

DISEÑO, MONTAJE Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO, UTILIZANDO LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN ACUÍCOLA

Chamorro Legarda, E.¹; Morillo Noguera, M. ¹; Burbano Criollo, E. ¹; Casanova Díaz, D. ¹; Mejía Morán, E. ¹; Pecillo Nupan, E. ¹; Zamora Sarasty, D. ¹; Angulo Almeida, G. ¹; Sánchez Ortiz, I.A.*²

Design, construction and preliminary evaluation of an aquaponic system performance, using lettuce (*Lactuca sativa*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a recirculating aquaculture system

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación formativa se diseñó, construyó y evaluó de manera preliminar el desempeño de un sistema acuapónico con lechuga (*Lactuca sativa*) con el fin de ayudar a remover los contaminantes del agua y así mejorar la calidad del líquido en el sistema de recirculación para cultivo de trucha arco iris. El sistema comprendió una caja de nivel constante; tres (3) canaletas para el cultivo acuapónico con 10, 15 y 20 plántulas por m²; un tanque de cultivo para trucha arcoíris, un prefiltro, un biofiltro y un tanque de succión. Los puntos de muestreo del líquido fueron las salidas de cada canaleta de cultivo, del prefiltro, del biofiltro, del tanque de cultivo y la caja de nivel constante. Los valores de oxígeno disuelto y pH permanecieron dentro de los límites recomendados para los cultivos; el sistema mostró su capacidad para remover sólidos suspendidos, turbiedad y color aparente y se evidenciaron heterogeneidades en cuanto al desempeño de remoción de DQO, nitritos y nitratos. Se obtuvo un crecimiento 1,15 g/d en *O. mikyss* y una conversión alimenticia de 1,43 para dicho sistema; la lechuga registró dificultades de crecimiento por falta de iluminación. Se recomienda efectuar estudios para periodos de tiempo mayores y con mayor frecuencia en el monitoreo de los parámetros que determinan las eficiencias de remoción de contaminantes del agua importantes para los cultivos y el vertimiento de aguas residuales.

Palabras Clave: Acuicultura; sistemas de recirculación, acuaponía

ABSTRACT

In this formative research work there were designed, constructed and preliminarily evaluated the performance of a lettuce (*Lactuca sativa*) aquaponic system with the purpose of remove the water pollutants and improve the liquid quality in a recirculating aquaculture system for rainbow trout farming. The system comprised a constant water level box; three (3) channels for aquaponic farming with 10, 15 and 20 seeding for m²; a rainbow trout farming tank; a pre-filter, a biofilter and a

¹ Estudiante IX Semestre Programa Ingeniería en Producción Acuícola, Periodo B de 2011

^{2*} I.C. Esp. M.Sc. Profesor Asistente Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño

sump tank. The sampling points were the outlets of the aquaponic farming channels, the pre-filter, the biofilters, the fish farming tank and the constant water level box. The dissolved oxygen and pH values remained between the recommended limits for the cultures; the system showed their capacity for suspended solids, turbidity and apparent color removal and there were registered heterogeneities for the COD, nitrite and nitrate removal performance. It was obtained a growth of 1,15 g/d on *O. mikyss* and a food conversion ratio of 1,43 for its system; the lettuce registered some growing difficulties through lack of illumination. It's recommended to do studies for longer periods and more frequent parameters monitoring for the parameters that represents removal efficiency of important pollutants of water culture and the wastewater dumping.

Key Words: Aquaculture, recirculating systems, aquaponics

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de recirculación acuícola (SRA) son maneras eficaces de aprovechar el recurso hídrico y evitar la contaminación de cuerpos de agua con sub productos procedentes de la acuicultura, la acuaponía por su parte aprovecha los nutrientes disueltos en el agua para el cultivo de especies vegetales; los peces excretan nitrógeno a través de las branquias en forma de amoníaco, este es tóxico para los peces pero el nitrato es inofensivo y es la forma de nitrógeno preferida por las plantas.

En un SRA es importante resaltar el manejo de los desechos, sin embargo dentro de este tipo de sistemas se reduce el volumen de descarte de 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 SRA.

Los objetivos del presente proyecto de investigación formativa, desarrollado por parte de los estudiantes de IX semestre del Programa Ingeniería en Producción Acuícola, como parte de sus actividades académicas de la asignatura "Profundización en diseño de instalaciones acuícolas" fueron: diseñar, instalar y evaluar preliminarmente el desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga y trucha arcoíris en un sistema de recirculación acuícola. Con base en el montaje del sistema se monitorearon algunos parámetros de calidad del agua para verificar si parte de los residuos generados por el cultivo de trucha como sólidos, materia orgánica y nutrientes fueron removidos por el prefiltro, y el cultivo acuapónico de lechuga.

Contaminación de la acuicultura

El uso de recursos y el proceso de producción de la actividad acuícola tienen diversos impactos sobre el medio ambiente. Los productos de la excreción de los organismos en cultivo son dispersados por las corrientes, en tanto que los sólidos, como el alimento no ingerido y heces, se depositan en el fondo de los cuerpos receptores.

Se ha estimado en diferentes regiones, organismos y sistemas de cultivo, que más del 60% del fósforo (P) y el 80% del nitrógeno (N), aportado por los desechos de las especies cultivadas, termina, finalmente en la columna de agua. Estos cambios en la columna de líquido incluirán aumento en los niveles de nutrientes; aumento de la materia orgánica disuelta; reducción de la concentración de oxígeno disuelto; alteración del pH y los niveles de conductividad y transparencia del agua [1].

Del total del alimento suministrado para la producción de salmones cerca de un 25% de los nutrientes son asimilados por éstos, mientras que un 75% a 80% queda en el ambiente de una forma u otra. Una parte importante de estos desechos va al fondo y otro porcentaje queda en la columna de agua. Este aporte y concentración local de nutrientes tiene múltiples efectos ambientales [2].

Pereira y Mercante [3], expresan que el nitrógeno es considerado uno de los nutrientes más importantes en el metabolismo de los ecosistemas acuáticos, debido a su participación en la formación de proteínas, puede actuar como un factor limitante de la producción primaria de estos ecosistemas, y bajo ciertas condiciones, puede llegar a ser tóxico para los organismos acuáticos. Entre los compuestos de nitrógeno disuelto en el agua, se encuentra la forma ionizada, NH_4^+ , conocido como ión amonio, y la no ionizada, NH_3 , más conocido como el amoníaco. Las dos formas constituyen el nitrógeno amoniacal total (NAT). Cuanto mayor sea el pH, mayor es el porcentaje presente de NH_3 , (forma tóxica).

El amoníaco es un compuesto resultante del catabolismo de las proteínas, que se encuentra en niveles bajos al iniciar un cultivo, cuando la biomasa es todavía baja. Con el aumento de la biomasa, el nivel del amoníaco es mayor, de igual manera su concentración se eleva con el alimento no consumido por los peces. El control de la cantidad y la calidad de los alimentos y un adecuado control del flujo de agua, es de importancia fundamental para el mantenimiento de la calidad del agua en un sistema artificial de cultivo.

Según Boyd [4], los fertilizantes usados en los tanques de cría por lo general contienen nitrógeno en forma de amoníaco y nitrato. La acumulación de estas formas inorgánicas es una de los principales obstáculos para el desarrollo intensivo de la acuicultura. La proliferación de algas, que se producen debido al manejo inadecuado de fertilizantes causa graves problemas de calidad del agua; según Kubitzka [5], las floraciones de algas ocurren porque los fertilizantes que contienen compuestos nitrogenados, como sulfato de amonio, nitrato de amonio, fosfatos y urea, contribuyen a un aumento de concentración de amoníaco en el agua.

De acuerdo con Islam et al [6], la producción mundial de pescado y camarón ha estado en una tendencia cada vez mayor en la última década y en esta tendencia se espera que continúe la alimentación. Del estimado de 131 millones de toneladas de pescado producido en el año 2000 en el mundo casi el 74% (97 millones de toneladas) se utilizó para consumo humano directo. El resto (alrededor del 26%) se utilizó para diversos productos no alimenticios, sobre todo para la fabricación de harina y aceite.

Tratamiento de aguas residuales

La producción acuícola en sistemas abiertos y cerrados requiere un previo tratamiento para el vertimiento hacia el cuerpo de agua receptor, lo cual se logra

mediante la aplicación de técnicas como la biofiltración, garantizando así un aprovechamiento adecuado de los recursos hídricos.

Tratamiento biológico de aguas residuales

Hagopian citado por Pedreira et al [7] menciona que en un sistema de recirculación, se utilizan los biofiltros para reducir las concentraciones de amoníaco a través de la oxidación a nitrato por acción de las bacterias nitrificantes. De acuerdo con Wheaton [8], para el área ambiental de la acuicultura, el nitrógeno es de central preocupación como componente de los residuos generados en el cultivo de peces. En particular, los peces excretan varios productos nitrogenados residuales por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces. La descomposición de estos compuestos nitrogenados es especialmente importante en sistemas de recirculación de acuicultura debido a la toxicidad del amoníaco, nitrito y en algún grado el nitrato.

El proceso de la remoción de nitrógeno amoniacal en un filtro biológico se denomina nitrificación, y consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco primero a nitrito y finalmente a nitrato. También existe un proceso de reducción anaeróbica de nitrato a nitrógeno molecular gaseoso denominado desnitrificación

La nitrificación es un proceso aeróbico, por ende solo ocurre en regiones donde exista oxígeno disuelto disponible (generalmente en la columna de agua y la superficie de los sedimentos).

Según Pereira y Mercante [9], la desnitrificación se produce principalmente en condiciones anaerobias, en los ecosistemas acuáticos el lugar principal de su presencia son los sedimentos, donde no existe oxígeno disponible. La concentración de las formas de nitrógeno amoniacal depende del pH, es así que a un valor menor a 8,5 predomina el NH_4^+ , mientras que prevalece el NH_3 , cuando el pH se encuentra por encima de 10, es decir en un agua alcalina

Factores que afectan a la velocidad de nitrificación

Los principales factores que afectan dicha velocidad son: el Potencial de Hidrógeno (pH); la alcalinidad; la temperatura; el oxígeno disuelto y las concentraciones del propio amoníaco

Biofiltros

De acuerdo con Timmons et al [10], Los sistemas de recirculación a gran escala se han estado moviendo hacia el uso de diversos tipos de biofiltros, entre ellos: Biofiltro percolador; Contactor Biológico Rotatorio (CBR); Biofiltros de Gránulos; Biofiltro de Lecho Fluidizado. En particular los biofiltros de medio fijo son un tipo de biofiltros que consisten de un lecho de medio de soporte sobre el cual se desarrollan bacterias nitrificantes, a través del cual pasa el agua residual ya sea en un flujo ascendente o descendente; en el biofiltro percolador el agua residual fluye hacia abajo por sobre el medio y mantiene la película bacteriana mojada, pero nunca completamente sumergida.

Acuaponía

Según James E. Rakocy en Timmons et al [11], los sistemas acuapónicos son sistemas de recirculación para la acuicultura (SRA), que producen peces y plantas

a la vez. La producción simultanea de peces y plantas es posible dado que los requisitos del sistema para el crecimiento de peces son muy similares a los requisitos para cultivo de plantas: Los SRA están diseñados para cultivar grandes cantidades de peces en volúmenes relativamente pequeños de agua debido a su capacidad de tratar el agua para remover los productos tóxicos y luego reutilizar el agua. Durante el proceso continuo de tratamiento y reutilización, los nutrientes no tóxicos y la materia orgánica se acumulan en el agua. Estos subproductos metabólicos pueden ser de gran valor al ser usados en el cultivo de plantas.

Las plantas crecen rápidamente en respuesta a los altos niveles de nutrientes disueltos que son excretados directamente por los peces o generados por la descomposición bacteriana de los excrementos. En los SRA que operan con un recambio de “agua fresca” menor al 5%, la acumulación de nutrientes disueltos se aproximan a las concentraciones encontradas en soluciones de nutrientes hidropónicas. El nitrógeno, en particular, puede encontrarse a concentraciones muy altas en los sistemas de recirculación. Los peces excretan nitrógeno a través de sus branquias en forma de amoníaco. Las bacterias convierten el amoníaco a nitrito y luego a nitrato. El amoníaco y el nitrito son tóxicos para los peces pero el nitrato es relativamente inofensivo es la forma de nitrógeno preferida por las plantas superiores tales como los vegetales que producen frutas. Es la relación simbiótica entre peces y plantas que la permite que los sistemas acuapónicos sean una alternativa razonable a la hora de diseñar un sistema de recirculación.

En sistemas acuapónicos, las plantas recuperan un porcentaje sustancial de los nutrientes, por consiguiente reducen la necesidad de descargar agua al ambiente e incrementan la vida útil del líquido al asimilar los nutrientes disueltos a través del crecimiento de las plantas, por ello la tasa de intercambios puede reducirse.

La mayor desventaja de los sistemas acuapónicos es la gran proporción de área destinada para el cultivo de las plantas en comparación al área destinada para el cultivo de los peces. Las proporciones varían entre 2:1 a 10:1 o más dependiendo del grado de eliminación de sólidos, con proporciones mayores utilizadas cuando la eficiencia de la eliminación de sólidos es reducida.

La solución nutritiva en cultivos hidropónicos

La solución nutritiva es el medio del cual las plantas tomarán los nutrientes que requieren para su crecimiento y manutención puesto que en un cultivo sin tierra como el hidropónico, se añade los nutrientes necesarios, dentro de una solución diluida en agua, en diferentes concentraciones; por tanto, es el elemento más delicado y más importante dentro de sistemas de hidroponía, y el buen resultado depende en gran parte de las características químicas de la solución [12].

Un invernadero se utiliza para controlar los factores climáticos como son luz, humedad y también para que las lluvias presentes no afecten la calidad del producto cultivado, además de reducir la incidencia de plagas y enfermedades, como lo afirman Turner y Henry [13]. Tales autores explican cómo se han ideado diferentes métodos por diversos investigadores, para solucionar el problema de la variación de luz y temperatura. Indica que es posible aumentar y disminuir la concentración de las soluciones de nutrientes al grado necesario para que las plantas puedan absorber la solución que se requiere en el momento. Esto se fundamenta en el principio de ósmosis, que es el medio por el que los nutrientes

entran a la planta. De este modo se puede deducir la cantidad de elementos nutritivos durante fases de cultivo con variación en la irradiación de luz.

Fossati [14], manifiesta que otro factor que afecta al comportamiento del ciclo productivo es la intensidad de luz la cual bien manejada permite acortar el ciclo de cultivo y mayor desarrollo vegetativo.

Requerimientos de calidad de agua para el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) bajo condiciones controladas.

Según Blanco [15], la trucha arcoíris se desarrolla eficazmente en condiciones controladas bajo rangos óptimos como los siguientes: Temperatura (°C): 9–17; O.D. (mg/L): > 5,5; pH: 6–9; Nitratos (NO₃) (mg/L): 0–11; Nitritos (NO₂) (mg/L): 0–0,001; Amoníaco (NH₄) (mg/L): 0–0,001; Materias en suspensión (mg/L): < 30.

En cuanto a concentraciones habituales en las aguas procedentes de una piscifactoría, algunos de los valores típicos presentados por la misma autora son: DBO (mg/L): 3–20; Amoníaco (mg/L): 0,2–0,5; Nitrógeno total (mg/L): 0,5–4; Fósforo total (mg/L): 0,05–0,15; Materias en suspensión (mg/L): 5–50.

Generalidades de la Lechuga (*Lactuca sativa*)

Según Kamuez y Sánchez [16], La lechuga es una de las principales hortalizas en Colombia de origen asiático; se cultiva desde el nivel del mar, hasta los 2600 m de altura. En Colombia se tienen variedades para climas medio y frío; la temperatura media óptima para el desarrollo normal de la parte aérea aprovechable es de 15 a 18°C, con máximas de 21°C y mínimas de 7°C. Tales autores concluyeron que en condiciones de cultivo en sustrato sin tierra, la variedad Blanca lisa presentó rendimientos económicos con una rentabilidad de 436,8% en un área de 31.7 m².

METODOLOGÍA

Localización

El proyecto se realizó en el Laboratorio de Especies Vivas del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño municipio de Pasto-Nariño.

Materiales

En el proyecto se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- 1 Unidad de cultivo con capacidad efectiva de 175 litros
- 3 canaletas en aluminio de capacidad efectiva de 125 litros
- 1 Unidad de biofiltración
- 1 Prefiltro
- 1 Caja de nivel constante en acrílico
- 1 Bomba sumergible con flotador con capacidad de ½ hp
- Material biológico: 100 truchas arcoíris de 20 g y 250 plántulas de lechuga de 2,85 g.
- Reactivos y vidriería para ensayos de calidad de agua
- Equipo HACH DR-850
- Equipo para DQO DRB-200
- Alimento: concentrado 48 % proteína
- Medio soporte para lechuga (Icopor)

- Medio filtrante (roca partida)

Montaje del Sistema Acuapónico

Se dispuso en primera instancia el tanque de cultivo, seguido de un prefiltro y un biofiltro que descarga el efluente tratado en un tanque de succión, la tubería entre las unidades fue de $\frac{3}{4}$ ", posteriormente se realizó el bombeo del agua hasta una caja de nivel constante en tubería de 1 pulgada con ayuda de una electrobomba de $\frac{1}{2}$ hp, para finalmente distribuir un caudal uniforme a las canaletas donde se encuentra el cultivo de lechuga mediante manguera de $\frac{3}{4}$ " (Figura 1).

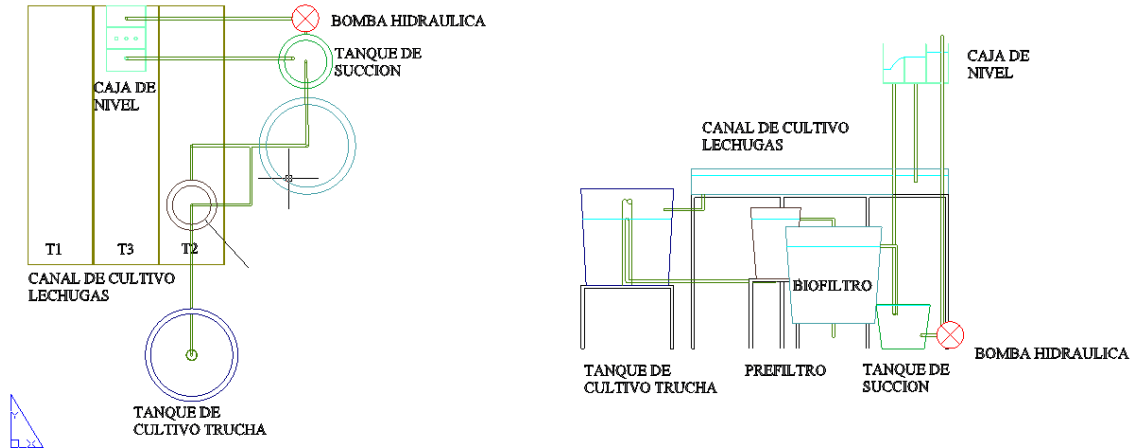


Figura 1. Vista en planta y corte del sistema acuapónico

Adecuación de unidades en el sistema acuapónico

Unidad de cultivo de peces. Se utilizó un tanque plástico negro con capacidad neta de 250 L y se dispuso un volumen efectivo de 175 L. Sobre el tanque se adecuó un sistema de drenaje mediante tubos concéntricos, con el fin de garantizar la evacuación de sólidos suspendidos sedimentables. La tubería externa de 3" presentó sobre la parte inferior una serie de orificios semicirculares, por medio de los cuales el agua junto con los sólidos ascendió hasta la tubería interna de una pulgada que funcionó como control de nivel y vertedero circular para evacuar el efluente hacia la unidad de pre-filtración.

Pre-filtro y biofiltro. El medio filtrante para el pre-filtro y biofiltro se preparó mediante el procedimiento descrito en la norma I.N.V.E.123-07 [17], para el análisis granulométrico de suelos por tamizado. El medio soporte pasante del tamiz $\frac{3}{4}$, cuyas dimensiones fueron verificadas según la Norma Técnica Colombiana (NTC) [18] fue utilizado en el biofiltro, el material retenido se dispuso en el pre-filtro y biofiltro.

Para la unidad de pre-filtración se utilizó un tanque de 52 L y para el biofiltro de 250 L, en las dos unidades el flujo fue en sentido ascendente. Sobre el biofiltro se colocó un cuenco colentor de materia orgánica y una placa en acrílico con agujeros de 1 cm de diámetro para una mejor distribución del flujo sobre el fondo del tanque.

Se instalaron llaves universales a la entrada y salida del pre-filtro y la entrada del biofiltro para facilitar el desmontaje y mantenimiento de las unidades de tratamiento.

Mantenimiento. Se procedió a desmontar las unidades de tratamiento cuando se observó una disminución del caudal, posteriormente el medio filtrante fue lavado con agua de acueducto a presión con ayuda de una manguera y estopas para deposición del material. Para finalizar se procedió a llenar el material en el tanque y acoplamiento de los accesorios PVC en el sistema acuapónico.

Tanque de succión. Se dispuso de un tanque de 38 L de capacidad efectiva, sobre él la succión de 1" de diámetro a través de una electrobomba de ½ hp cuya descarga se realizó a través de tubería de 1" hasta una caja de nivel constante.

Caja de nivel constante. Se elaboró en acrílico, consta de tres (3) cámaras, la primera correspondió a una zona de aquietamiento donde se dispuso una placa con orificios de 7 mm de diámetro para garantizar un flujo homogéneo en la segunda cámara, en ésta se colocó tres mangueras (3/4") para distribución de caudal hacia el cultivo de lechuga. La tercera cámara fue la de excesos en la que mediante una tubería de ¾" se devuelve el líquido hasta el tanque de succión.

Canaletas cultivo de lechuga. Se adecuaron tres canaletas de aluminio, cada una con dimensiones, 0,5 m x 2 m x 0,2 m y un volumen efectivo de 125 L. En el extremo final de la canaleta se colocó un tubo para mantener el nivel y evacuar las aguas hacia el tanque de cultivo. Sobre cada canaleta se colocó icopor como medio soporte para las plántulas de lechuga, las que se distribuyeron a diferentes densidades de siembra de acuerdo a los tratamientos.

Material biológico: Se utilizaron 100 truchas provenientes de la estación piscícola Intiyaco, ubicada en el corregimiento el Encano, municipio de Pasto. Los ejemplares se transportaron en bolsas plásticas y cajas de cartón hasta la Universidad de Nariño como recomendación Wedler (1998) [19].

Siembra de animales. Se realizó la aclimatación de los ejemplares, hasta que las condiciones físico-químicas del agua en que llegaron se estabilice con la presente en el tanque de cultivo, para esto se midieron los parámetros continuamente, por último se sembraron las truchas en el tanque.

Siembra de Lechuga. Se adquirieron plántulas de lechuga de 2,85 g, se procedió a retirar la tierra de su raíz con ayuda de un balde y agua, posteriormente se colocaron en icopor como medio soporte de acuerdo a los tratamientos de diferente cantidad de plántulas/m² (10plántulas/m² para el T1; 15plántulas/m² para el T2 y 20plántulas/m² para el T3), finalmente se ubicaron sobre las canaletas.



Figura 2. Adecuación y siembra de lechugas en el sistema.

Alimento y alimentación de peces. El alimento utilizado fue truchina con un 40% de proteína, el tipo de concentrado utilizado fue peletizado, por lo cual presentaba poco tiempo de flotabilidad en la superficie del agua. El porcentaje de alimentación utilizado estuvo entre el 1 y 2%, se alimentó 1 vez por día, el alimento no consumido se pesó nuevamente para registrar el alimento aparente consumido por los peces. Para el suministro del concentrado se suspendió la aireación para observar el punto hasta el cual los peces aceptaban el peletizado.

MUESTREOS

Muestreo de peces. Esta actividad se realizó al iniciar y finalizar el proyecto con el fin de determinar el incremento de peso. El procedimiento fue el siguiente, se utilizó una balanza gramera con precisión de 0,1 g. Se utilizó anestésico aceite de clavo de olor, este se diluyó en el agua y se introdujeron los animales uno a uno para su posterior pesaje, a continuación se realizó la recuperación de los animales con agua del tanque y abundante aireación.

Muestreo de Lechuga. Se procedió a retirar el medio soporte de las lechugas, se pesaron y midieron con ayuda de una balanza gramera y una regla respectivamente, posteriormente las lechugas se colocaron nuevamente sobre las canaletas.

TOMA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Parámetros diarios. Las variables como pH, OD y temperatura se midieron diariamente en el tanque de cultivo, utilizando una sonda YSI multiparamétrica y un pHmetro digital.

Parámetros semanales. Se realizó la medición de parámetros del agua en la caja de nivel constante, canaletas, tanque de cultivo (efluente bruto), prefiltro y biofiltro, las muestras se tomaron en recipientes plásticos de 1L, las cuales fueron fijadas disminuyendo su PH (<2) con ácido sulfúrico para su posterior análisis. Los parámetros medidos fueron: fósforo, nitrógeno amoniacal total, nitritos.

Los parámetros nitratos, DQO, sólidos suspendidos, turbiedad y color aparente, fueron medidos con equipos de laboratorio tales como: Equipo HACH DR-850, Equipo para DQO DRB-200, colorímetro DR 700 y Turbidímetro.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

VARIABLES PRODUCTIVAS

Incremento de peso

A continuación, en la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para la trucha:

Tabla 3. Resultados obtenidos en el tanque de cultivo de trucha

Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Incremento peso (gr)	Incremento día (gr)
39,78 ± 13,588	74,18 ± 32,1	34,40	1,147

En el presente estudio se observó un incremento de peso de 1,147 g evidenciando condiciones adecuadas en el cultivo. Los valores de incremento de peso se encuentran dentro de los rangos de crecimiento para la trucha. De acuerdo con BLANCO [20] las truchas presentan un crecimiento por día de 1,1 gr; por su parte, en Agrocadenas [21] se reportan crecimientos de 1,11 gr/día.

Conversión alimenticia

La conversión alimenticia en el presente estudio fue de 1,43; de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en los Indicadores de productividad para el año 2004 en diferentes departamentos de Colombia se reporta en promedio una conversión de 1,5. En este aspecto hay que tener en cuenta que los datos reportados para Colombia son a gran escala y el presente cultivo es en pequeños volúmenes y menores cargas. Lo que se traduce a que por cada 1,43 unidades de alimento suministrado se obtiene 1 unidad de carne de trucha.

Carga

La carga reportada durante el proyecto no fue igual que la esperada debido a la mortalidad presentada por los cambios de condiciones ambientales, debido a súbitos cortes de energía eléctrica en las instalaciones de la universidad.

La carga utilizada en el proyecto fue de $3,74 \text{ kg/m}^3$, valor bajo al ser comparado con las cargas reportadas por el Agrocadenas [22] de $44,25 \text{ kg/m}^3$. Se optó por dicha carga debido al bajo recambio utilizado en el sistema ($33\%/hora$) y para esta especie se requieren recambios del 120% por hora [23].

Parámetros fisicoquímicos diarios tomados en el tanque de cultivo.

El oxígeno disuelto medido en el tanque de cultivo registró durante el periodo experimental un valor mínimo de $5,3 \text{ mg/L}$ y un máximo de $5,9 \text{ mg/L}$, así como un promedio de $5,947 \pm 0,36 \text{ mg/L}$.

La temperatura registrada en la unidad de cultivo registró valores que oscilaron entre los 15 y $18,1^\circ\text{C}$, con un valor promedio de $16,6 \pm 0,78^\circ\text{C}$.

El pH en el tanque varió entre los valores de $4,3$ y $6,9$, con un valor promedio de $6,13 \pm 0,47$.

Los valores de tales parámetros se encontraron dentro de los rangos adecuados para el cultivo de la trucha en confinamiento según recomendado por Blanco [24].

1.1. Parámetros de calidad del agua evaluados semanalmente en el sistema

Demanda química de oxígeno (DQO)

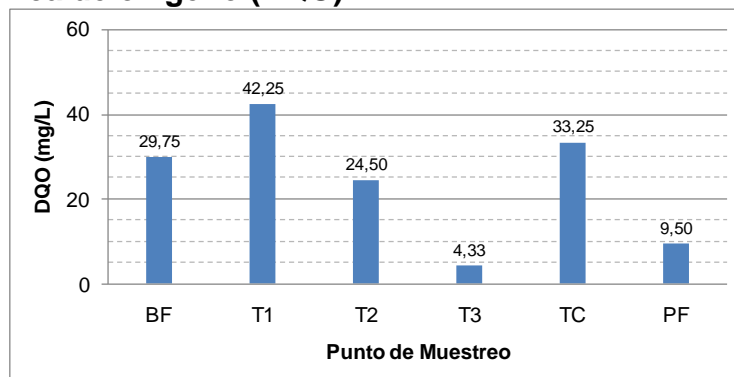


Figura 3. DQO en los diferentes puntos de muestreo.

La Figura 3 muestra que hubo remoción de DQO por parte del prefiltro; sin embargo, el mayor flujo de agua que presentó el tratamiento 1 propició la resuspensión de sólidos tales como pedazos de raíces, residuos de tierra

(provenientes de la tierra adherida a las raíces de las plántulas) y hojas secas. En el tratamiento 1 hubo menor densidad de plántulas ($10/m^2$), reportando una menor densidad de raíces las cuales ejercen un efecto físico de filtración.

Sólidos suspendidos (SS) y Turbiedad

En la Figura 4 se puede observar que la mayor concentración de SS se presentó en el tanque de cultivo, debido a la dinámica de resuspensión de heces y alimento no consumido por el proceso de aireación y el movimiento de los peces.

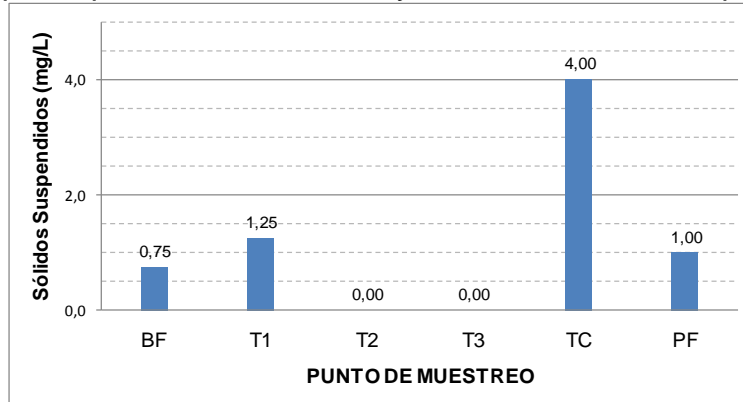


Figura 4. Sólidos suspendidos en los puntos de muestreo.

Ya que en el experimento los tratamientos 2 y 3 registraron mayores dificultades de control de caudal con menores valores que el T1, la fracción sedimentable de los sólidos quedaba acumulada en el fondo de las canaletas

En la Figura 6 se observa que hubo mayor turbiedad en el tanque de cultivo, en consonancia con lo registrado para SS debido a la relación existente con los sólidos en suspensión.

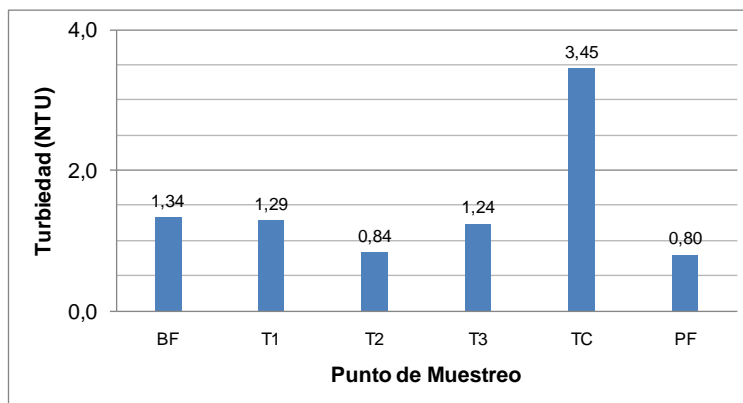


Figura 6. Turbiedad en los puntos de muestreo del sistema.

Color aparente

En cuanto a este parámetro y como lo ilustra la Figura 7, se registraron valores altos en el tanque de cultivo por efectos del alimento y de las excreciones de los animales; en el prefiltro, los elevados valores pudieron deberse a una posible liberación de color por parte del material de soporte debido a su origen mineral (desde la cantera). El biofiltro mostró una ligera remoción de color y en las

canaletas nuevamente hubo un incremento probablemente producido por ligeros residuos de tierra provenientes de las raíces de las plántulas.

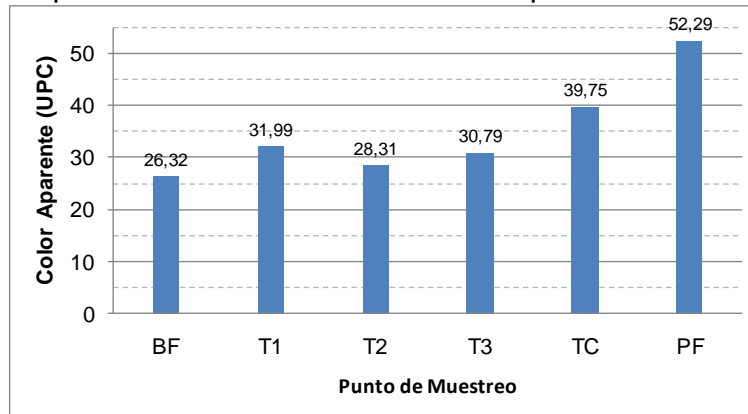


Figura 7. Color aparente en los puntos de muestreo del sistema.

Potencial de Hidrógeno (pH)

Hubo cierta homogeneidad en los valores de pH registrados en los puntos de muestreo, cuyos valores promedios fueron: 6,13 en el TC; 6,07 en el PF; 5,78 en el BF; 6,19 en el T1; 6,21 en el T2 y 6,41 en el T3.

El pH presentó valores menores en el efluente del biofiltro y conservó una relativa homogeneidad en los otros puntos monitoreados. Los valores registrados en el tanque de cultivo se encontraron dentro de los rangos recomendados por la literatura.

Los tratamientos tuvieron una ligera acidez la cual es recomendada para la asimilación de nutrientes para la especie de lechuga, como lo reportan Kamués y Sánchez [25].

Oxígeno Disuelto (OD)

Los valores medios registrados en los puntos de muestreo fueron de 5,95 mg/L en el TC; 5,17 en el PF; 7,43 en el BF; 4,83 en el T1; 6,93 en el T2 y 6,65 mg/L en el T3. Los resultados sugieren que además de la remoción mecánica de sólidos existieron procesos biológicos en el pre-filtro debido al consumo de oxígeno. En el biofiltro se observaron altos niveles de OD debido a que en el punto de muestreo existía turbulencia que favorecía la re-aireación del líquido. En las canaletas debido a la alta superficie de exposición de la interface líquido-gas, se registraron altas concentraciones de oxígeno disuelto, con la particularidad del tratamiento 1 que presentó un mayor flujo y por ende menor tiempo de contacto entre las dos fases.

Nitratos

Aparentemente el prefiltro realizó un proceso de nitrificación al incrementar el valor de los nitratos con relación al tanque de cultivo. Probablemente debido a zonas anóxicas dentro del biofiltro se haya producido una disminución en las concentraciones de éste parámetro y los mayores valores registrados en las canaletas de cultivo de lechuga se pudieron deber a eventual concentración de biopelícula en las paredes de dichas unidades, así como en los soportes de icopor

para las plántulas, en donde también pudo producirse un fenómeno de nitrificación.

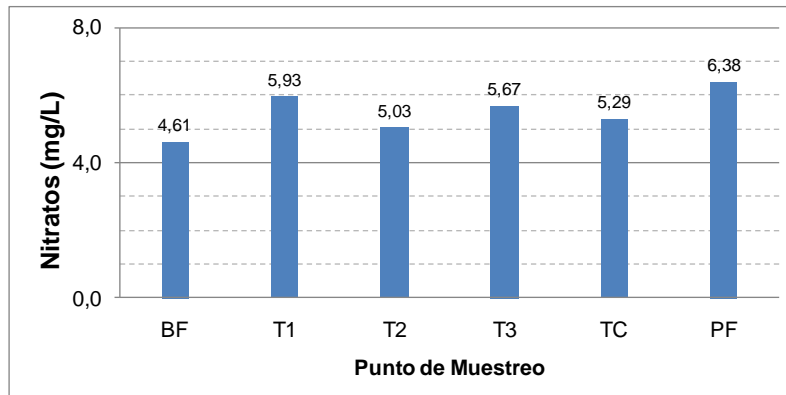


Figura 8. Nitratos en los diferentes puntos de muestreo del sistema.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La ganancia de peso reportada en el presente proyecto fue de 1,147 g/día encontrados dentro de los valores reportados por la literatura.
- El oxígeno disuelto, pH y temperatura se encontraron dentro de los rangos recomendados para la especie.
- La conversión alimenticia aparente fue de 1,43, siendo ligeramente inferior a la comparada con datos de la producción nacional.
- La baja irradiación lumínica limita la absorción de los nutrientes, reduciendo la osmosis de las raíces con el medio nutritivo.
- Los resultados obtenidos indican que el sistema de prefiltro y biofiltro realizaron remoción de color, sólidos suspendidos y nitratos.
- La falta de homogeneidad en el flujo incide en el desempeño de las unidades de tratamiento y en el comportamiento de las unidades de cultivo acuapónico.
- En el pre-filtro el medio filtrante presentó mayor dimensión, menor superficie específica y mayor espacio de vacío respecto al biofiltro donde se dispuso una menor dimensión del medio soporte, mayor superficie específica y menor espacio de vacío
- Incrementar el diámetro de la tubería entre el tanque de cultivo, prefiltro y biofiltro a 1" o incrementar la diferencia de cargas.
- Utilizar válvulas de compuerta en las mangueras de distribución de caudal hacia las canaletas del cultivo de lechuga, así como aumentar la cantidad de válvulas para regulación de caudal.
- No utilizar mangueras translúcidas entre la caja de nivel constante y las canaletas del cultivo de lechuga.
- Evaluar la relación de diámetros para el sistema de drenaje en el tanque de cultivo (Diámetro interno a una pulgada y diámetro externo tres pulgadas)
- Estudiar aspectos sanitarios de las plantas
- Implementar un sistema de desinfección UV.
- Implementar un sistema de by-pass entre pre-filtros y biofiltro

- Recubrir la caja de nivel constante para evitar la formación de algas
- Controlar mediante cálculo preciso los volúmenes de evaporación y muestreo
- Evaluar el fotoperiodo en el sistema acuapónico
- Caracterizar el agua en el sistema acuapónico en términos de micro y macronutrientes

REFERENCIAS

1. Buschmann Alejandro H. Impacto ambiental de la acuicultura, el estado de la investigación en Chile y el mundo, Diciembre 2001. Disponible en Internet: www.terram.cl
2. Ibid.
3. Pereira L.P.; Mercante C.T. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. B. Inst. Pesca, São Paulo, 31(1): 81 - 88, 2005
4. Boyd (1992)
5. Kubitza (1999)
6. Islam, Khan, Masaru y Tanaka. Waste loading in shrimp and fish processing effluents: potential source of hazards to the coastal and nearshore environments. Science direct. Marine Pollution Bulletin 49 (2004) 103–110
7. Pedreira M.M., Luz. R.K., Epaminondas dos Santos. J.C., Sampaio. E.V., Silva. R.F. Biofiltración de agua y tipos de sustrato en la larvicultura de *Lophosilurus alexandri*. Brasília, v.44, n.5, p.511-518, maio 2009.
8. Wheaton (1985)
9. Pereira L.P.; Mercante C.T. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. B. Inst. Pesca, São Paulo, 31(1): 81 - 88, 2005
10. Timmons, M; Ebeling, J. Wheaton, F. Summerfelt, S. y Vinci, B. Sistemas de recirculación para la acuicultura. Fundación Chile. Santiago de Chile. 2002. 748 p.
11. Ibid.
12. Kamuez, N.; Sánchez, O.; Tesis de Grado: Respuesta de dos variedades de lechuga Lactuca a dos soluciones nutritivas y tres mezclas de sustratos en condiciones hidropónicas. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto 1993.
13. Turner, W., Henry, V. Horticultura y floricultura sin tierra. Ed. Unión tipográfica Hispano-Americana. México. 1968. 190 p.
14. Fossati C. Cómo Practicar el Hidrocultivo. Madrid FDAF, 1986.175 p.
15. Blanco C., M. La trucha arcoíris, cría industrial. 2ª ed. Ediciones mundiprensa. 1995. 503 p.
16. Kamuez, N.; Sánchez, O.; Tesis de Grado: Respuesta de dos variedades de lechuga Lactuca a dos soluciones nutritivas y tres mezclas de sustratos en condiciones hidropónicas. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto 1993.
17. I.N.V.E – 123 – 07. Análisis granulométrico de suelos por tamizado. 2007. p 1.

18. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 32. Tejido de alambre y tamices para propósitos de ensayo. 2002. p4.
19. Wedler E., Introducción en la Acuicultura con énfasis en los neotrópicos. Primera Edición., Santa Marta, Col. 1998. p 324.
20. Blanco C., M. La trucha arcoíris, cría industrial. 2ª ed. Ediciones mundiprensa. 1995. 503 p.
21. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; 2005. Observatorio Agrocadenas Colombia, Documento de Trabajo No. 72: La Cadena de la Piscicultura en Colombia una Mirada Global de su Estructura y Dinámica, 1991-2005. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112164315_caracterizacion_piscicultura.pdf
22. Ibid.
23. Blanco C., M. La trucha arcoíris, cría industrial. 2ª ed. Ediciones mundiprensa. 1995. 503 p.
24. Ibid.
25. Kamuez, N.; Sánchez, O.; Tesis de Grado: Respuesta de dos variedades de lechuga Lactuca a dos soluciones nutritivas y tres mezclas de sustratos en condiciones hidropónicas. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto 1993.