|-----------------|-------|
| NITRITOS (mg/L) | |
| 1 | 0,755 |
| 2 | 0,236 |
| 3 | 0,067 |
| 4 | 0,017 |
| 5 | 0,048 |
| 6 | 0,017 |

Anexo H. Datos de la concentración de nitritos en la salida de cada tratamiento de la unidad experimental.

TRATAMIENTO 0

| Periodo | Replica | Nitritos (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|-----------------|----------|
| 1 | 1 | 0,710 | 0,691 |
| 1 | 2 | 0,668 | |
| 1 | 3 | 0,695 | |
| 2 | 1 | 0,221 | 0,218 |
| 2 | 2 | 0,224 | |
| 2 | 3 | 0,208 | |
| 3 | 1 | 0,054 | 0,039 |
| 3 | 2 | 0,029 | |
| 3 | 3 | 0,033 | |
| 4 | 1 | -0,002 | 0,002 |
| 4 | 2 | 0,002 | |
| 4 | 3 | 0,005 | |
| 5 | 1 | 0,002 | 0,000 |
| 5 | 2 | 0,000 | |
| 5 | 3 | -0,002 | |
| 6 | 1 | -0,002 | 0,002 |
| 6 | 2 | 0,005 | |
| 6 | 3 | 0,002 | |

TRATAMIENTO 1

| Periodo | Replica | Nitrito (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|----------------|----------|
| 1 | 1 | 0,683 | 0,666 |
| 1 | 2 | 0,665 | |
| 1 | 3 | 0,650 | |
| 2 | 1 | 0,215 | 0,171 |
| 2 | 2 | 0,208 | |
| 2 | 3 | 0,091 | |
| 3 | 1 | 0,060 | 0,036 |
| 3 | 2 | 0,026 | |
| 3 | 3 | 0,020 | |
| 4 | 1 | 0,005 | 0,004 |
| 4 | 2 | 0,005 | |
| 4 | 3 | 0,002 | |
| 5 | 1 | 0,002 | 0,004 |
| 5 | 2 | 0,005 | |

| | | | |
|---|---|--------|-------|
| 5 | 3 | 0,005 | |
| 6 | 1 | 0,005 | 0,006 |
| 6 | 2 | 0,014 | |
| 6 | 3 | -0,002 | |

TRATAMIENTO 2

| Periodo | Replica | Nitrito (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|----------------|----------|
| 1 | 1 | 0,656 | 0,643 |
| 1 | 2 | 0,633 | |
| 1 | 3 | 0,639 | |
| 2 | 1 | 0,233 | 0,219 |
| 2 | 2 | 0,218 | |
| 2 | 3 | 0,205 | |
| 3 | 1 | 0,026 | 0,028 |
| 3 | 2 | 0,033 | |
| 3 | 3 | 0,026 | |
| 4 | 1 | 0,008 | 0,005 |
| 4 | 2 | 0,005 | |
| 4 | 3 | 0,002 | |
| 5 | 1 | 0,008 | 0,006 |
| 5 | 2 | 0,011 | |
| 5 | 3 | -0,002 | |
| 6 | 1 | 0,002 | 0,007 |
| 6 | 2 | 0,002 | |
| 6 | 3 | 0,017 | |

TRATAMIENTO 3

| Periodo | Replica | Nitrito (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|----------------|----------|
| 1 | 1 | 0,68327479 | 0,652 |
| 1 | 2 | 0,62357332 | |
| 1 | 3 | 0,65046735 | |
| 2 | 1 | 0,21152286 | 0,214 |
| 2 | 2 | 0,21459133 | |
| 2 | 3 | 0,21459133 | |
| 3 | 1 | 0,0232620 | 0,026 |
| 3 | 2 | 0,0325706 | |
| 3 | 3 | 0,0232620 | |
| 4 | 1 | 0,00773624 | 0,004 |
| 4 | 2 | -0,00158611 | |
| 4 | 3 | 0,00462937 | |

| | | | |
|---|---|------------|-------|
| 5 | 1 | 0,02636548 | 0,014 |
| 5 | 2 | 0,00152192 | |
| 5 | 3 | 0,01394828 | |
| 6 | 1 | 0,0077362 | 0,005 |
| 6 | 2 | 0,0077362 | |
| 6 | 3 | -0,0015861 | |

Anexo I. Datos de concentración de nitratos en la entrada de la unidad experimental.

Entrada

| Periodo | Nitratos (mg/L) |
|-----------------|-----------------|
| 1 | 35,00 |
| 2 | 40,70 |
| 3 | 5,20 |
| 4 | 17,70 |
| 5 | 6,10 |
| 6 | 5,20 |
| Promedio | 18,32 |

Anexo J. Datos de la concentración de nitratos en la salida de cada tratamiento de la unidad experimental.

TRATAMIENTO 0

| Periodo | Replica | Nitrato (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|----------------|----------|
| 1 | 1 | 21,7 | 26,433 |
| 1 | 2 | 33 | |
| 1 | 3 | 24,6 | |
| 2 | 1 | 29 | 34,700 |
| 2 | 2 | 34,8 | |
| 2 | 3 | 40,3 | |
| 3 | 1 | 6,5 | 5,800 |
| 3 | 2 | 6,2 | |
| 3 | 3 | 4,7 | |
| 4 | 1 | 8,5 | 8,900 |
| 4 | 2 | 8,6 | |
| 4 | 3 | 9,6 | |
| 5 | 1 | 9,7 | 6,567 |
| 5 | 2 | 5 | |
| 5 | 3 | 5 | |

| | | | |
|---|---|-----|-------|
| 6 | 1 | 4,6 | 4,433 |
| 6 | 2 | 4,2 | |
| 6 | 3 | 4,5 | |

TRATAMIENTO 1

| Periodo | Replica | Nitrito (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|----------------|----------|
| 1 | 1 | 16,1 | 18,467 |
| 1 | 2 | 18,9 | |
| 1 | 3 | 20,4 | |
| 2 | 1 | 33,9 | 33,767 |
| 2 | 2 | 27,8 | |
| 2 | 3 | 39,6 | |
| 3 | 1 | 5,1 | 4,733 |
| 3 | 2 | 4,3 | |
| 3 | 3 | 4,8 | |
| 4 | 1 | 7,8 | 9,100 |
| 4 | 2 | 10,4 | |
| 4 | 3 | 9,1 | |
| 5 | 1 | 6 | 7,300 |
| 5 | 2 | 10,1 | |
| 5 | 3 | 5,8 | |
| 6 | 1 | 4,3 | 4,600 |
| 6 | 2 | 5 | |
| 6 | 3 | 4,5 | |

TRATAMIENTO 2

| Periodo | Replica | Nitrito (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|----------------|----------|
| 1 | 1 | 25,1 | 24,533 |
| 1 | 2 | 24,3 | |
| 1 | 3 | 24,2 | |
| 2 | 1 | 29,1 | 32,767 |
| 2 | 2 | 34,3 | |
| 2 | 3 | 34,9 | |
| 3 | 1 | 5,2 | 4,500 |
| 3 | 2 | 5 | |
| 3 | 3 | 3,3 | |
| 4 | 1 | 9,9 | 9,600 |
| 4 | 2 | 6,9 | |
| 4 | 3 | 12 | |
| 5 | 1 | 9,8 | 8,000 |

| | | | |
|---|---|-----|-------|
| 5 | 2 | 7,8 | 3,700 |
| 5 | 3 | 6,4 | |
| 6 | 1 | 3,6 | |
| 6 | 2 | 4 | |
| 6 | 3 | 3,5 | |

TRATAMIENTO 3

| Periodo | Replica | Nitrito (mg/L) | Promedio |
|---------|---------|----------------|----------|
| 1 | 1 | 16,9 | 16,167 |
| 1 | 2 | 19,8 | |
| 1 | 3 | 11,8 | |
| 2 | 1 | 32,5 | 36,833 |
| 2 | 2 | 40,1 | |
| 2 | 3 | 37,9 | |
| 3 | 1 | 3,9 | 4,200 |
| 3 | 2 | 5 | |
| 3 | 3 | 3,7 | |
| 4 | 1 | 9,6 | 8,500 |
| 4 | 2 | 7,2 | |
| 4 | 3 | 8,7 | |
| 5 | 1 | 6,6 | 6,000 |
| 5 | 2 | 6,4 | |
| 5 | 3 | 5 | |
| 6 | 1 | 5,2 | 4,600 |
| 6 | 2 | 4,3 | |
| 6 | 3 | 4,3 | |

Anexo K. Concentración y porcentaje de la remoción de amonio en la unidad experimental

TRATAMIENTO 0

| Periodo | Replica | Remoción amonio (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 0,15329952 | 0,115 | 37% |
| 1 | 2 | 0,03839494 | | |
| 1 | 3 | 0,15329952 | | |
| 2 | 1 | 0,07622941 | 0,064 | 62% |
| 2 | 2 | 0,03813806 | | |
| 2 | 3 | 0,07622941 | | |

| | | | | |
|---|---|-------------|--------|------|
| 3 | 1 | -0,05739975 | -0,038 | -24% |
| 3 | 2 | -0,03825482 | | |
| 3 | 3 | -0,01912157 | | |
| 4 | 1 | 0,13368754 | 0,115 | 58% |
| 4 | 2 | 0,09554948 | | |
| 4 | 3 | 0,11462435 | | |
| 5 | 1 | 0,07632282 | 0,083 | 59% |
| 5 | 2 | 0,11441418 | | |
| 5 | 3 | 0,05725963 | | |
| 6 | 1 | 0,21008042 | 0,185 | 78% |
| 6 | 2 | 0,17198907 | | |
| 6 | 3 | 0,17198907 | | |

TRATAMIENTO 1

| Periodo | Replica | Remoción amonio (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 0,15329952 | 0,070 | 22% |
| 1 | 2 | 0,17240942 | | |
| 1 | 3 | -0,11546505 | | |
| 2 | 1 | 0,03813806 | 0,051 | 50% |
| 2 | 2 | 0,05718957 | | |
| 2 | 3 | 0,05718957 | | |
| 3 | 1 | | -0,096 | -20% |
| 3 | 2 | -0,09572463 | | |
| 3 | 3 | | | |
| 4 | 1 | 0,11462435 | 0,096 | 48% |
| 4 | 2 | 0,07646294 | | |
| 4 | 3 | 0,09554948 | | |
| 5 | 1 | 0,07632282 | 0,076 | 54% |
| 5 | 2 | 0,05725963 | | |
| 5 | 3 | 0,09537434 | | |
| 6 | 1 | 0,19104058 | 0,185 | 78% |
| 6 | 2 | 0,21008042 | | |
| 6 | 3 | 0,15292588 | | |

TRATAMIENTO 2

| Periodo | Replica | Remoción amonio (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 0,17240942 | 0,028 | 6% |
| 1 | 2 | | | |

| | | | | |
|---|---|-------------|-------|-----|
| 1 | 3 | -0,11546505 | | |
| 2 | 1 | 0,03813806 | | |
| 2 | 2 | 0,05718957 | 0,057 | 56% |
| 2 | 3 | 0,07622941 | | |
| 3 | 1 | 0,07636953 | | |
| 3 | 2 | -0,03825482 | 0,019 | 8% |
| 3 | 3 | | | |
| 4 | 1 | 0,05736472 | | |
| 4 | 2 | 0,11462435 | 0,089 | 45% |
| 4 | 3 | 0,09554948 | | |
| 5 | 1 | 0,03818476 | | |
| 5 | 2 | 0,09537434 | 0,070 | 50% |
| 5 | 3 | 0,07632282 | | |
| 6 | 1 | 0,19104058 | | |
| 6 | 2 | 0,19104058 | 0,185 | 78% |
| 6 | 3 | 0,17198907 | | |

TRATAMIENTO 3

| Periodo | Replica | Remoción amonio (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 0,05757489 | | |
| 1 | 2 | 0,13417795 | 0,045 | 14% |
| 1 | 3 | -0,05767998 | | |
| 2 | 1 | 0,05718957 | | |
| 2 | 2 | 0,05718957 | 0,044 | 43% |
| 2 | 3 | 0,01907487 | | |
| 3 | 1 | -0,05739975 | | |
| 3 | 2 | -0,11490458 | -0,057 | -36% |
| 3 | 3 | 0 | | |
| 4 | 1 | 0,09554948 | | |
| 4 | 2 | 0,09554948 | 0,102 | 51% |
| 4 | 3 | 0,11462435 | | |
| 5 | 1 | 0,07632282 | | |
| 5 | 2 | 0,05725963 | 0,057 | 41% |
| 5 | 3 | 0,03818476 | | |
| 6 | 1 | 0,19104058 | | |
| 6 | 2 | 0,17198907 | 0,178 | 75% |
| 6 | 3 | 0,17198907 | | |

Anexo L. Concentración y porcentaje de la remoción de nitritos en la unidad experimental

TRATAMIENTO 0

| Periodo | Replica | Remoción Nitrito (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 0,04454825 | 0,063 | 5% |
| 1 | 2 | 0,08624298 | | |
| 1 | 3 | 0,05942633 | | |
| 2 | 1 | 0,01532804 | 0,018 | 8% |
| 2 | 2 | 0,01226128 | | |
| 2 | 3 | 0,02760079 | | |
| 3 | 1 | 0,01238739 | 0,028 | 42% |
| 3 | 2 | 0,03718968 | | |
| 3 | 3 | 0,03408739 | | |
| 4 | 1 | 0,01863955 | 0,016 | 91% |
| 4 | 2 | 0,01553153 | | |
| 4 | 3 | 0,01242407 | | |
| 5 | 1 | 0,04655159 | 0,048 | 33% |
| 5 | 2 | 0,0480735 | | |
| 5 | 3 | 0,04965961 | | |
| 6 | 1 | 0,01863955 | 0,016 | 91% |
| 6 | 2 | 0,01242407 | | |
| 6 | 3 | 0,01553153 | | |

TRATAMIENTO 1

| Periodo | Replica | Remoción Nitrito (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 0,07133911 | 0,088 | 3% |
| 1 | 2 | 0,08922547 | | |
| 1 | 3 | 0,10414654 | | |
| 2 | 1 | 0,02146327 | 0,065 | 7% |
| 2 | 2 | 0,02760079 | | |
| 2 | 3 | 0,14464932 | | |
| 3 | 1 | 0,00619255 | 0,031 | 46% |
| 3 | 2 | 0,04029255 | | |
| 3 | 3 | 0,0465 | | |
| 4 | 1 | 0,01242407 | 0,013 | 79% |
| 4 | 2 | 0,01242407 | | |

| | | | | |
|---|---|------------|-------|-----|
| 4 | 3 | 0,01553153 | | |
| 5 | 1 | 0,04655159 | 0,044 | 93% |
| 5 | 2 | 0,04344413 | | |
| 5 | 3 | 0,04344413 | | |
| 6 | 1 | 0,01242407 | 0,011 | 67% |
| 6 | 2 | 0,00310516 | | |
| 6 | 3 | 0,01863955 | | |

TRATAMIENTO 2

| Periodo | Replica | Remoción Nitrito (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 0,09817639 | 0,112 | 0% |
| 1 | 2 | 0,12207074 | | |
| 1 | 3 | 0,11609371 | | |
| 2 | 1 | 0,00306446 | 0,017 | 7% |
| 2 | 2 | 0,01839537 | | |
| 2 | 3 | 0,03067041 | | |
| 3 | 1 | 0,04029255 | 0,038 | 57% |
| 3 | 2 | 0,03408739 | | |
| 3 | 3 | 0,04029255 | | |
| 4 | 1 | 0,0093172 | 0,012 | 73% |
| 4 | 2 | 0,01242407 | | |
| 4 | 3 | 0,01553153 | | |
| 5 | 1 | 0,04033726 | 0,042 | 88% |
| 5 | 2 | 0,03723095 | | |
| 5 | 3 | 0,04965961 | | |
| 6 | 1 | 0,01553153 | 0,010 | 61% |
| 6 | 2 | 0,01553153 | | |
| 6 | 3 | 0 | | |

TRATAMIENTO 3

| Periodo | Replica | Remoción Nitrito (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 0,07133911 | 0,102 | 3% |
| 1 | 2 | 0,13104057 | | |
| 1 | 3 | 0,10414654 | | |
| 2 | 1 | 0,02453174 | 0,022 | 10% |
| 2 | 2 | 0,02146327 | | |
| 2 | 3 | 0,02146327 | | |
| 3 | 1 | 0,04339598 | 0,040 | 60% |
| 3 | 2 | 0,03408739 | | |

| | | | | |
|---|---|------------|-------|-----|
| 3 | 3 | 0,04339598 | | |
| 4 | 1 | 0,0093172 | 0,013 | 78% |
| 4 | 2 | 0,01863955 | | |
| 4 | 3 | 0,01242407 | | |
| 5 | 1 | 0,02170802 | 0,034 | 71% |
| 5 | 2 | 0,04655159 | | |
| 5 | 3 | 0,03412522 | | |
| 6 | 1 | 0,0093172 | 0,012 | 73% |
| 6 | 2 | 0,0093172 | | |
| 6 | 3 | 0,01863955 | | |

Anexo M. Concentración y porcentaje de la remoción de nitrito en la unidad experimental

TRATAMIENTO 0

| Periodo | Replica | Remoción Nitrito (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 13,3 | 8,567 | 24% |
| 1 | 2 | 2 | | |
| 1 | 3 | 10,4 | | |
| 2 | 1 | 11,7 | 6,000 | 15% |
| 2 | 2 | 5,9 | | |
| 2 | 3 | 0,4 | | |
| 3 | 1 | -1,3 | -0,600 | -12% |
| 3 | 2 | -1 | | |
| 3 | 3 | 0,5 | | |
| 4 | 1 | 9,2 | 8,800 | 50% |
| 4 | 2 | 9,1 | | |
| 4 | 3 | 8,1 | | |
| 5 | 1 | -3,6 | -0,467 | -8% |
| 5 | 2 | 1,1 | | |
| 5 | 3 | 1,1 | | |
| 6 | 1 | 0,6 | 0,767 | 15% |
| 6 | 2 | 1 | | |
| 6 | 3 | 0,7 | | |

TRATAMIENTO 1

| Periodo | Replica | Remoción Nitrito (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 18,9 | 16,533 | 47% |

| | | | | |
|---|---|------|--------|------|
| 1 | 2 | 16,1 | | |
| 1 | 3 | 14,6 | | |
| 2 | 1 | 6,8 | | |
| 2 | 2 | 12,9 | 6,933 | 17% |
| 2 | 3 | 1,1 | | |
| 3 | 1 | 0,1 | | |
| 3 | 2 | 0,9 | 0,467 | 9% |
| 3 | 3 | 0,4 | | |
| 4 | 1 | 9,9 | | |
| 4 | 2 | 7,3 | 8,600 | 49% |
| 4 | 3 | 8,6 | | |
| 5 | 1 | 0,1 | | |
| 5 | 2 | -4 | -1,200 | -20% |
| 5 | 3 | 0,3 | | |
| 6 | 1 | 0,9 | | |
| 6 | 2 | 0,2 | 0,600 | 12% |
| 6 | 3 | 0,7 | | |

TRATAMIENTO 2

| Periodo | Replica | Remoción Nitrato (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 9,9 | | |
| 1 | 2 | 10,7 | 10,467 | 30% |
| 1 | 3 | 10,8 | | |
| 2 | 1 | 11,6 | | |
| 2 | 2 | 6,4 | 7,933 | 19% |
| 2 | 3 | 5,8 | | |
| 3 | 1 | 0 | | |
| 3 | 2 | 0,2 | 0,700 | 13% |
| 3 | 3 | 1,9 | | |
| 4 | 1 | 7,8 | | |
| 4 | 2 | 10,8 | 8,100 | 46% |
| 4 | 3 | 5,7 | | |
| 5 | 1 | 0 | | |
| 5 | 2 | 0 | -1,900 | -31% |
| 5 | 3 | 0 | | |
| 6 | 1 | 1,6 | | |
| 6 | 2 | 1,2 | 1,500 | 29% |
| 6 | 3 | 1,7 | | |

TRATAMIENTO 3

| Periodo | Replica | Remoción Nitrito (mg/L) | Promedio | % Remoción |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|
| 1 | 1 | 18,1 | 18,833 | 54% |
| 1 | 2 | 15,2 | | |
| 1 | 3 | 23,2 | | |
| 2 | 1 | 8,2 | 3,867 | 10% |
| 2 | 2 | 0,6 | | |
| 2 | 3 | 2,8 | | |
| 3 | 1 | 1,3 | 1,000 | 19% |
| 3 | 2 | 0,2 | | |
| 3 | 3 | 1,5 | | |
| 4 | 1 | 8,1 | 9,200 | 52% |
| 4 | 2 | 10,5 | | |
| 4 | 3 | 9 | | |
| 5 | 1 | -0,5 | 0,100 | 2% |
| 5 | 2 | -0,3 | | |
| 5 | 3 | 1,1 | | |
| 6 | 1 | 0 | 0,600 | 12% |
| 6 | 2 | 0,9 | | |
| 6 | 3 | 0,9 | | |

Anexo N. Datos de caudales y promedios de entrada en cada uno de los tratamientos en la unidad experimental

| MUESTREO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Turba | 1 | 0,02247522 | 0,02278338 | 0,01826112 | 0,01928272 | 0,02643393 | 0,02681703 | 0,02681703 | 0,02007443 | 0,02247522 | 0,02658387 |
| Grava | 2 | 0,02275954 | 0,02518797 | 0,01945987 | 0,02199237 | 0,02480534 | 0,02109733 | 0,02109733 | 0,02201675 | 0,02275954 | 0,02569458 |
| Grava | 3 | 0,01657732 | 0,02030303 | 0,02550568 | 0,02305284 | 0,02059214 | 0,02706765 | 0,02706765 | 0,020368 | 0,01657732 | 0,01802863 |
| Blanco | 4 | 0,01997197 | 0,02770677 | 0,0229678 | 0,0190758 | 0,01997197 | 0,02125223 | 0,01971592 | 0,02534904 | 0,01997197 | 0,01916753 |
| Turba | 5 | 0,02544304 | 0,01653797 | 0,02701338 | 0,02607911 | 0,02564038 | 0,02409423 | 0,02409423 | 0,02788065 | 0,02544304 | 0,02113742 |
| Cascarilla | 6 | 0,02852903 | 0,02852903 | 0,01861111 | 0,02139677 | 0,02165613 | 0,02230452 | 0,02230452 | 0,02852903 | 0,02852903 | 0,02022968 |
| Grava | 7 | 0,02563776 | 0,02377558 | 0,01854008 | 0,02341625 | 0,02569458 | 0,0265806 | 0,02607431 | 0,02563776 | 0,02563776 | 0,02563776 |
| Blanco | 8 | 0,02852903 | 0,02373097 | 0,02200448 | 0,02682519 | 0,02367669 | 0,01977256 | 0,0192688 | 0,02355469 | 0,02852903 | 0,02493514 |
| Cascarilla | 9 | 0,02253023 | 0,02070603 | 0,02379597 | 0,02702841 | 0,01905815 | 0,01969343 | 0,02731669 | 0,01880405 | 0,02253023 | 0,023378 |
| Turba | 10 | 0,02040805 | 0,01836815 | 0,02618662 | 0,02518797 | 0,0192688 | 0,02606955 | 0,0180094 | 0,02313299 | 0,02040805 | 0,02441816 |
| Cascarilla | 11 | 0,02313299 | 0,02662252 | 0,02738593 | 0,02684241 | 0,02658797 | 0,0226443 | 0,02531582 | 0,02802281 | 0,02313299 | 0,02775959 |
| Blanco | 12 | 0,02531486 | 0,02313299 | 0,02561004 | 0,01815484 | 0,0269729 | 0,02165613 | 0,02269355 | 0,01949244 | 0,02531486 | 0,02290995 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| | 0,02247522 | 0,02324142 | 0,02630623 | 0,02439072 | 0,02451842 | 0,02481015 | 0,02797292 | 0,0180977 | 0,02233333 | 0,02117816 | |
| | 0,02308258 | 0,01915502 | 0,02736194 | 0,0274324 | 0,01794643 | 0,01935651 | 0,02197634 | 0,01863491 | 0,02814514 | 0,02746662 | |
| | 0,01556864 | 0,02632746 | 0,02328967 | 0,02063161 | 0,02645403 | 0,02379597 | 0,02683375 | 0,02582116 | 0,0182267 | 0,02474043 | |
| | 0,02002299 | 0,02745619 | 0,02421843 | 0,01963793 | 0,02336015 | 0,02541379 | 0,02334194 | 0,02474043 | 0,02717602 | 0,02165613 | |
| | 0,02570332 | 0,02056266 | 0,01992008 | 0,02583184 | 0,02081969 | 0,02056266 | 0,02287596 | 0,02775959 | 0,02364706 | 0,01850639 | |
| | 0,02784635 | 0,02670718 | 0,02404912 | 0,02784635 | 0,0265806 | 0,02253023 | 0,02202393 | 0,0177204 | 0,02392254 | 0,02278338 | |
| | 0,02563776 | 0,01910013 | 0,0274324 | 0,01999745 | 0,02679145 | 0,01922832 | 0,02645419 | 0,02839935 | 0,02788065 | 0,02347161 | |
| | 0,02852903 | 0,01784698 | 0,01898615 | 0,01810013 | 0,01797355 | 0,02683375 | 0,02430227 | 0,02308258 | 0,02256122 | 0,02230485 | |
| | 0,02253023 | 0,02615051 | 0,01794643 | 0,0216639 | 0,02030695 | 0,02250579 | 0,01914286 | 0,02454668 | 0,01997032 | 0,02424968 | |
| | 0,02040805 | 0,02801032 | 0,02256387 | 0,02619484 | 0,02308258 | 0,02669531 | 0,02253023 | 0,02797292 | 0,0231631 | 0,0252871 | |
| | 0,02313299 | 0,0275932 | 0,02594773 | 0,02788811 | 0,02441816 | 0,02223338 | 0,02004859 | 0,02274744 | 0,01837788 | 0,02480371 | |
| | 0,02531486 | 0,01822605 | 0,0232318 | 0,01999874 | 0,02303652 | 0,02784635 | 0,02544144 | 0,01835327 | 0,02227708 | 0,02442884 | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| BLANCO | 0,02460529 | 0,02485691 | 0,02352744 | 0,02135194 | 0,02354052 | 0,02089364 | 0,02055942 | 0,02279873 | 0,02460529 | 0,02233754 | |
| TURBA | 0,02277544 | 0,01922983 | 0,02382037 | 0,0235166 | 0,02378104 | 0,02566027 | 0,02297355 | 0,02369602 | 0,02277544 | 0,02404648 | |
| CASCARILLA | 0,02473075 | 0,02528586 | 0,02326434 | 0,0250892 | 0,02243409 | 0,02154742 | 0,02497901 | 0,02511863 | 0,02473075 | 0,02378909 | |
| GRAVA | 0,02165821 | 0,02308886 | 0,02116854 | 0,02282048 | 0,02369736 | 0,0249152 | 0,02474643 | 0,02267417 | 0,02165821 | 0,02312032 | |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| | 0,02462229 | 0,02117641 | 0,02214546 | 0,0192456 | 0,02145674 | 0,02669796 | 0,02436188 | 0,02205876 | 0,02400477 | 0,02279661 | |
| | 0,0228622 | 0,02393814 | 0,02293006 | 0,02547247 | 0,0228069 | 0,02402271 | 0,0244597 | 0,02461007 | 0,02304783 | 0,02165722 | |
| | 0,02450319 | 0,02681696 | 0,02264776 | 0,02579945 | 0,02376857 | 0,02242313 | 0,02040513 | 0,02167151 | 0,02075691 | 0,02394559 | |

| | | | | | | | | | |
|------------|------------|----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 0,02142966 | 0,02152753 | 0,026028 | 0,02268715 | 0,02373064 | 0,0207936 | 0,0250881 | 0,02428514 | 0,02475083 | 0,02522622 |
|------------|------------|----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|

Anexo O. Datos de caudales y promedios de la salida en cada uno de los tratamientos en la unidad experimental

| MUESTREO | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Turba | 1 | 0,02236341 | 0,02267003 | 0,01817027 | 0,01918679 | 0,02630241 | 0,02668361 | 0,02668361 | 0,01997455 | 0,02236341 | 0,02645161 |
| Grava | 2 | 0,02264631 | 0,02506266 | 0,01936306 | 0,02188295 | 0,02468193 | 0,02099237 | 0,02099237 | 0,02190722 | 0,02264631 | 0,02556675 |
| Grava | 3 | 0,01649485 | 0,02020202 | 0,02537879 | 0,02293814 | 0,02048969 | 0,02693299 | 0,02693299 | 0,02026667 | 0,01649485 | 0,01793893 |
| Blanco | 4 | 0,01987261 | 0,02756892 | 0,02285354 | 0,01898089 | 0,01987261 | 0,0211465 | 0,01961783 | 0,02522293 | 0,01987261 | 0,01907216 |
| Turba | 5 | 0,02531646 | 0,0164557 | 0,02687898 | 0,02594937 | 0,02551282 | 0,02397436 | 0,02397436 | 0,02774194 | 0,02531646 | 0,02103226 |
| Cascarilla | 6 | 0,0283871 | 0,0283871 | 0,01851852 | 0,02129032 | 0,02154839 | 0,02219355 | 0,02219355 | 0,0283871 | 0,0283871 | 0,02012903 |
| Grava | 7 | 0,0255102 | 0,02365729 | 0,01844784 | 0,02329975 | 0,02556675 | 0,02644836 | 0,02594458 | 0,0255102 | 0,0255102 | 0,0255102 |
| Blanco | 8 | 0,0283871 | 0,0236129 | 0,02189501 | 0,02669173 | 0,0235589 | 0,01967419 | 0,01917293 | 0,0234375 | 0,0283871 | 0,02481108 |
| Cascarilla | 9 | 0,02241814 | 0,02060302 | 0,02367758 | 0,02689394 | 0,01896334 | 0,01959545 | 0,02718078 | 0,01871049 | 0,02241814 | 0,02326169 |
| Turba | 10 | 0,02030651 | 0,01827676 | 0,02605634 | 0,02506266 | 0,01917293 | 0,02593985 | 0,0179198 | 0,0230179 | 0,02030651 | 0,02429668 |
| Cascarilla | 11 | 0,0230179 | 0,02649007 | 0,02724968 | 0,02670886 | 0,0264557 | 0,02253165 | 0,02518987 | 0,0278834 | 0,0230179 | 0,02762148 |
| Blanco | 12 | 0,02518892 | 0,0230179 | 0,02548263 | 0,01806452 | 0,02683871 | 0,02154839 | 0,02258065 | 0,01939547 | 0,02518892 | 0,02279597 |

| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----|
| 0,02236341 | 0,02312579 | 0,02617535 | 0,02426938 | 0,02439644 | 0,02468672 | 0,02783375 | 0,01800766 | 0,02222222 | 0,0210728 | |
| 0,02296774 | 0,01905972 | 0,02722581 | 0,02729592 | 0,01785714 | 0,0192602 | 0,02186701 | 0,0185422 | 0,02800512 | 0,02732997 | |
| 0,01549118 | 0,02619647 | 0,0231738 | 0,02052897 | 0,02632242 | 0,02367758 | 0,02670025 | 0,0256927 | 0,01813602 | 0,02461735 | |
| 0,01992337 | 0,02731959 | 0,02409794 | 0,01954023 | 0,02324393 | 0,02528736 | 0,02322581 | 0,02461735 | 0,02704082 | 0,02154839 | |
| 0,02557545 | 0,02046036 | 0,01982097 | 0,02570332 | 0,02071611 | 0,02046036 | 0,02276215 | 0,02762148 | 0,02352941 | 0,01841432 | |
| 0,02770781 | 0,02657431 | 0,02392947 | 0,02770781 | 0,02644836 | 0,02241814 | 0,02191436 | 0,01763224 | 0,02380353 | 0,02267003 | |
| 0,0255102 | 0,0190051 | 0,02729592 | 0,01989796 | 0,02665816 | 0,01913265 | 0,02632258 | 0,02825806 | 0,02774194 | 0,02335484 | |
| 0,0283871 | 0,01775819 | 0,01889169 | 0,01801008 | 0,01788413 | 0,02670025 | 0,02418136 | 0,02296774 | 0,02244898 | 0,02219388 | |
| 0,02241814 | 0,02602041 | 0,01785714 | 0,02155612 | 0,02020592 | 0,02239382 | 0,01904762 | 0,02442455 | 0,01987097 | 0,02412903 | |
| 0,02030651 | 0,02787097 | 0,02245161 | 0,02606452 | 0,02296774 | 0,0265625 | 0,02241814 | 0,02783375 | 0,02304786 | 0,02516129 | |
| 0,0230179 | 0,02745592 | 0,02581864 | 0,02774936 | 0,02429668 | 0,02212276 | 0,01994885 | 0,02263427 | 0,01828645 | 0,02468031 | |
| 0,02518892 | 0,01813538 | 0,02311622 | 0,01989924 | 0,02292191 | 0,02770781 | 0,02531486 | 0,01826196 | 0,02216625 | 0,0243073 | |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| BLANCO | 0,02448288 | 0,02473324 | 0,02341039 | 0,02124571 | 0,02342341 | 0,02078969 | 0,02045714 | 0,0226853 | 0,02448288 | 0,02222641 |
| TURBA | 0,02266212 | 0,01913416 | 0,02370186 | 0,0233996 | 0,02366272 | 0,02553261 | 0,02285926 | 0,02357813 | 0,02266212 | 0,02392685 |
| CASCARILLA | 0,02460771 | 0,02516006 | 0,02314859 | 0,02496437 | 0,02232247 | 0,02144021 | 0,02485474 | 0,02499366 | 0,02460771 | 0,02367074 |
| GRAVA | 0,02155045 | 0,02297399 | 0,02106323 | 0,02270695 | 0,02357946 | 0,02479124 | 0,02462331 | 0,02256136 | 0,02155045 | 0,0230053 |

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

| | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0,0244998 | 0,02107105 | 0,02203528 | 0,01914985 | 0,02134999 | 0,02656514 | 0,02424068 | 0,02194902 | 0,02388535 | 0,02268319 |
| 0,02274846 | 0,02381904 | 0,02281598 | 0,02534574 | 0,02269343 | 0,02390319 | 0,02433801 | 0,02448763 | 0,02293316 | 0,02154947 |
| 0,02438128 | 0,02668354 | 0,02253508 | 0,0256711 | 0,02365032 | 0,02231157 | 0,02030361 | 0,02156369 | 0,02065365 | 0,02382645 |
| 0,02132304 | 0,02142043 | 0,02589851 | 0,02257428 | 0,02361257 | 0,02069015 | 0,02496328 | 0,02416432 | 0,02462769 | 0,02510072 |

Anexo P. Tabla ANOVA Análisis estadístico de comparación múltiple de varianza para caudales de entrada y salida

Pruebas de Normalidad

| Prueba | Estadístico | Valor-P |
|------------------------|-------------|----------|
| Valor-Z para asimetría | 0,91464 | 0,360379 |

Resumen Estadístico para Caudales

| TRATAMIENTO | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Mínimo |
|-------------|----------|-------------|---------------------|---------------------------|----------|
| 0 | 60 | 0,000113817 | 0,0000156058 | 13,7114% | 0,000089 |
| 1 | 60 | 0,00011645 | 0,000015136 | 12,9979% | 0,000082 |
| 2 | 60 | 0,000117817 | 0,0000157582 | 13,3752% | 0,000088 |
| 3 | 60 | 0,000115683 | 0,0000173991 | 15,0403% | 0,000077 |
| Total | 240 | 0,000115942 | 0,0000159627 | 13,7679% | 0,000077 |

Tabla ANOVA para caudales por TRATAMIENTO

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|-----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 5,01383E-10 | 3 | 1,67128E-10 | 0,65 | 0,5818 |
| Intra grupos | 6,03978E-8 | 236 | 2,55923E-10 | | |
| Total (Corr.) | 6,08992E-8 | 239 | | | |

Resumen Estadístico para caudales

| TRATAMIENTO | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Mínimo |
|-------------|----------|-------------|---------------------|---------------------------|----------|
| 0 | 60 | 0,000113817 | 0,0000156058 | 13,7114% | 0,000089 |
| 1 | 60 | 0,00011645 | 0,000015136 | 12,9979% | 0,000082 |
| 2 | 60 | 0,000117817 | 0,0000157582 | 13,3752% | 0,000088 |
| 3 | 60 | 0,000115683 | 0,0000173991 | 15,0403% | 0,000077 |
| Total | 240 | 0,000115942 | 0,0000159627 | 13,7679% | 0,000077 |

Pruebas de Múltiple Rangos para caudales por TRATAMIENTO

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

| TRATAMIENTO | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|-------------|-------------------|
| 0 | 60 | 0,000113817 | X |
| 3 | 60 | 0,000115683 | X |
| 1 | 60 | 0,00011645 | X |
| 2 | 60 | 0,000117817 | X |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|----------------|---------------|
| 0 - 1 | | -0,00000263333 | 0,00000755704 |
| 0 - 2 | | -0,000004 | 0,00000755704 |
| 0 - 3 | | -0,00000186667 | 0,00000755704 |
| 1 - 2 | | -0,00000136667 | 0,00000755704 |

| | | | |
|-------|--|---------------|---------------|
| 1 - 3 | | 7,66667E-7 | 0,00000755704 |
| 2 - 3 | | 0,00000213333 | 0,00000755704 |

* indica una diferencia significativa.

Anexo Q. Tabla ANOVA Análisis estadístico de comparación múltiple de varianza para amonio.

| Fuente | Suma de Cuadrados | GI | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 0,00699556 | 3 | 0,00233185 | 0,34 | 0,7948 |
| Intra grupos | 0,435894 | 64 | 0,00681084 | | |
| Total (Corr.) | 0,44289 | 67 | | | |

| Fuente | Suma de Cuadrados | GI | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-----------------------------------|-------------------|--------|----------------|---------|---------|
| TRATAMIENTO | 0,00773534 | 3 | 0,00257845 | 1,18 | 0,3758 |
| REPLICA (TRATAMIENTO) | 0,0174498 | 8 | 0,00218123 | | |
| MUESTREO (TRATAMIENTO REPLICA) | 0,206294 | 4 6 | 0,00448464 | 2,06 | 0,1404 |
| Residuo | 0,0 | 0 | | | |
| Total (corregido) | 0,232111 | 5 7 | | | |

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| R-Cuadrada = 75 | 7581 por ciento |
| R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 59 | 3591 por ciento |
| Error estándar del est. = 0 | 0406811 |
| Error medio absoluto = 0 | 0217424 |
| Estadístico Durbin-Watson = 2 | 10205 (P=0,1547) |

Anexo R. Tabla ANOVA Análisis estadístico de comparación múltiple de varianza para nitritos.

| Fuente | Suma de Cuadrados | GI | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 0,000181268 | 3 | 0,0000604228 | 0,20 | 0,8934 |
| Intra grupos | 0,0174981 | 59 | 0,000296578 | | |
| Total (Corr.) | 0,0176794 | 62 | | | |

| Fuente | Suma de Cuadrados | GI | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| tratamiento | 0,0000284208 | 3 | 0,0000094736 | 0,12 | 0,9475 |
| replica (tratamiento) | 0,000646404 | 8 | 0,0000808005 | | |
| muestreo (replica) | 0,0139353 | 14 | 0,000995377 | 12,32 | 0,0007 |
| Residuo | 0,00315669 | 37 | 0,000085316 | | |
| Total (corregido) | 0,0176794 | 62 | | | |

| | |
|-------------------------------------|-----------------|
| R-Cuadrada = 82 | 1448 por ciento |
| R-Cuadrada (ajustada por g.l.) = 70 | 0805 por ciento |
| Error estándar del est. = 0 | 00923666 |
| Error medio absoluto = 0 | 00522143 |

| | |
|-------------------------------|------------------|
| Estadístico Durbin-Watson = 2 | 09471 (P=0,1613) |
|-------------------------------|------------------|

Anexo S. Tabla ANOVA Análisis estadístico de comparación múltiple de varianza para nitratos.

| Fuente | Suma de Cuadrados | GI | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 19,8231 | 3 | 6,6077 | 0,20 | 0,8943 |
| Intra grupos | 2185,59 | 67 | 32,6208 | | |
| Total (Corr.) | 2205,42 | 70 | | | |

| Fuente | Suma de Cuadrados | GI | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|-----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| TRATAMIENTO | 28,4708 | 3 | 9,49026 | 1,30 | 0,2918 |
| REPLICA (TRATAMIENTO) | 42,43 | 8 | 5,30375 | 0,73 | 0,6660 |
| MUESTREO (REPLICA) | 1809,72 | 12 | 150,81 | 20,70 | 0,0728 |
| Residuo | 218,614 | 30 | 7,28712 | | |
| Total (corregido) | 2200,07 | 53 | | | |

| | |
|--------------------------------|--------------------|
| R-Cuadrada | 90,0633 por ciento |
| R-Cuadrada (ajustada por g.l.) | 82,4452 por ciento |
| Error estándar del est. = | 2,69947 |
| Error medio absoluto = | 1,58514 |
| Estadístico Durbin-Watson = | 2,37682 (P=0,4595) |

Anexo T. Tablas costos del sistema acuapónico

| | costos mensual | Meses | Valor total |
|--|----------------|-------|---------------|
| Depreciación Sistema Eléctrico | \$ 12.895,00 | 2 | \$ 25.790,00 |
| Consumo Eléctrico | \$ 118.080,00 | 2 | \$ 236.160,00 |
| Depreciación Sistema Acuapónico | \$ 20.661,67 | 2 | \$ 41.323,33 |
| Depreciación Invernadero | \$ 16.250,00 | 2 | \$ 32.500,00 |
| Mano de obra | \$ 138.750 | 1 | \$ 138.750,00 |

| Descripción | Cantidad | Unidad | Valor unitario | Valor total |
|--|----------|--------|----------------|-------------|
| Alimento balanceado | 6,292 | kg | 2350 | 14786,2 |
| Juveniles de Tilapia | 25 | und | 1500 | 37500 |
| Paquete de semillas <i>Lactuca sativa</i> | 1 | und | 2500 | 2500 |
| Paquete de vasos desechables | 3 | und | 3000 | 9000 |
| Sal marina | 10 | kg | 500 | 5000 |

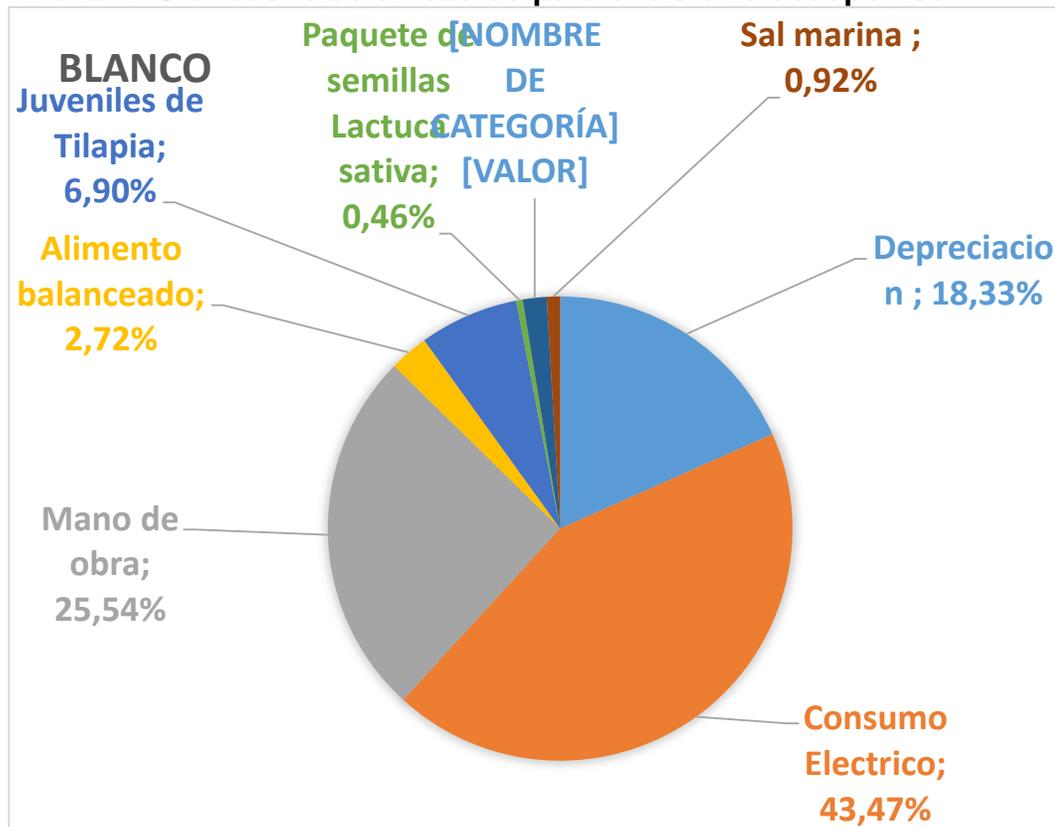
| Sustrato | Valor un | Valor total | TOTAL |
|----------|----------|-------------|-------|
|----------|----------|-------------|-------|

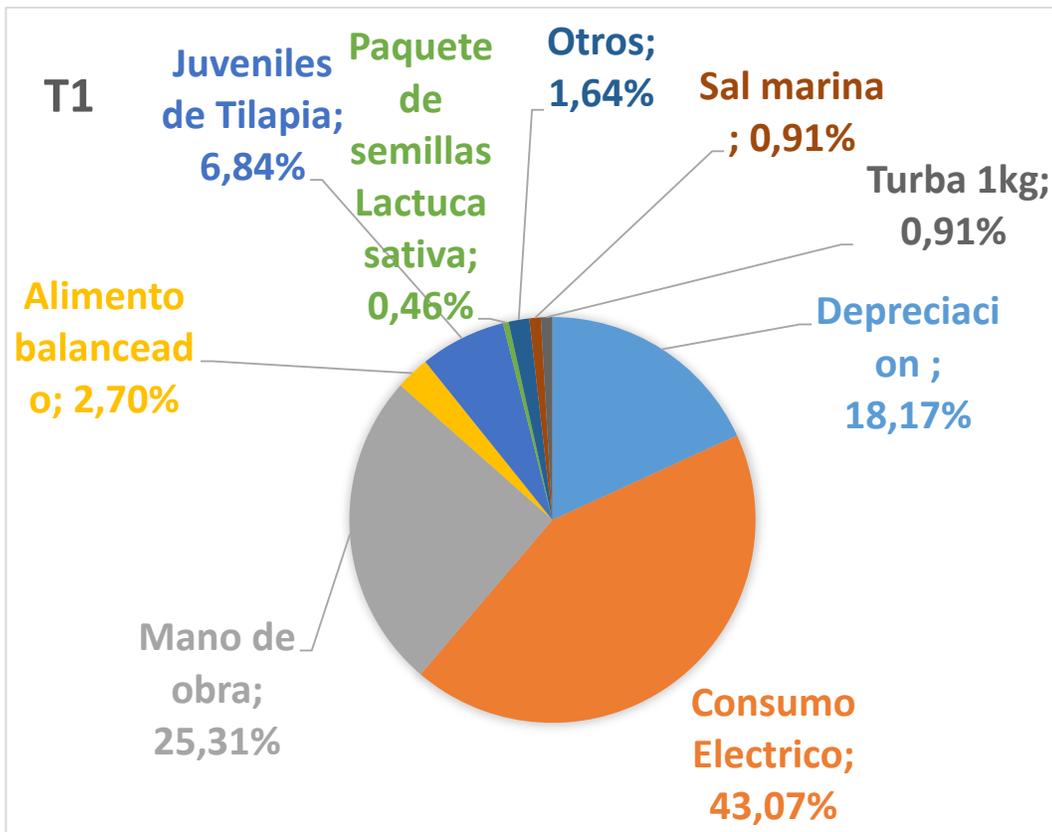
| | | | | | | |
|-------------------------|----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------------|
| Turba 1kg | 1 | kg | 5000 | 5000 | \$ | 548.309,53 |
| Cascarilla 40 kg | 1 | kg | 500 | 500 | \$ | 543.809,53 |
| Gravilla 60 kg | 1 | kg | 400 | 400 | \$ | 543.709,53 |
| Blanco | | | | | \$ | 543.309,53 |

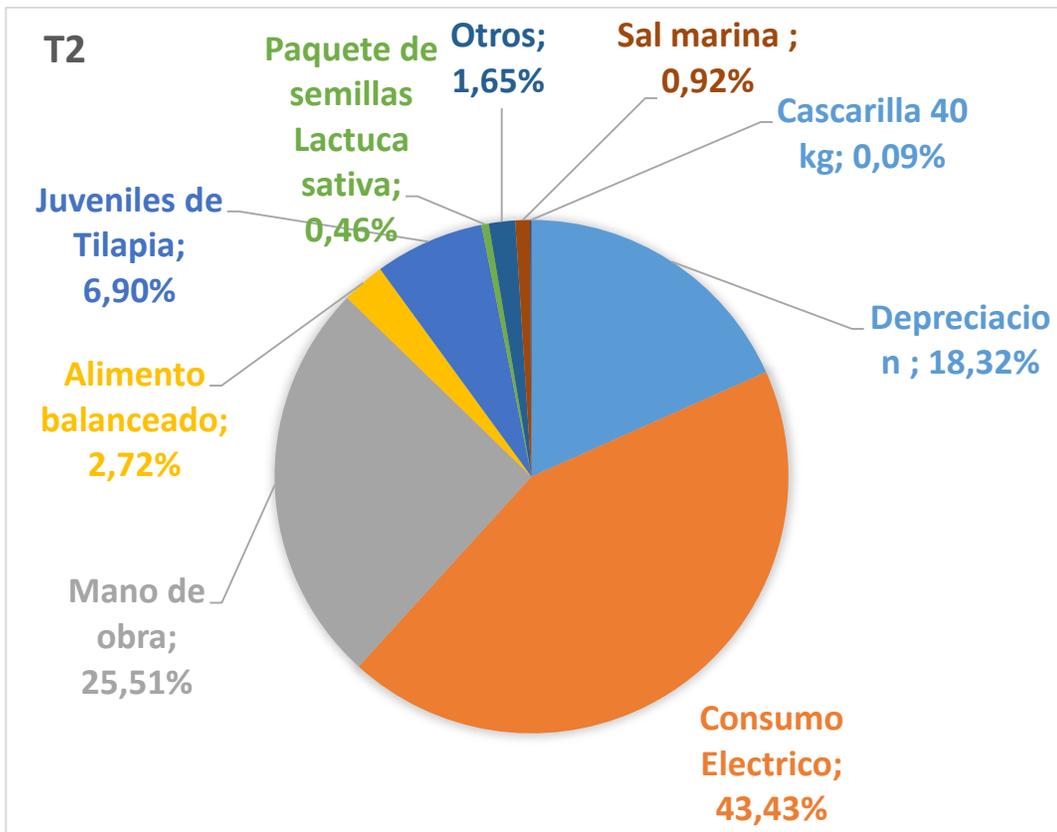
Anexo U. Tablas beneficio del sistema acuapónico

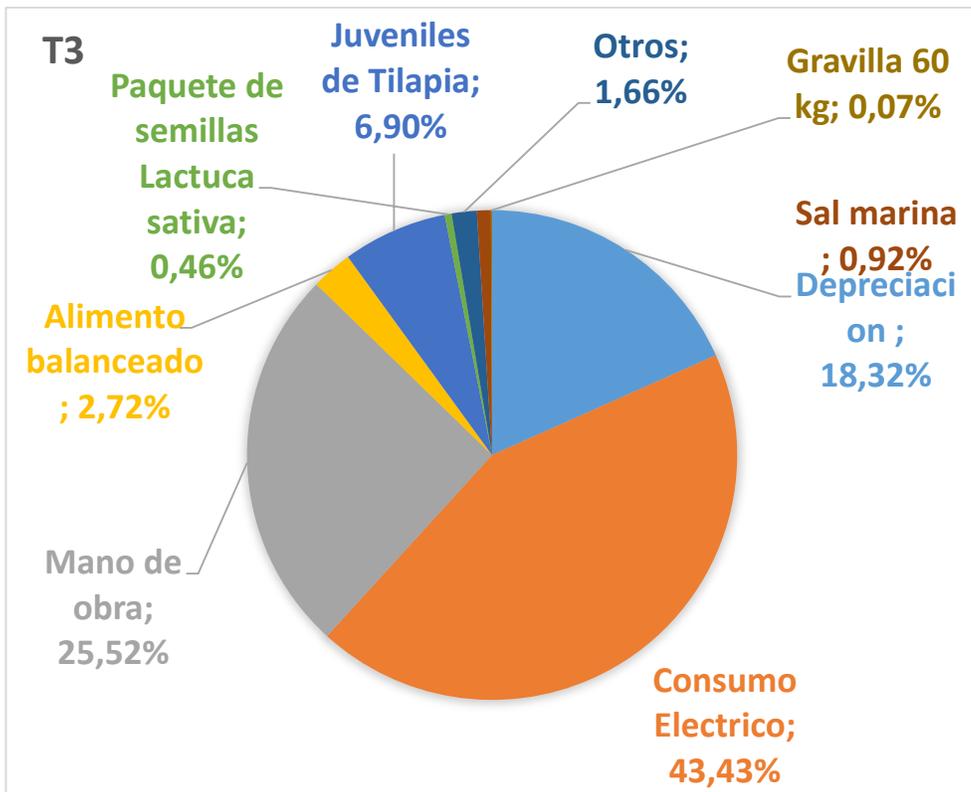
| | Ciclos | Beneficio | | | | |
|----------------|----------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|
| | | cantidad/ciclo | cantidad total | Peso kg | valor uni | TOTAL |
| Lechuga | 1 | 144 | 144 | --- | 3300 | \$ 475,200 |
| Peces | 1 | 25 | 25 | 0,211 | 13000 | \$ 68,575 |
| | | | | | | \$ 543,775 |

Anexo V Graficas relación costos para el sistema acuapónico









Anexo W. Planos del sistema acuapónico

