

Comparación de los parámetros de producción obtenidos en 8 estanques de producción de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) en una explotación piscícola con sistema de recirculación en el municipio de rio negro, Santander

Helda Eugenia Granda Jaramillo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente ECAPMA

Programa zootecnia

CEAD Bucaramanga

2022

Comparación de los parámetros de producción obtenidos en 8 estanques de producción de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) en una explotación piscícola con sistema de recirculación en el municipio de rio negro Santander

Helda Eugenia Granda Jaramillo

Trabajo presentado como requisito para optar al título de zootecnista

Director:

Jorge Edwin Gélvez Hihuera. M.V. Esp.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente ECAPMA

Programa de zootecnia

CEAD Bucaramanga

2022

Comparación de los parámetros de producción obtenidos en 8 estanques de producción de Tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) en una explotación piscícola con sistema de recirculación en el municipio de Rio negro Santander

Jorge Edwin Gelvez Higuera.

Director del trabajo de grado

Jurado.

Jurado

Dedicatoria

A mi esposo, y a mi hijo, por ser el estímulo y apoyo incondicional y por ser ellos la inspiración para finalizar mi proyecto y graduarme como profesional de zootecnia

A los docentes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD que siempre estuvieron en este proceso de formación, apoyándome con voz de aliento y animo en momentos difíciles de mi carrera y por su aporte y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al docente y director de ECAPMA Jorge Edwin Gelvez Higuera por apoyarme en todo momento y brindarme una parte de su gran conocimiento y valioso tiempo, por el apoyo con voz de aliento en mi estado de salud y momentos difíciles en mi carrera profesional

Agradecimientos

Como creyente en Dios y a la Virgen de la santísima trinidad, que me ayudan y me fortalecen en la vida y la salud, por darme la oportunidad de cada día crecer y darme la capacidad de ampliar mis conocimientos para lograr culminar la meta.

A mi director del proyecto de Graduación, Jorge Edwin Gelvez, de la Universidad Abierta y a Distancia, por la guía y comprensión, paciencia, entrega y valiosos consejos a lo largo del proyecto de investigación, en el desarrollo de la ejecución de la comparación de los parámetros de producción obtenidos en 8 estanques de producción de Tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) en una explotación piscícola con sistema de recirculación en el municipio de Rio negro Santander.

Resumen

El objetivo de esta investigación hace énfasis en la evaluación de los parámetros del agua, en un sistema cerrado de recirculación implementado para la producción de la tilapia roja, en ocho (8) estanques que nos permitió evaluar el número de animales sembrados, animales cosechados, días de cultivo, kilos brutos, consumo total, la mortalidad total y porcentaje de mortalidad con el fin de conocer el peso promedio del animal.

Encontrándose entre las variables mediante la correlación de Pearson, resultados positivos estadísticamente significativos en el número de animales sembrados y cosechados, número de animales y kilos brutos, mortalidad total y porcentaje (%) de mortalidad, lo que significa que a manera que una variante aumenta la otra variante significativa también aumenta.

Abstract

The objective of this research emphasizes the evaluation of water parameters, in a closed recirculation system implemented for the production of red tilapia, in eight (8) ponds that allowed us to evaluate the number of stocked animals, harvested animals, days of cultivation, gross kilos, total consumption, total mortality and percentage of mortality in order to know the average weight of the animal.

Finding among the variables through Pearson's correlation, statistically significant positive results in the number of animals sown and harvested, number of animals and gross kilos, total mortality and percentage (%) of mortality, which means that as a variant increases the other significant variant also increases.

Palabras claves

Parámetros, reproductivos, recirculación,

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| Resumen | 6 |
| Introducción | 14 |
| Planteamiento del problema | 16 |
| Justificación..... | 18 |
| Objetivos..... | 19 |
| Objetivo General | 19 |
| Objetivos Específicos..... | 19 |
| Marco Conceptual. | 20 |
| Marco Teórico..... | 23 |
| Reseña histórica de la tilapia roja | 23 |
| Manejo reproductivo de Tilapia roja (Oreochromis sp)..... | 25 |
| Fases de la producción de la tilapia | 26 |
| Fase 1 – pre cría | 26 |
| Fase dos – levante | 26 |

| | |
|---|-----------|
| Fase tres – engorde..... | 26 |
| Parámetros de la calidad del agua para el cultivo de la tilapia roja (Oreochromi spp) | 27 |
| Temperatura | 27 |
| Oxígeno disuelto | 28 |
| Alcalinidad del agua | 28 |
| Salinidad | 29 |
| El pH..... | 29 |
| Potencial del Hidrogeno O pH..... | 29 |
| Medición del grado del pH..... | 30 |
| Dureza total..... | 30 |
| Fósforo | 30 |
| Nitritos | 30 |
| Nitratos..... | 31 |
| Amoníaco..... | 31 |
| Componentes de un sistema de recirculación (RAS)..... | 32 |
| Remoción de solidos: | 33 |
| Solidos sedimentales..... | 33 |
| Solidos suspendidos | 33 |

| | |
|--|-----------|
| | 10 |
| Solidos finos..... | 33 |
| Biofiltración: | 34 |
| Aireación u Oxigenación | 34 |
| Desgasificación..... | 35 |
| Ventajas y desventajas de los sistemas de recirculación en acuicultura..... | 36 |
| Desventajas..... | 36 |
| Metodología..... | 37 |
| Marco legal..... | 39 |
| Resultados..... | 40 |
| Discusión..... | 48 |
| Conclusiones..... | 50 |
| Recomendaciones..... | 52 |
| Bibliografía..... | 54 |

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros productivos por área y densidad de siembra

Tabla 2. Estadística descriptiva

Tabla 3. Correlación de variantes

Lista de figuras

Figura 1. Medición del pH

Figura 2. Componentes de un sistema de recirculación RAS)

Listado de abreviaturas

SRA, Sistema de recirculación del agua

FCV, Factores críticos de vigilancia

FEDEACUA, Federación Colombiana de Acuicultores.

CO₂, Dióxido de carbono

HACCP, Análisis de peligros y puntos críticos de control

NAT, Nitrógeno amoniacal total

OD, Oxígeno disuelto

Introducción

Las estrategias ambientales consignadas en el presente proyecto de grado se basan en la búsqueda de información secundaria para el manejo de reciclaje del agua.

La recirculación de aguas residuales en la piscicultura se puede llevar a cabo en diversos sistemas, tales como: piscina en tierras, tanques en cemento, jaulas flotantes, canales cerrados (*raceways*) y sistemas de recirculación de agua denominados RAS.

Este sistema de recirculación requiere menos terrenos y agua, menos mano de obra para la alimentación y control ambiental para poder producir todo el año, minimizar la contaminación ambiental mediante el sistema de recirculación del agua. Por lo anterior, los parámetros de calidad del agua deben ser monitoreados de manera continua. A saber: sólidos disueltos, totales, oxígeno disuelto (OD), nitrógeno amoniacal, pH, nitritos y parámetros de crecimiento, entre otros.

El medio acuático es de vital importancia porque influye directamente en la viabilidad económica, es decir; (capital invertido, costes de mantenimiento, ritmo de producción, mortalidad), cada especie tiene su perfil idóneo, y conseguir este perfil es sumamente importante, ya que una mala calidad de agua repercutirá en la calidad del producto final de forma directa. cuyo objetivo es obtener una producción eficiente, mediante el uso de excelente calidad de agua y por ende manejo de densidad de animal y alimentación, mediante el reciclaje del agua, este método posibilita en la piscicultura pequeñas cantidades de agua y disminución en la liberación de contaminación al medio ambiente.

En la última década, en Colombia se propone como estrategia la implementación de los sistemas Biofloc (SB) cuyo sistema consiste en agregar comunidades microbianas en forma de flóculos integrados por bacterias, fitoplancton, materia orgánica e inorgánica, generados

fácilmente en los estanques; bajo condiciones de recirculación constante de agua, dado a que ofrecen la posibilidad de incrementar el cultivo obteniendo mayor productividad por unidad de área.

Planteamiento del problema

En el proceso de la piscicultura los consumos diarios de agua son muy altos debido a los cambios diarios en los estanques, teniendo en cuenta el tipo de cultivo y etapas que se manejen (Merino M., Salazar G., & Gómez D., 2006), por lo cual se crean estrategias que optimicen estos procesos para disminuir el consumo diario de agua, siendo este, el sistema de circulación del agua en acuicultura (RAS), un sistema que se basa en reutilizar el agua y permitir la reincorporación del agua y continuar los procesos de producción, permitiendo de esta manera la disminución del consumo diario del agua limpia. (Masser, M., Rakocy, J., & Losordo, T. M., 1999).

El crecimiento de esta industria presenta como principales limitantes la demanda de alimento para los peces, el alto volumen de agua fresca empleada y la alta generación de aguas residuales, por tal motivo, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París de la Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático han planteado la necesidad de establecer metas para el desarrollo sostenible de la pesca y la acuicultura, como estrategia alternativa de seguridad alimentaria (FAO 2014).

En este sentido, la recirculación del agua en sistemas piscícolas deberían desarrollarse e implementarse masivamente que garanticen la sostenibilidad del sector frente al cambio climático dado a que es una estrategia de vital importancia porque reduce sustancialmente la demanda de agua fresca para la producción de peces (kg/m³), facilitando además el manejo responsable de las aguas residuales, y al mismo tiempo la remoción eficiente de contaminantes presentes en el medio (Puentes, Vladimir et al 2015-2040)).

Este proceso podría representar desafíos importantes para el manejo de parámetros fisicoquímicos de interés ambiental y para la cría de peces; sin embargo, solo han sido probados a escala laboratorio y piloto en España (Milhazes-Cunha y Otero, 2017), Dinamarca (Spiliotopoulou et al., 2017) y Bélgica (Van Den Hende et al., 2014, Sfez et al, 2015), Sudáfrica (Ansari et al., 2017; Guldhe et al., 2017) y China (Gao et al., 2016).

El desarrollo del proyecto permitirá identificar alternativas para el desarrollo de una estrategia de piscicultura bajo el sistema de recirculación de agua. Este concepto ha sido desarrollado a nivel mundial durante los últimos 20 años, y fue adoptado oficialmente en Colombia en el año 2018.

Justificación

De acuerdo con datos presentados por la Federación Colombiana de Acuicultores (Fedeaqua), la acuicultura en el país ha crecido exponencialmente (13% anual durante los últimos 27 años), llegando incluso a desplazar a la industria pesquera nacional (en mar abierto) y de captura en el año 2011.

Además de la gran demanda de agua fresca, los sistemas de producción piscícola generan gran volumen de aguas residuales (Gonzalez,2011), haciendo que su manejo sea una de las principales limitantes para el desarrollo sostenible de esta industria.

En este sentido, la Piscícola, ubicada en el municipio de Rio Negro – Santander se encuentra implementando actualmente un sistema de recirculación de agua, con miras a reducir o incluso eliminar sus vertimientos de agua residuales.

Con el reciente lanzamiento de la Estrategia Nacional de Economía Circular el gobierno colombiano ha abierto la oportunidad a distintos renglones de la economía nacional para la implementación de este tipo de prácticas, convocando al sector educativo para el acompañamiento en la formulación de estrategias que permitan su adecuada implementación.

Aunque no se refiere específicamente a la piscicultura, la estrategia nacional planteada si establece la recirculación de agua como una de las líneas de acción prioritarias, por tanto, el desarrollo del presente proyecto constituye no solo una oportunidad de investigación a escala real de las limitantes y condiciones para recirculación de agua en piscicultura, sino que permite el acercamiento de las líneas de investigación de la Escuela ECAPMA, Desarrollo Rural y Biotecnología.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el desarrollo Zootécnico de la cría de Tilapia Roja (*Oreochromis mossambicus*), mediante el seguimiento y análisis de parámetros de producción en el sistema de recirculación de agua implementado por la piscícola en Río Negro, Santander.

Objetivos Específicos

Identificar etapas y procesos del sistema de producción llevado a cabo en la cría de Tilapia Roja (*Oreochromis mossambicus*) en el municipio de Rio negro Santander.

Evaluar el comportamiento de los parámetros zootécnicos de producción en un sistema de recirculación de agua.

Marco Conceptual.

La recirculación Puede ser de finida como un sistema donde el agua es usada hasta un punto donde ya no es adecuada para los peces y requiere de ser tratada antes de ser retomada a los mismos estanques.

Este sistema es muy básico para una correcta funcionalidad, comprende del área donde se encuentran los peces, luego lo del sistema de recirculación comprendido por tuberías y canales que llevaran el agua utilizada al sistema de tratamiento para después ser devuelta al suministro de agua que distribuye a los estanques con peces y así continuamente por el tiempo o periodo que se desee siempre y cuando cumpla con las condiciones óptimas para la explotación acuícola.

Una vez finalizado el ciclo de crecimiento de los peces, las aguas pos consumo deben ser dispuestas de acuerdo con la normatividad vigente, ya que poseen altos niveles de compuestos nitrogenados (amonio, nitritos y nitratos), fosfatos y carbono orgánico disuelto (COD) (Lananan et al., 2014), los cuales provienen del alto contenido de alimento sin consumirse y las heces de los individuos (Crab et al., 2007).

Actualmente existen una gran diversidad de métodos biológicos y químicos que han sido usados satisfactoriamente en el proceso biológico para la eliminación de nitrógeno como la nitrificación y des nitrificación (Cárdenas C; Sánchez O., et al2013), y procesos químicos como la precipitación química para la eliminación de fosforo (Ebeling et al., 2002). Este último proceso a pesar de ser efectivo es una técnica menos amigable con el medio ambiente, ya que posee la capacidad de generar residuos químicos y aumenta la formación de lodos, los cuales son agentes altamente contaminantes para el medio ambiente (Gao et al., 2016).

Como alternativa se han desarrollado técnicas en los sistemas de recirculación de aguas post-consumo (Ríos et al., 2011). Sin embargo, su aplicación debe ser controlada, dado que aun

cuando algunas especies de peces capaces de convertir sustancias presentes en el agua, como el amonio, el alto contenido del mismo en el medio puede degradar el sistema nervioso central del organismo y reducir la calidad de la carne a producir (Randall & Tsui, 2002).

Según Ebeling & Timmons (2002) existen sistemas de recirculación en serie, parcial y total. A mayor tasa de reutilización se requieren mejores procesos para restaurar la calidad del agua, siendo los factores más importantes a tener en cuenta la concentración de amoníaco no ionizado y los niveles de CO₂ disuelto.

Esto debido a la interconexión de los parámetros, ya que existe efecto directo del CO₂ disuelto sobre el pH, y la relación del pH con la toxicidad del nitrógeno amoniacal. A medida que disminuyen los niveles de CO₂ disuelto, aumenta el pH, lo que a su vez aumenta la toxicidad del nitrógeno amoniacal total en el sistema. El sistema de reutilización elegido debe ser capaz de mantener los niveles necesarios de oxígeno disuelto, al mismo mantener las cantidades de CO₂ disuelto y el pH por debajo de los límites respectivos (Ebeling & Timmons, et al 2012).

El oxígeno se convierte también algunas veces en un parámetro limitante en el proceso de recirculación de agua en piscicultura, sin embargo, es posible restaurar la concentración requerida mediante aireación u oxigenación. Así las cosas, la concentración de metabolitos como el nitrógeno amoniacal, la materia orgánica (suspendida y disuelta) y el CO₂ deben ser monitoreadas (Eding et al., 2006).

Para lograr un diseño óptimo de sistemas de tratamiento enfocado hacia la recirculación de agua de piscicultura se deben tener cinco pasos básicos: (1) Determinar o conocer el plan de producción de peces con el fin de cuantificar el consumo máximo de alimento y la producción de desechos; (2) cálculos de balance de masa de desechos que vinculan el crecimiento, el consumo de alimento y la producción de desechos; (3) determinación de los límites o parámetros de

calidad del agua; (4) Los aspectos operativos del sistema de tratamiento de agua pos-consumo seleccionado; y (5) selección de un sistema de eliminación y/o aprovechamiento de sólidos.

La calidad y la cantidad de los desechos dependen de los aspectos relacionados con los peces y su alimentación. Dado que la mayoría de los datos publicados son específicos para cada caso de estudio, cada vez que se diseña un sistema de recirculación, los datos deben validarse para las condiciones específicas del sistema de producción diseñado (Eding et al., 2006).

Una vez que se conoce la carga máxima de alimentación, se debe calcular la producción de residuos por kg de alimentación. Los datos de producción de desechos son datos básicos para los cálculos de la tasa de flujo y para la determinación de las dimensiones de las unidades de tratamiento de agua (Vinci, 2004). Una estimación teórica de las cantidades de los diferentes desechos de pescado se basa en un balance de masa simplificado, que vincula el crecimiento, la ingesta de alimento y la producción de desechos (Eding et al 2006).

Marco Teórico

Reseña histórica de la tilapia roja

La tilapia en Colombia fue introducida durante la década de los 60, pero hasta la década de los 80 su cultivo se desarrolló como actividad comercial (Campo, 2003).

La tilapia roja se obtuvo de múltiples cruces; *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis aureus* y *Oreochromis hornorum*. Su coloración es muy similar a especies como el pardo rojo y la percha, razón a la que estimuló a productores e investigadores a iniciar un acelerado programa de hibridación, permitiendo la obtención de nuevas líneas de tilapia roja (Campo, 2003).

Sin embargo, a diferencia de otras especies, la tilapia roja demanda atenciones técnicas considerables en su proceso de cultivo. Por ejemplo, requiere ambientes con temperatura entre los 24 y 30°C, alimentación con balanceado comercial, y protección especial en todas las etapas, por cuanto es vulnerable a la prefación, dado que carece de mimetismo natural (Amado, Córdoba-Rojas & Barbosa, 2015).

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2007), señala el incremento permanente de su producción desde la década de los ochenta, evidenciando la importancia que toma este grupo de especies a nivel mundial, lo cual se conoce por lo menos 60 especies diferentes de tilapia de las cuales son utilizadas para el consumo humano 10 especies.

Actualmente el país cuenta con 88 plantas de proceso con una capacidad de 24.000 toneladas/ año para su comercialización a nivel nacional. Solo cinco cuentan con la certificación del plan HACCP, y se encuentran localizadas en los departamentos del Huila, Tolima, Valle del Cauca, Cauca y una en el eje cafetero ((Valenzuela Vargas , Martínez , & Arévalo , 2017) (Vega Amaya, 2021) (Villegas, 2021)

En el departamento de Huila, es el primer productor nacional de tilapia roja, la producción se obtiene en el embalse de Betania, donde se utilizan 36.000 m² en espejo de agua con sistema de jaulas flotantes, y se efectúa el 70% de la producción departamental. El restante 30% de la producción de tilapia se cultiva en sistemas de tierra-estaque, conformado por 4.015 productores que ocupan un área de 228 hectáreas (Fedeagua, 2016).

Manejo reproductivo de Tilapia roja (*Oreochromis sp*)

Es considerada como prolífica, razón por la cual, hace que se busquen alternativas a la alta reproducción, inicia a edad temprana de 3 a 6 meses (Espejo, 2012). Posee alta tasa de desove de fertilización y alta viabilidad, además, se reproduce antes de la talla de comercialización razón por la cual se debe separar los sexos en el momento oportuno, siendo recomendado que se engorden solo machos.

Es de fácil manejo y resistente al manipuleo, enfermedades y factores físico y/o químicos, como también al manejo del sistema productivos, encalamiento, fertilizaciones varias, muestreos, biometría, control de parámetros (pH, temperatura, oxígeno disuelto, visibilidad, amoníaco).

Fases de la producción de la tilapia

Entre estas tenemos:

Fase 1 – pre cría

Crianza de alevines desde un (1) gramo hasta los (5) gramos con una densidad de 100150 alevines /m² con recambio del 15% y aireación auxiliar, y 50-60 alevines /m² , para sistemas de recambio constante, los alevines son alimentados con alimento balanceado de 35% de proteína y a razón de 10 a 12% de la biomasa, distribuido de 8 a 10 porciones en el día (Nicovita, s.f.)

Fase dos – levante

Se inicia con peces desde los (5) gramos hasta los (80) gramos, se realiza en estanques de 450 a 1500 m², con una densidad de 20 a 50 peces / m², con un recambio de agua 5 a 10 % día, se alimentan con alimento balanceado de 30 a 32% de proteína dependiendo la temperatura y manejo de explotación y a razón de 3 a 6% de la biomasa total (Nicovita, s.f.).

Fase tres – engorde

Comprende la crianza de los peces desde los 80 gramos hasta el peso de cosecha, se realiza en estanques de 1000 a 5000 m², densidades 1 a 30 peces / m² , se alimentan con alimento balanceado del 28 a 30% de proteína y a razón de 1.2 a 3% de la biomasa, distribuido de 2 a 4 raciones en el día (Nicovita, s.f.).

Parámetros de la calidad del agua para el cultivo de la tilapia roja (*Oreochromis spp*)

| Parámetros | Unidades | Rangos |
|----------------------|-------------------|----------|
| Temperatura | °C | 25-32 |
| Oxígeno | mg/L | 5 - 9 |
| pH | Unidades de pH | 6 - 9 |
| Alcalinidad Total | mg/L | 10 - 150 |
| Dureza Total | mg/L | 80 – 110 |
| Calcio | mg/L | 60 -120 |
| Nitritos | mg/L | 0 - 0.1 |
| Nitratos | mg/L | 1.5 -2 |
| Amonio Total | mg/L | 0 - 0.1 |
| Hierro | mg/L | 0 -0,5 |
| Fosforo | mg/L | 0 – 2 |
| Dióxido de carbono | mg/L | 5 – 10 |
| Sulfuro de hidrogeno | mg/L | 0 - 0.01 |

Fuente: Saavedra Martínez, M. A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia.

Managua, Nicaragua.

Temperatura

Expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, los peces son organismos heterotermos es decir no pueden mantener su temperatura corporal constante ni elevada ya que esta depende de la temperatura del agua donde se encuentren, y a su vez afecta en gran medida la tasa metabólica y tasa de crecimiento de los peces (Meyer, 2004), mientras que a temperaturas más altas en el agua se hace más difícil mantener las concentraciones de oxígeno disuelto(OD) (Southern regional aquaculture center, 2009).

Oxígeno disuelto

Es fundamental para el metabolismo celular, genera energía para diferentes reacciones que se lleva a cabo en el interior del pez y otros organismos acuáticos, que es llamado respiración. Lo cual es importante dentro de la acuicultura (Meyer, 2004).

El oxígeno disuelto puede pasar de un nivel óptimo a un nivel letal debido a los siguientes aspectos como son.

1. Cuando el oxígeno no es muy soluble en el agua
2. La tasa de consumo de oxígeno de los peces, plancton (microorganismos) y el lodo pueden ser muy altos
3. Porque el oxígeno se difunde muy lentamente de la atmósfera a agua sin perturbar

(Southern Regional Aquaculture center, 2002) lo cual puede causar cambios en la disolución.

Existen varias maneras de medir la concentración del oxígeno disuelto basado en los siguientes métodos.

- a) Numero de estanques o tanques a ser medidos.
- b) Nivel de precisión requerida
- c) El costo de la técnica de medición, siendo el método del recuento de gotas que evalúa con

bastante rapidez si hay o no suficiente oxígeno disuelto en el agua y es el más económico y apropiado para la concentración de OD. (Southern Regional Aquaculture center, 2002)

Alcalinidad del agua

Es la concentración total de las bases en el agua, por ejemplo, mg/l o ppm de carbono de calcio (CaCO_3), la alcalinidad es una medida de capacidad de una muestra de agua, de resistir cambios en el pH. Los peces son organismos adaptados a medios que cambia el pH

gradualmente, en los cuerpos naturales de agua las fluctuaciones de en pH son gradualmente y de limitada magnitud. (Meyer 2004).

Salinidad

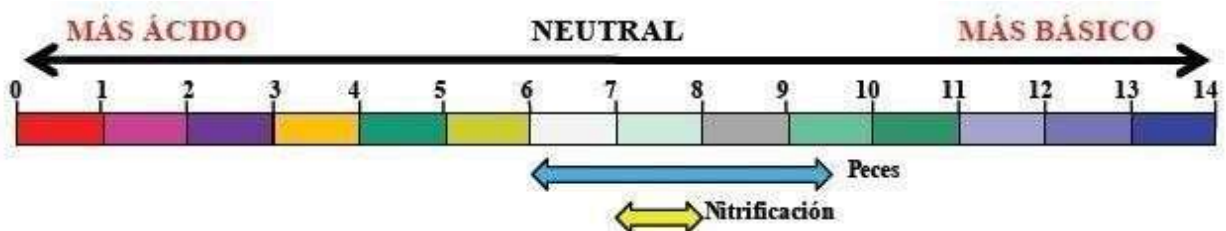
Es la concentración total de iones disueltos en el agua, influye en el bienestar del cultivo acuático, en el ritmo de crecimiento y tasa de mortalidad de los peces, la salinidad puede variar por efecto de la evaporación, es decir el (aumento de la concentración de la sal), y por las precipitaciones (dilución de concentración de la sal), en el caso de la tilapia se adapta a diferentes concentraciones de la sal desde 0 salinidad hasta 35 ppt, por ser peces eurihalinos, (Hsien – Tsan y Quintanilla 2008).

El pH

Se define como la concentración de hidrogeno en el agua, este parámetro afecta el estado de otros parámetros de la calidad del agua, lo cual es considerado unos de los parámetros más importantes en ser monitoreados y controlado en los sistemas de recirculación

Potencial del Hidrogeno O pH

En la piscicultura se monitorea los niveles del pH, es un factor químico que mide el grado de acidez o alcalinidad del agua del estanque esos niveles se encuentran de 1 a 14 y naturalmente el agua tiene un pH entre 6 y 9,5, pero el agua para cultivo de peces debe mantenerse en 7. (García O. Gloria Estefanía 2018).



Medición del grado del pH

Escala de pH indicando el rango de tolerancia para los peces y óptimo para la nitrificación. Tomado de Sedano y Anguis (2016).

Dureza total

La dureza es la concentración total de iones metálicos bivalentes en el agua, principalmente iones de calcio (Ca^{+2}) y de magnesio (Mg^{+2}), también expresada como mg/litro de carbonato de calcio. La dureza en aguas naturales es derivada de la disolución de la piedra caliza. El calcio y magnesio son elementos importantes en la productividad de sistemas acuáticos naturales y de sistemas acuícolas, (Meyer, 2004)

Fósforo

El fósforo es considerado como la mayor limitante, en el agua dulce, y su incremento, produce en general, un aumento de la producción primaria (fitoplancton).

Al igual que con el nitrógeno (N_2), existen algunos problemas menores con la toxicidad del fósforo, cuando se encuentra en exceso, puede producir un fuerte florecimiento de algas, que podría causar mortalidad en los peces por la consecuente falta de oxígeno, una de las características que tiene el fósforo es que es capturado por los sedimentos del estanque, lo cual es más notable cuando se intenta hacer fertilizaciones inorgánicas de fósforo, y ésta no logra aumentar las concentraciones de fósforo en el agua. (Egna y Boyd, 1997)

Nitritos

Parámetro de vital importancia por ser un poderoso agente contaminante y por su alta toxicidad, que se genera durante el proceso de la transformación del amoníaco a nitratos.

La toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de cloruro, temperatura y la concentración del oxígeno dentro del agua, manteniendo la concentración por debajo de 0.1 ppm, y haciendo recambios del agua y limitando la alimentación para evitar altas concentraciones de amonio. (Lozada, 2019).

Nitratos

Por sus propiedades físicas no se pueden oler ni sentir y su presencia en concentraciones alta es peligrosa, es detectada cuando los peces presentan problemas de salud, los niveles de nitrato deben ser entre 0 y 40 ppm, es difícil precisar un alto contenido de nitrato debido a que provienen de muchas fuentes. La entrada de los nitratos es un resultado de procesos naturales, los cuales incluyen la precipitación, el constante movimiento de los minerales y descomposición de la materia orgánica. (Lozada, 2019).

Amoníaco

En un medio acuoso, el amoníaco existe en dos formas: una forma no ionizada (NH_3) que es tóxica para los peces y una forma ionizada (NH_4^+) que tiene baja toxicidad para los peces. Estos dos forman el nitrógeno amoniacal total (TAN), en el que la relación entre las dos formas está controlada por el pH, la temperatura y la salinidad. El amoníaco se acumula en el agua como producto del metabolismo proteico de los peces y puede alcanzar concentraciones tóxicas si no se trata (Espinal & Matulic, 2019).

Componentes de un sistema de recirculación (RAS)



Fuente; Villegas, L. M. (2021) Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS. Caldas – Antioquia.

Para que este sistema sea eficiente y provea de un ambiente adecuado debe considerar los siguientes procesos o características.

Remoción de sólidos:

estos se dividen en sólidos sedimentales, sólidos suspendidos y sólidos finos. En términos generales consiste en remover los desechos producidos en los sistemas como las heces y los alimentos no consumidos.

Sólidos sedimentales:

Son los más fáciles de remover y debe ser eliminado en el estanque de cultivo a la menor brevedad, se logra mediante un pendiente suave a un desagüe central, con un modelo de flujo circular o efecto de taza de té. Los sólidos se quintan desde el centro en forma continua, o también, usar un componente que se conoce como hidrociclón o remolino de separación. En este diseño los sólidos del agua y las partículas entran al separador de manera tangencial, la creación de un flujo circular o remolino patrón en un tanque de forma cónica.

Sólidos suspendidos:

Estos se encuentran fuera de la columna del agua y para removerlos se usa la filtración mecánica que incluye la Filtración por Pantalla y los filtros de medio granular expandible.

Sólidos finos:

Se acumulan dentro del cultivo intensivo y no pueden ser removidos por los sistemas anteriormente mencionados, solo se puede hacer con el fraccionador de espuma o Skimmer (siglas en Inglés) es un proceso que se refiere como el aire- stripping o espumado de proteína, se emplea a menudo para eliminar y controlar la acumulación de estos sólidos.

Biofiltración:

La nitrificación tiene la función de controlar el nitrógeno amoniacal total (NAT) el cual debe ser removido del sistema a una tasa igual a la que es producido para mantener niveles seguros para el crecimiento de los organismos (Losordo et al. 1992).

A demás es un proceso que se lleva a cabo en dos partes, la primera, en la cual el amonio es oxidado a nitrito mediante la acción de bacterias del género *Nitrosomonas*.

La segunda parte consiste en la oxidación de nitrito a nitrato, realizado por bacterias del género *Nitrobacter*.

Dentro de los mecanismos de remoción de compuestos nitrogenados tenemos los siguientes: Contactador Biológico Rotatorio (RBC), filtros de medio expandible, Filtros de cama Fluidizado, filtros de torre empacada. Para el diseño de un biofiltro es importante conocer las concentraciones de los parámetros limitantes existentes en el agua residual acuícola.

Actualmente se cuenta con diversos trabajos de investigación, donde se ha determinado la generación de contaminantes en un cultivo acuícola (Lyytikainen y Jobling, 1998; Thomas y Piedrahita, 1998; Zhu *et al.*, 1998; Carvalho y Phan, 1997). Sin embargo, estas tasas de producción de contaminantes han sido estudiadas bajo condiciones de laboratorio, donde los factores ambientales y los parámetros que pueden afectar los niveles de producción de amonio son monitoreados y controlados cuidadosamente (Thomas y Piedrahita, 1998).

Aireación u Oxigenación:

Factor limitante en la calidad de agua en Acuicultura. El mantenimiento de OD en concentraciones superiores a 6mg/l y las concentraciones menores a 20mg/l contribuirá a reducir el estrés en la mayoría de especies cultivadas y mejorar las tasas de crecimiento. Colt y Watten

(1988) y Boyd y Watten (1989). Dentro de los sistemas de Recirculación Acuícola están los cultivos de Baja Densidad hasta 40kg/m³ con aireación y Alta densidad hasta 120kg/m³ con oxígeno puro.

Desgasificación:

Proceso de eliminar el dióxido de carbono acumulado en el sistema, y Circulación del agua: tecnología que permite el cultivo de peces a mayor intensidad. En el SRA, el ambiente es totalmente controlado, el agua circula a través del sistema, y solamente un pequeño porcentaje de agua es reemplazado diariamente. La temperatura, salinidad, pH, alcalinidad, composición química y el oxígeno son monitoreados y continuamente controlados.

Los residuos sólidos son filtrados y removidos, se incorpora oxígeno para mantener concentraciones suficientes para la densidad de peces en cultivo, Y por último el efluente es tratado en biofiltro para la conversión biológica del nitrógeno amoniacal a nitrato (Timmons, 2002).

Ventajas y desventajas de los sistemas de recirculación en acuicultura

Ventajas

Reduce la transmisión y propagación de Enfermedades.

Disminuye en forma considerable los contaminantes al medio ambiente.

Optimización en el uso de recursos, tales como agua, alimentos, energía, terrenos, personal, etc.

Niveles más altos de Factor de Conversión Alimenticia.

Programación más eficiente en la Producción.

Se puede utilizar para los diferentes estadios en organismos acuáticos en agua dulce como en agua de mar tanto en peces, crustáceos y moluscos.

Desventajas

La inversión inicial es muy costosa

Requiere de personal calificado.

Metodología.

La Piscícola Prado se encuentra ubicada en el municipio de Rio negro (Santander), busca ser una empresa orientada al mejoramiento continuo. Cuenta con un área de 4 hectáreas, de las cuales el 80% están destinadas a la producción piscícola, cuenta con 8 estanques de producción de Tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*), es una explotación piscícola con sistema de recirculación en el municipio de Rio negro Santander, y 1 para almacenamiento y tratamiento de agua como parte del sistema de una recirculación que junto a las fuentes de agua que posee completa el caudal que lleva a los estanques y así compensar la pérdida de agua producto de las salpicaduras, evaporación y otras pérdidas.

Se llevó a cabo la identificación de procesos y etapas del sistema tomando como punto de partida el análisis de los datos registrados por la piscícola desde el inicio de su operación, hace 6 meses. Esta primera revisión incluyó aspectos relacionados con el dimensionamiento del sistema productivo, captación de agua, producción de peces por ciclo, caudales de salida del sistema, generación de residuos sólidos, demanda de otros recursos (energía, materiales e insumos para mantenimiento del sistema de producción, alimento para los peces, entre otros). Este tipo de investigación es cualitativa, descriptiva no experimental.

Posteriormente, se llevarán a cabo salidas al campo para la recopilación de información adicional y verificación hallazgos derivados del análisis inicial de datos propios de la empresa. Sin embargo, durante esta etapa no se llevará a cabo caracterización fisicoquímica de entradas y salidas del sistema productivo, puesto que dicha actividad hará parte de la siguiente etapa del proyecto.

Determinación de los parámetros zootécnicos de producción de peces en un sistema de recirculación de agua.

Los parámetros zootécnicos que se evaluarán son peso final, conversión, mortalidad, ganancia diaria de peso, consumo diario y acumulado, así mismo se realizará la caracterización del sistema productivo en cuanto a área de producción (estanques, espejo de agua) densidad de siembra y densidad final, de acuerdo con la metodología de Méndez (1999). Se realizarán análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre los datos obtenidos en las evaluaciones de los parámetros obtenidos de la actividad productiva.

Marco legal

1. Ministerio de ambiente y desarrollo – resolución 1256/21; “Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones”.
2. Ley 101 de 1993 – ley general de desarrollo agropecuario y pesquero “proteger el desarrollo de las actividades agropecuarias y pesqueras, y promover el mejoramiento del ingreso y calidad de vida de los productores rurales”.
3. Ley 99 de 1993 -Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones
4. Decreto 1090 de 2018 - "Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones “. El Decreto N° 2811 de 1974 y La Ley N° 13 de 1990 - definen la acuicultura como “el cultivo de organismos hidrobiológicos con técnicas apropiadas, en ambientes naturales o artificiales, y generalmente bajo control”.
5. la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París de la Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático han planteado la necesidad de establecer metas para el desarrollo sostenible de la pesca y la acuicultura, como estrategia alternativa de seguridad alimentaria.

Resultados.

A continuación, se muestran los resultados de caracterización y parámetros zootécnicos obtenidos de un ciclo productivo en los 8 estanques de producción con que cuenta la producción piscícola participante en este estudio.

Tabla 1. Parámetros productivos obtenidos en un ciclo de producción.

| Estanques | Área del estanque | Número de animales sembrados | Número de animales cosechados | Días de cultivo | Kilos brutos | Consumo total kg | Mortalidad total | % mortalidad | Peso promedio animal gr | Conversión bruto |
|-----------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|--------------|-------------------------|------------------|
| E1 | 2813 | 15500 | 13561 | 179 | 6167 | 8455 | 1938 | 0,13 | 4 54,73 | 1,38 |
| E2 | 1630 | 17408 | 11548 | 253 | 4790 | 6445 | 5860 | 0,34 | 414,79 | 1,35 |
| E3 | 2247 | 11400 | 10096 | 179 | 4977 | 6537 | 1304 | 0,11 | 493,06 | 1,31 |
| E4 | 3200 | 19600 | 16568 | 145 | 5159 | 11929 | 3032 | 0,15 | 311,38 | 2,31 |
| E5 | 2818 | 22260 | 18580 | 228 | 8225 | 11929 | 3680 | 0,17 | 442,68 | 1,45 |
| E6 | 2103 | 28583 | 17411 | 251 | 7312 | 9254 | 11172 | 0,39 | 420,00 | 1,27 |
| E7 | 3200 | 10550 | 8000 | 190 | 4776 | 11929 | 2550 | 0,24 | 597,00 | 2,50 |
| E8 | 3000 | 11000 | 10917 | 210 | 4332 | 6009 | 686 | 0,06 | 396,81 | 1,39 |

En la tabla 1 se observa la caracterización de los 8 estanques piscícolas evaluados en el estudio, junto con el resultado de los parámetros productivos obtenidos en un ciclo productivo de Tilapia Roja, en esta tabla se observan datos de área del estanque, número de animales sembrados, animales cosechados, días de cultivo, Kilos Brutos producidos, consumo total del lote, mortalidad total y % de mortalidad, peso promedio y conversión; los límites inferiores y superiores que encontramos en los parámetros son, Área del estanque 1630 (E2), 3200 (E4, E7), número de animales sembrados 10550 (E7), 28583(E6), número de animales cosechados 8000 (E7), 18580 (E5), días de cultivo 145 (E4), 253 (E2), Kilos brutos 4332 (E8), 8225(E5), consumo total 6009 (E8), 11172 (E6), Mortalidad 0.06 (E8), 0.39 (E6), Peso promedio 311 (E4), 597 (E7), conversión 1,27 (E6), 2,50 (E7),

Tabla 2. Estadística descriptiva

| Estadística descriptiva | | | | | |
|--------------------------------|----------|---------------|---------------|--------------|-----------------------|
| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. estándar |
| Área de estanque | 8 | 1630 | 3200 | 2626,38 | 570,695 |
| Número de animales sembrados | 8 | 0 | 3 | 0,63 | 6324,116 |
| Número de animales cosechados | 8 | 8000 | 0 | 0,13 | 3828,849 |
| Días de cultivo | 8 | 145 | 253 | 204,38 | 38,075 |
| kilos Brutos | 8 | 4332 | 8225 | 38,075 | 1391,740 |
| Consumo total Kg | 8 | 6009 | 11929 | 9060,88 | 2607,941 |
| Mortalidad total | 8 | 686 | 11172 | 3777,75 | 3383,717 |
| % de mortalidad | 8 | 0,06 | 0,39 | 0,1989 | 0,11463 |
| Peso promedio animal gramos | 8 | 311,38 | 597,00 | 441,3064 | 82,04304 |
| Conversión peso bruto | 8 | 1,27 | 2,5 | 1,6195 | 0,49021 |

En la tabla (2) se observan los datos de estadística descriptiva obtenidos de las diferentes variables de los estanques.

Área del estanque, mínimo (1630), máxima (3.200), media de (2626,38), desviación estándar de (570,695).

Animales sembrados, mínimo (10550), máximo (28.583), media (17037,63), desviación estándar (6324,116).

Número de animales cosechados, mínimo (8.000), máximo (18.580), media (13335,13) desviación estándar de (3828,849).

Días de cultivo, mínimo (145) máximo (253), media (204,38), desviación estándar (38,075).

Kilos brutos, mínimo (4.332) máximo (8.225) media (38,075), desviación estándar (1391,740).

Consumo total en kilogramos (6009) máximo (11.929), media (9060,88), desviación estándar de (2607,941).

Mortalidad total, mínimo (6,86), máxima (11172), media (3777,75), y la desviación estándar (3383,717).

Porcentaje (%) de mortalidad, mínimo (0,06) máxima (0,39), media (0,1989), desviación estándar (0,11463).

Peso promedio de animal (gr), mínimo (311,38) máximo (597,00) media (441,3064) desviación estándar (82,04304).

Conversión, mínimo de (1,27) máximo (2,50), media (1,6195) desviación estándar (0,49021).

Tabla 3. *Correlación de variantes*

| | | Correlaciones | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------|------------------|------------------|--------------|-------------------------|-----------------------|
| | | Área del estanque | Numero de animales sembrados | Numero de animales cosechados | Días de cultivo | Kilos brutos | Consumo total kg | Mortalidad total | % Mortalidad | Peso promedio animal gr | Conversión peso bruto |
| Área del estanque | Correlación de Pearson | 1 | -0,319 | -0,012 | -0,681 | -0,080 | 0,581 | -0,566 | -0,606 | 0,058 | 0,669 |
| | Sig. (bilateral) | | 0,441 | 0,977 | 0,063 | 0,851 | 0,131 | 0,143 | 0,111 | 0,892 | 0,070 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Numero de animales sembrados | Correlación de Pearson | -0,319 | 1 | ,880** | 0,456 | ,774* | 0,334 | ,849** | 0,614 | -0,450 | -0,251 |
| | Sig. (bilateral) | 0,441 | | 0,004 | 0,256 | 0,024 | 0,419 | 0,008 | 0,105 | 0,263 | 0,549 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Numero de animales sembrados | Correlación de Pearson | -0,012 | ,880** | 1 | 0,171 | ,814* | 0,428 | 0,497 | 0,188 | -0,609 | -0,211 |
| | Sig. (bilateral) | 0,977 | 0,004 | | 0,685 | 0,014 | 0,291 | 0,210 | 0,657 | 0,109 | 0,617 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Días de cultivo | Correlación de Pearson | -0,681 | 0,456 | 0,171 | 1 | 0,363 | -0,287 | 0,663 | 0,658 | 0,060 | -0,573 |
| | Sig. (bilateral) | 0,063 | 0,256 | 0,685 | | 0,376 | 0,490 | 0,073 | 0,076 | 0,887 | 0,138 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Kilos bruto | Correlación de Pearson | -0,080 | ,774* | ,814* | 0,363 | 1 | 0,451 | 0,500 | 0,266 | -0,063 | -0,314 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Consumo total kg | Sig. (bilateral) | 0,851 | 0,024 | 0,014 | 0,376 | | 0,263 | 0,207 | 0,524 | 0,882 | 0,449 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Correlación de Pearson | 0,581 | 0,334 | 0,428 | -0,287 | 0,451 | 1 | 0,111 | 0,120 | 0,094 | 0,704 |
| Mortalidad total | Sig. (bilateral) | 0,131 | 0,419 | 0,291 | 0,490 | 0,263 | | 0,794 | 0,777 | 0,826 | 0,051 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Correlación de Pearson | -0,566 | ,849** | 0,497 | 0,663 | 0,500 | 0,111 | 1 | ,905** | -0,166 | -0,243 |
| % Mortalidad | Sig. (bilateral) | 0,143 | 0,008 | 0,210 | 0,073 | 0,207 | 0,794 | | 0,002 | 0,695 | 0,563 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Correlación de Pearson | -0,606 | 0,614 | 0,188 | 0,658 | 0,266 | 0,120 | ,905** | 1 | 0,081 | -0,043 |
| Peso promedio animal gr | Sig. (bilateral) | 0,111 | 0,105 | 0,657 | 0,076 | 0,524 | 0,777 | 0,002 | | 0,849 | 0,920 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Correlación de Pearson | 0,058 | -0,450 | -0,609 | 0,060 | -0,063 | 0,094 | -0,166 | 0,081 | 1 | 0,186 |
| Conversión peso bruto | Sig. (bilateral) | 0,892 | 0,263 | 0,109 | 0,887 | 0,882 | 0,826 | 0,695 | 0,849 | | 0,659 |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Correlación de Pearson | 0,669 | -0,251 | -0,211 | -0,573 | -0,314 | 0,704 | -0,243 | -0,043 | 0,186 | 1 |
| Conversión peso bruto | Sig. (bilateral) | 0,070 | 0,549 | 0,617 | 0,138 | 0,449 | 0,051 | 0,563 | 0,920 | 0,659 | |
| | N | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En la tabla se observa que, entre las variables, números de animales sembrados y número de animales cosechados presentando una correlación estadísticamente significativa de 0,880, (bilateral, p 0,01) lo que nos indica que a mayor cantidad de peces sembrado tenemos más cantidad de peces cosechados.

El valor estadístico de números de animales cosechados y kilos brutos existe una correlación significativa de 0,774 (bilateral, 0,05) lo que se nos indica que a mayor número de animales cosechados tenemos mayor cantidad de kilos brutos.

El valor estadístico en el número de animales sembrados y mortalidad total, existe una correlación significativa de 0,849 (bilateral p 0,01) lo cual nos indica, que a mayor número de animales sembrados mayor es la mortalidad.

El valor estadístico de % de mortalidad y el número de mortalidad total, existe una correlación significativa de 0,905 (bilateral de p 0,01) lo que significa lo que nos indica que a mayor cantidad de peces el % de mortalidad total se incrementa.

Discusión

La producción de tilapia en la explotación piscícola mediante el sistema de recirculación RAS, se puede observar que, a mayor cantidad de animales cosechados, comparado con la cantidad de animales sembrados presenta una correlación significativamente alta, lo anterior se debe a que no necesita mayor energía por ser “poiquiloterms” y por ser resistentes a enfermedades y facilidad de alimentación según (navarro 13), además por poseer la capacidad de adaptación a los diferentes cambio de la calidad del agua y altos rangos de tolerancia según lo describe Saavedra (2006).

El número de animales cosechados comparado con los kilos brutos presentan una correlación significativa de 0,774 (bilateral, 0,05) lo que se nos indica que a mayor número de animales cosechados tenemos mayor cantidad de kilos brutos, lo anterior según la teoría de (lansur y Brit,1997; Schuster y Stelz 1998) se debe a que el crecimiento de los peces es mayor en estos sistemas RAS, debido a la mejora de las condiciones del agua, la disponibilidad de alimento y por ende la reducción de las perdidas energéticas en busca del alimento.

Con respecto al porcentaje (%) de mortalidad observamos que la combinación de densidad de siembra (17411) varió en un 39% siendo el más alto en el estanque (E6) en (251) días de cultivo, comparado con el estanque (E8) con una densidad de animales cosechado (10917) en (210) días de cultivo , presentando el porcentaje más bajo (0,06), lo que indica que a mayor número de animales en sembrados, mayor es el número de porcentajes de mortalidad, considerado en esta investigación que la mortalidad se puede presentar por condiciones de confinamiento elevadas o manejo del cultivo causado por estrés en los peces, (Aly, Mohamed & John, 2008; Conte, 2005).

Peso, Producción

Los parámetros de producción analizados en la investigación en ocho estanques (8) se observan en gran parte en el número de siembra de animales con pesos promedios de animal / gramos de todos los estanques, siendo el estanque (E7) con área de (3200) metros, y (8000) animales cosechados en (190) días de cultivo, con porcentaje (%) de mortalidad (0,24), estando este relativamente entre los más altos, presenta una ganancia de peso promedio animal (597) en comparación con los demás estanques, arrojando una conversión en peso bruto (2,50) comparado con los estanques (E4, E5,) con el mayor número de consumo en kg, sin embargo el (E4) con igual número de consumo de alimento, menor días de cultivo (145) mayor área presenta el promedio de peso animal gr más bajo en comparación con los demás estanques.

Conclusiones

El sistema de recirculación en acuicultura se ha convertido en una estrategia y alternativa para el cultivo de peces en relación a los sistemas tradicionales, porque permite un sostenimiento constante del flujo del agua mediante el funcionamiento del biofiltro y la remolición de sólidos, según (Timmons et al 2009)

Reduce la contaminación del medio ambiente y disminuye la propagación y trasmisión de enfermedades, además permite determinar los valores de las variables que intervienen en el sistema, mediante evolución como; el crecimiento, valores de peso, consumo de alimento diario, al igual que la reducción del consumo del agua comparado con otros sistemas.

Las variables en cuanto a producción excepto el estanque (E4) la producción se encuentra en general en los rangos idóneos establecidos en la piscicultura, en comparación con los estanques (E1, E2, E5, E6, E7, E8) resaltando que el estanque (E3) presenta un promedio de peso alto y bajo consumo de kilos bruto.

La variable del porcentaje (%) de mortalidad puede estar relacionado con la cantidad de animales sembrados con respecto al área o incluso al balance de las dietas.

Los parámetros utilizados en la producción de la tilapia en sistemas de recirculación (RAS) permite calcular el consumo de alimento diario para obtener el peso promedio de cada animal en relación a los días de cultivo, permitiendo el incremento notable de la productividad con independencia de las condiciones climáticas y por ende incrementar el índice de conversión de los alimentos.

La variante de factor de ganancia promedio en los resultados de parámetro reproductivos indica diferencia significativa en el estanque (E7) demostrando que los peces presentaron una

conversión alimenticia menor en combinación con la densidad de (8000) peces en 6 meses y 10 días

Recomendaciones.

Tener en cuenta el área de siembra con la densidad de animales para evitar el alto porcentaje (%) de mortalidad, incluir en la producción dietas balanceadas que proporcionen aumento de peso diario Kg.

Implementar buenas prácticas en el proceso productivo en el uso eficiente del agua.

Contratar personal profesional para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos del sistema RAS y por ende la existencia de las condiciones óptimas para el desarrollo y crecimiento de los peces cultivados.

Implementar las técnicas en la producción acuícola bajo los estándares de calidad, normatividad legal vigente y buenas prácticas de bienestar animal, y comercialización.

Enfocar el uso de los sistemas de recirculación del agua en explotaciones acuícola a pequeños y medianos productores, con el fin de contribuir cada día con el medio ambiente y minimizar la contaminación en las fuentes hídricas

Identificar los procesos y etapas del sistema tomando como punto de partida el análisis de los datos registrados por la piscícola desde el inicio de su operación, hasta la etapa final de producción incluyendo aspectos relacionados con el dimensionamiento del sistema productivo, captación de agua, y producción de peces por ciclo.

Con aras de mejorar la producción se le recomienda al productor monitorear constantemente los parámetros de la calidad del agua, siendo estos indispensables en el manejo, al igual que en la reproducción y producción, separar los peces por rango de peso y etapa de crecimiento.

Con base a los resultados del estudio se recomienda tener en cuenta la densidad de peces por metro³ para garantizar la producción dentro del tiempo establecido (6 meses), con el fin de no incrementar gastos

Bibliografía.

- Ariza, F. G. (21 de 06 de 2019). *Tecnología Biofloc (BFT), una alternativa sostenible para el desarrollo de la acuicultura*. Obtenido de Rev., Ingeniería y Región.
- Cameron Escobar, G. (15 de agosto de 2018). *Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva para la producción de tilapia roja (Oreochromis mossambicus) en el departamento del Huila, Colombia*. Obtenido de Revista de Investigación, Desarrollo e innovación: <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8504>
- Cárdenas Calvachi, G. L. (06 de 2015). *Nitrógeno en aguas residuales: origen, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007&lng=en&tlng=es.
- Carvajal Echeverri, J. (2014). *Comparación de parámetros zootécnicos y de calidad de agua de tres sistemas de precria de tilapia roja (Oreochromis spp.) en el municipio de Puerto Triunfo*. Obtenido de http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1511/1/Parametros_zootecnicos_calidad_agua_sistemas_precria_tilapia_roja.pdf
- Eslava Mocha, P. (2009). *Principales problemas sanitarios de peces de aguas cálidas de Colombia: Aproximación a la situación sanitaria e la Piscicultura Comercial*. Obtenido de <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1586>
- Flórez Navas, A. (2013). *Diagnóstico de la Acuicultura de recursos limitados (AREL) de la Acuicultura de la micro y pequeña empresa (AMYPE) en América Latina*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/field/009/as235s/as235s.pdf>

- García Pulido, D., & Gallego Alarcón, I. (06 de 201). *Evaluation of a water recirculation and conditioning system in trout farming*. Obtenido de Tecnologías de ciencias del agua:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000200006
- García Osorio, G. (2018). *Evaluación de las características fisicoquímicas del agua en la piscícola de Asojuncal - Huila, Asociados al ciclo de producción de la Tilapia Roja*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/20945>
- Guevara Porras, M. C. (s.f.).
- Hargreaves, J., & Craig S, T. (2002). *Measuring Dissolved Oxygen Concentration*. Obtenido de http://counties.agrilife.org/liveoak/files/2011/07/Measuring_Dissolved_Oxygen_Concentration_7.pdf
- Ingle de la Mora, G., & Villareal Delgado, E. (2003). *Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972003000400001
- James M, E., & Michael B, T. (2006). *Análisis de ingeniería de la estequiometría de la eliminación foto autotrófica, autótrofa y heterótrofa de amoníaco-nitrógeno en sistemas acuícolas*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484860600216X#>
- Lozada Farías, J. (2019). *Evaluación del sistema de recirculación de agua en la crianza de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la costa de la región La Libertad*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4610>

- Mazo Mesa, M. (2021). *Sistemas de acuaponia artesanal y eficiencia productiva de trucha en temas de recirculación en estanques circulares de Geomenbrana*. Obtenido de <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2956/1/20131338%20.pdf>
- Méndez Pedroza, N. (06 de 2021). *Gestión ambiental y desarrollo agropecuario sostenible*. Obtenido de UNAD/2020- (Grupo de investigación INUYMACIZO- Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuaria y del Medio Ambiente: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/download/4664/4435#page=101>
- Merino, M. C., Bonilla, S. P., Bagues, F., & Flores N, A. (2013). *Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36592>
- Meyer, D. (2104). *Introducción a la acuicultura*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/2490>
- Montaña, C. A. (2009). *Crecimiento y sobrevivencia en el levante de alevinos de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) en sistemas cerrados de recirculación de agua*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/397>
- Ortega Lara, O., Amado, A., Córdoba Rojas, D. F., & Barbosa, L. S. (2015). *Avance de acuicultura y pesca en Colombia vol. I*. Obtenido de <https://www.aunap.gov.co/download/avances-de-acuicultura-y-pesca-en-colombia-vol-i/>
- Ríos, J. A., Posada, J., & Uribe de Bedout, J. F. (2011). *Revisión e identificación de tratamientos para la determinación del potencial de recirculación de aguas residuales industriales*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5001681>
- Roselien, C. (14 de 1 de 2014). *Nitrogen removal techniques in aquaculture*. Obtenido de <https://www.ecowin.org/pdf/documents/Aquaculture%20N%20removal.pdf>

- Valenzuela Vargas, R., Martínez, P., & Arévalo, J. J. (2017). *Evaluación preliminar de un sistema de recirculación de aguas para un prototipo implementado en la producción de tilapia roja (Oreochromis sp.)*. Obtenido de <https://doi.org/10.25054/22161325.1737>
- Vega Amaya, L. P. (2021). *Revisión de condiciones base para la implementación de recirculación de agua en un sistema de producción piscícola ubicado en el Municipio de Rionegro –Santander*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/40514>
- Villegas, L. M. (2021). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el*. Obtenido de <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/3185/1/20162114.pdf>