

ESTANQUE MULTIPRO. UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE LOS LODOS EN LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA.

Fernández Mera, J.^{1*}; Caicedo Bejarano, J.²

MULTIPRO aquiculture tank. An alternative for the control of the sludge in the production of trout

RESUMEN

Se presenta un resumen de los principales resultados de una investigación dirigida a desarrollar un nuevo modelo de estanque truchícola para un control eficiente de los sólidos y contaminación generados en la producción de trucha. La investigación realizada en diferentes piscícolas del Departamento del Cauca-Colombia indica que las estaciones piscícolas pequeñas tienen un consumo de agua por encima de lo requerido y que aunque las concentraciones de los contaminantes en términos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo son bajas, las cargas contaminantes no lo son, alcanzando a nivel regional valores de 11568, 25961, 1126 y 2779 kg/mes para DBO₅, sólidos suspendidos totales, fósforo y nitrógeno total, respectivamente. Las características de tamaño de partícula y sedimentabilidad indican que pueden ser removidas eficientemente en un estanque con características hidráulicas adecuadas. Se plantea un nuevo modelo de estanque MULTIPRO cuyas características más apropiadas fueron: inclinación de paredes 45°, pendiente mínima de fondo del canal central 1,4% y longitud de estanque óptima de 11 m. Con periodos de limpieza de 48 horas se evita la disolución hasta del: 81,9% del nitrógeno amoniacal total, 79,6% del nitrógeno total Kjeldhal, 97% del fósforo total y 86,5% de los sólidos. Los resultados preliminares también indican que la mayor tasa de crecimiento del pez en el estanque MULTIPRO permite reducir en 21 días el tiempo requerido para alcanzar un tamaño de 250 g/pez en un estanque convencional.

Palabras clave: Lodo de Trucha, Manejo de Sólidos, Contaminación Piscícola, Estanque acuícola.

ABSTRACT

This is a summary of the main results of a research program directed towards the development of a new model of trout fish production tank for efficient removal of solids and control of contamination. The research was performed on different fish farms of Cauca county-Colombia and the results indicated that the small farms have very high water requirements. Even though the effluents have low strength in terms of organic matter, nitrogen, phosphorus concentration, the regional loads are significant: 11568, 25961, 1126 y 2779 kg/mes for BOD₅, total suspended solids, total phosphorus and total nitrogen, respectively. The characteristics of particle size and settleability indicate good

¹ Javier Ernesto, Universidad del Cauca, Calle 5 No. 4 – 70. Tel. (572) 8209900, Ext. 2220, Popayán, Colombia. jefernandez@unicauca.edu.co

² Julia Rosa Caicedo Bejarano; Universidad del Valle., Calle 13 No. 100-00. Tel (572) 3212183, julia.caicedo@correounivalle.edu.co

possibilities for efficient removal in a proper design fish farming tank. A new model (MULTIPRO) was defined with the following optimal characteristics: Wall slope 45°, central channel minimum slope 1,4% and length tank 11 m. Sludge cleaning periods of 48 hours avoid the dissolution of 81,9% of total ammonium nitrogen, 79,6% of total Kjeldhal nitrogen, 97% of total phosphorus and 86,5% of solids. Preliminary results, also indicates that higher fish growth rate in the MULTIPRO, reduced in 21 days the time needed to reach 250 g/fish, in comparison with the conventional tank.

Keywords: Trout Sludge, Nutrients, Solid Management, Fish Contamination, aquaculture tank.

INTRODUCCIÓN

Con la disminución de la captura de peces y la alta demanda de proteína animal, la acuicultura y en especial la piscicultura a nivel mundial han tomado un renovado auge. Colombia no es ajena a esta actividad y viene siendo promovida en los últimos años como una alternativa para el desarrollo rural. La producción piscícola reportó para el año 2003 un total de 28530 toneladas y de 59818 toneladas para el año 2009 [1] [2] mostrando una tasa de crecimiento anual promedio del 9%.

Este marcado incremento en la producción piscícola del país también significa un mayor impacto en los recursos naturales, una mayor producción de desechos, mayor cantidad de recursos hídricos y demandas de alimento [3]. El manejo del agua en la actividad piscícola se considera de vital importancia, es un recurso esencial sin el cual esta actividad no es posible. En este sentido Colombia presenta una gran ventaja respecto de muchos otros países ya que posee uno de los mayores potenciales hídricos en el mundo, $33.630\text{m}^3/\text{año} \cdot \text{persona}$, casi cinco veces mayor a la disponibilidad promedio del mundo que apenas alcanza los $7.700\text{m}^3/\text{año} \cdot \text{persona}$ [4]. Sin embargo no solo la cantidad de agua es un factor importante, también lo es la calidad.

En la producción de trucha tanto la cantidad como la calidad son considerados factores con igual importancia. Un estudio desarrollado en el departamento del Cauca mostró que el promedio de agua utilizado en las estaciones piscícolas trucha, es de $164\text{m}^3/\text{kg-pep}$ [5, 6], valores que son comparables con los reportados en granjas tecnificadas de salmónidos en Noruega y Estados Unidos (66 a $200\text{m}^3/\text{kg-pep}$) ([7, 8]). Sin embargo el estudio [9, 10] mostró que existen diferencias entre las cantidades que usan las pequeñas piscícolas respecto a las medianas y grandes, mientras las grandes usan del orden de $30\text{m}^3/\text{kg-pep}$, las pequeñas utilizan $417\text{m}^3/\text{kg-pep}$ generando un uso menos racional del recurso hídrico. Este mayor consumo del recurso hídrico se debe, entre otras razones, a la falta de infraestructura de control y medición de flujos, bajas frecuencias de mantenimiento de los estanques y la falta de capacitación de los productores sobre temas ambientales [11,12].

Durante el proceso de producción piscícola, se considera inevitable la acumulación de residuos orgánicos y metabólicos en los estanques y criaderos de peces, siendo el volumen de excreta producido por los peces y el alimento no consumido la mayor fuente de residuos orgánicos [13, 14, 15]. Los contaminantes en el efluente de las granjas piscícolas puede dividirse en dos fracciones: sólidos y solubles. Los sólidos se encuentran en forma suspendida en la columna de agua del estanque o se acumulan como sedimento en el fondo. Los desechos solubles se presentan directamente en la

columna de agua como producto de los procesos metabólicos o indirectamente por la liberación o lixiviado de los sedimentos [16, 17, 18].

Tratar los efluentes generados en la producción piscícola no solamente es un problema técnico, también es un problema de manejo. Existen muchas tecnologías para procesar y hasta reciclar los desechos de las granjas piscícolas con el fin de alcanzar las metas de estándares de efluentes, pero los costos son un factor limitante [19], particularmente en los países con menos desarrollo tecnológico, donde estas tecnologías deben ser importadas. El grado de contaminación que presentan estos efluentes puede considerarse como diluido, sin embargo si bien estos efluentes no causan un impacto como el generado por las aguas residuales domésticas e industriales, sí limita el uso de las fuentes superficiales donde son vertidas sin tratamiento [20].

Aunque la concentración de estos efluentes puede considerarse baja comparada con la de aguas residuales domésticas o industriales, su carga contaminante no lo es, lo que limita su tratamiento [21, 22, 23], además del uso de las fuentes superficiales receptoras [24], las cuales son siempre aguas de alta montaña de excelente calidad. En EU, alcanzar los estándares de calidad en los efluentes tratados, aun presenta limitaciones de costo, particularmente para fósforo y nitrógeno, lo que cual muestra la necesidad de más investigación y desarrollo al respecto [25, 26].

Los principales impactos asociados a este tipo de vertimiento incluyen el aumento en la demanda biológica de oxígeno (DBO_5), disminución en concentración de oxígeno disuelto, enriquecimiento con nitrógeno y fósforo que conduce a un excesivo y rápido crecimiento de algas, cambios en la fauna bentónica y en la cantidad y composición de sedimentos, presencia de productos químicos y medicamentos contra parásitos y bacterias patógenas y, eventualmente, la producción de olor [27,28].

Con el fin de proponer alternativas que faciliten el control de la contaminación generada por la cría de trucha, el grupo de investigación en Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca (GIIA) y el Grupo de Control de la Contaminación de la Universidad del Valle, con apoyo de la cadena Piscícola del Cauca, el Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca CREPIC y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, vienen desarrollando un esquema de producción de trucha que mejora el control de la contaminación generada por esta actividad. En el presente documento se incluyen las consideraciones técnicas realizadas y algunos de los resultados sobre los desarrollos de un estanque piscícola (MULTIPRO) para la producción de trucha que además de considerar la producción del pez permite realizar el control sobre los sólidos retenidos en el estanque.

METODOLOGÍA

El presente estudio fue realizado en el departamento del Cauca. Estudios específicos fueron realizados en las piscícolas de Chiliglo ubicada en el Municipio de Purace-Coconuco y en la Piscifactoría el Diviso en Popayán.

En una primera fase el desarrollo del estanque MULTIPRO incluyó una serie de estudios específicos que permitieron consolidar una propuesta para la construcción y evaluación de un prototipo de estanque. Estos estudios incluyeron determinaciones de la calidad y cantidad de los afluentes y efluentes, características de los estanques actuales, características de los sólidos producidos en durante la cría de trucha. Una

segunda fase incluyó la construcción de un prototipo de estanque MULTIPRO. Durante esta fase se incluyeron estudios como la evaluación y modelación de componentes hidráulicos, determinación de modos de operación que incluyó el periodo máximo de retención del lodo dentro del estanque.

RESULTADOS

Calidad y cantidad de agua

La cantidad de agua utilizada fue evaluada en 10 piscícolas del departamento del Cauca, encontrando que los caudales medidos van desde los 40.2 hasta los 460 l/s. La relación entre la cantidad de agua usada con el tamaño de producción se presenta en la Figura 1. Como puede apreciar las piscícolas más pequeñas (producción < 1 ton/mes) hacen un uso más intensivo del recurso hídrico. En ellas la cantidad de agua utilizada, alcanza un valor promedio de 412 m³/kg-pezu, mientras que en el caso de la piscícola más grande (El Diviso) es de 24 m³/kg-pezu. En el caso de El Diviso la reutilización del flujo, el uso de estructuras de control y medición de flujo a la entrada del sistema, la reoxigenación a través de caídas de agua, así como un mantenimiento frecuente de los estanques hacen posible la utilización de estos flujos de agua y las densidades de siembra utilizadas. En general el promedio de agua utilizado en el departamento del Cauca, incluyendo todas las estaciones piscícolas, es de 164 m³/kg-pezu

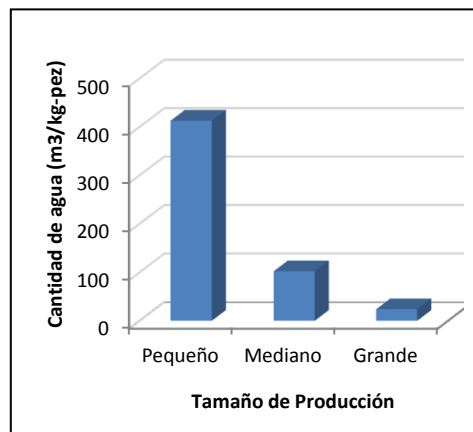


Figura 1 Cantidad de agua utilizada por estación piscícola en el Departamento del Cauca.

La calidad de agua en el afluente de las piscícolas evaluadas presentó valores en DBO₅ en el afluente menores a 2 mg/L, y entre 1 y 5,7 mg/L en el efluente, indicando de una parte una baja contaminación de las fuentes abastecedoras de agua y de otra, un aporte en materia orgánica del proceso al agua efluente.

Un incremento en los sólidos suspendidos totales causado por el proceso de producción se pudo determinar, al incrementarse la concentración promedio de 7,7 a 15,3 mg/L. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo total pasaron de 0,45 y 0,28 mg/L en el afluente a valores de 0,80 y 0,63 mg/L en el efluente respectivamente, indicando incrementos superiores al 78%.

Con base en estas concentraciones se estimaron las cargas contaminantes generadas por las piscícolas de trucha en el departamento del Cauca para DBO₅, sólidos suspendidos totales, fósforo y nitrógeno total, las cuales alcanzaron 11568, 25961, 1126 y 2779 kg/mes respectivamente, lo que representa una población equivalente de 9378 habitantes para la DBO₅, 21853 para los sólidos suspendidos, 26507 para nitrógeno y 34308 habitantes para fósforo total.

Al evaluar el tipo de estanque utilizado se pueden clasificar de acuerdo a la forma (rectangulares, circulares e irregulares) y al material de construcción (tierra, concreto y mixtos). La forma rectangular fue la que predominó tanto en estanque en tierra (96%) como en concreto (61%).

Los estanques presentaron pocas facilidades de mantenimiento, lo cual genera una baja frecuencia en la extracción del lodo. La frecuencia promedio de mantenimiento y extracción de lodo reportada por los piscicultores está entre 3 y 90 días, ya sea para estanques en tierra o en concreto. Un caso especial se presenta en una estación donde la utilización de estanques circulares no permite la acumulación del lodo dentro de él, por lo cual la frecuencia de mantenimiento es muy baja y prácticamente se hace cuando se saca el cultivo del estanque.

Debido a que en algunos casos el lodo permanece largos periodos de tiempo dentro del estanque, la descomposición del lodo orgánico depositado en los estanques va a presentarse y el consumo de oxígeno por esta actividad va a competir con el requerido por el pez. Esto puede estar generando el uso de mayores cantidades de agua para suplir las necesidades del oxígeno ó limitando el uso de densidades más altas de peces en los estanques, ó las dos condiciones simultáneamente.

Características del Lodo

El lodo fue caracterizado con base en la distribución de masa por tamaños y la sedimentabilidad de las partículas. La curva de distribución de masa por tamaño de partícula, realizada a la columna de agua de un estanque con peces en fase de engorde, se presenta en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** La mayor parte de la masa (77%), presenta tamaños superiores a 45 μm , con un gran porcentaje (26%) entre los 150 y 450 μm . Estudio realizados por Maillard *et al.* [29] y True *et al.* [30] reportan distribuciones de masa y tamaño de partícula similares a los reportados en el presente estudio.

Estos resultados indican que una gran parte de la masa, podría ser removida por filtros mecánicos o por sedimentación simple. En este sentido, Cripps y Bergheim [31] reportan la utilización de filtración mecánica y tambores rotativos de malla, con tamaños de poro que usualmente van de 60 a 200 μm . De otra parte remover los sólidos suspendidos permite también remover materia orgánica y nutrientes tal como lo reporta Cripps [32] quien alcanzó remociones entre el 21 al 80% en DBO₅, 47-84% en fósforo total, 7 a 32% del nitrógeno total, al remover entre el 19 y el 91% de los sólidos totales, utilizando una malla de 60 μm .

Los resultados de los análisis de sedimentabilidad realizados a las partículas presentes en la columna de agua del estanque se presentan en la Figura. Velocidades de sedimentación en el rango de 40 a 2400 m/d fueron medidas para las partículas presentes. Velocidades de sedimentación de 3.1 y 1.4 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ (1200 y 2680 m/d) fueron reportadas por Elberizon and Kelly [33] para heces fecales de salmones del Atlántico

con tamaños de partícula > 2 y > 0.5 mm, sin embargo no consideraron los tamaños más pequeños que se pueden formar por el fraccionamiento de las heces fecales.

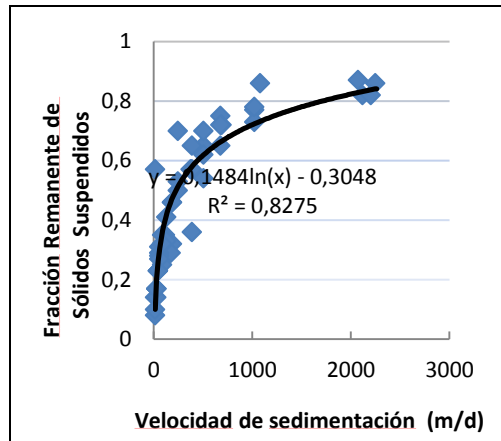


Figura 3 Curva de sedimentación de la columna de agua del estanque (número de muestras 6).

Los tamaños y velocidades de sedimentación de las partículas que se generan en la producción de trucha permiten que una gran cantidad de ellas se puedan sedimentar fácilmente en estanques, donde la velocidad de flujo usualmente está por debajo de $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ True *et al.* [34].

La sedimentación de las partículas en el estanque y las estrategias para evitarla incluyen diferentes opciones desde el uso de baffles al interior del estanque hasta el diseño de estanques con celdas de rotatorias en estanque rectangulares. En el primer caso se utilizaron baffles que restringían el área de flujo dentro del estanque permitiendo un incremento en la velocidad flujo [35, 36, 37], los resultados mostraron que se facilita el arrastre del lodo en el estanque hasta lugares donde se pueden extraer de forma manual, mecánica o hidráulica. Sin embargo los estudios también mostraron que los baffles generan erosión en algunas partes del la piel del pez [38]. El uso de celdas rotatorias en estanques rectangulares es una tecnología en desarrollo [39].

Bases de la propuesta de Estanque MULTIPRO.

El desarrollo de la propuesta conceptual incluyó los siguientes aspectos:

- Separar los sólidos suspendidos del flujo principal del estanque. En este sentido se busca retener la mayor cantidad de partículas suspendidas dentro del estanque. Los tamaños de partícula asociados a la cantidad de masa y la velocidad de sedimentación y a las áreas de superficiales de los estanque permiten estimar que los sólidos suspendidos generados durante la producción de trucha pueden ser removidos entre un 70 a un 80%.
- El estanque debe contener estructuras que faciliten el almacenamiento del lodo en un área determinada.
- Dado que la mayor parte de los sólidos suspendidos se producen por las sobras de alimento, alimento mal digerido y las heces fecales, estos se producen en todo el volumen del estanque, por lo cual se requiere de un sistema que transporte los sólidos retenidos a una sección de almacenamiento.

- La extracción del lodo debe poder hacerse si necesidad de extraer el cultivo de estanque, utilizando métodos hidráulicos.
- Los sólidos almacenados deben ser retirados antes que su descomposición y disolución generen impactos negativos en la calidad del agua.
- El estanque debe considerar un sistema para la evacuación del lodo de manera independiente del flujo principal.

Con base en los anteriores criterios se estableció un esquema general que se presenta en la Figura 2.

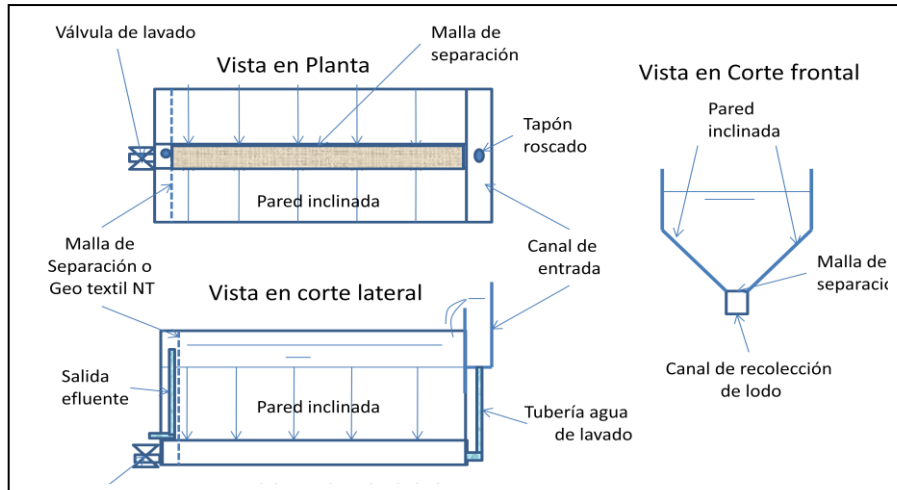


Figura 2 Esquema general de estanque Multipropósito (Multipro)

Inclinación de las paredes

Las paredes inclinadas del estanque deben presentar un ángulo de inclinación que permite redireccionamiento del lodo sedimentado en la pared al canal central del estanque. En este sentido el estudio realizado por Ortiz y Urrea [40] evaluando tres ángulos 30, 45 y 60° mostró que al movilizar el lodo hacia el canal central, los ángulos de 45 y 60° no se presentan diferencias significativas mientras que el de 30° generó diferencias significativas con el de 60°. Estos resultados motivaron a recomendar el uso del ángulo de 45°, el cual permite una movilización similar a la alcanzada con el de 60° y permite un mayor volumen de agua.

Canal de Fondo

El canal de fondo permite de una parte la acumulación del lodo y de otra debe facilitar el arrastre del mismo durante los procesos de limpieza hidráulica. Los estudios realizados por Díaz y Gómez [41] con la modelación matemática tridimensional modelaron el arrastre de sedimentos en relación con el tamaño de partícula que es capaz de arrastrar con diferentes arreglos geométricos del estanque MULTIPRO. Para el estudio se evaluaron diferentes pendiente de fondo en el canal (0, 1, 1.4, 2.0%) y longitudes de canal (11,13 y 15m). También se consideró que durante el proceso de lavado la válvula de salida permitía un flujo de agua de aproximadamente 30 L/s y que el ingreso del agua al estanque por la tubería de fondo sería de aproximadamente 4 L/s. Para la modelación se utilizó el software SSIIM (A three dimensional numerical model for

Simulation of Sediment Movements in water Intakes with Multiblock option). En la Figura se resume la información sobre el tamaño máximo de partícula que podría ser arrastrado hidráulicamente durante el proceso de limpieza del estanque.

Considerando que los tamaños de partícula caracterizados pueden alcanzar valores mayores a 820 μm , y que los granos del alimento podrían llegar hasta 5000 μm (en material seco), es claro que las mejores opciones para la limpieza hidráulica se presentan con la longitud de estanque de 11 m y una pendiente de fondo del 2%. Sin embargo, la reducción del tamaño de grano que se presenta por diferentes motivos, entre ellos: la turbulencia generada durante el proceso de la alimentación, el gradiente de mezcla generado por el propio fluido, la actividad del pez genera gradientes de mezcla, la densidad del cultivo y la biodegradación de la partícula [42], permiten que los granos que no son comidos por el pez reduzcan su tamaño, de igual manera la materia fecal del pez. Esto permite considerar que estanque con longitudes de hasta 15 m y pendientes del 2% o incluso del 1,4% podrían ser arrastradas sin mayores limitaciones.

Actualmente este canal de fondo está siendo utilizado para facilitar la captura y separación de los peces.

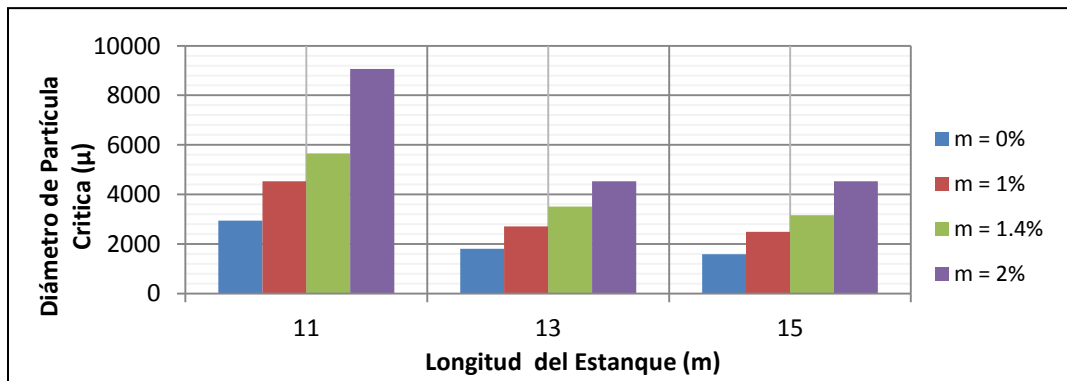


Figura 5. Tamaño máximo de partícula por longitud y pendiente (fuente Díaz y Gómez [43])

Tiempo de permanencia del lodo en el estanque.

Estudios a escala de laboratorio y a escala real fueron realizados en la presente investigación. El estudio a nivel de laboratorio permitió establecer el comportamiento de la disolución de contaminantes en términos de tiempo y concentración [44], lo cual facilitó el estudio posterior usando estanques a escala real [45]. Los principales resultados encontrados en a escala de laboratorio indican que el tiempo de acumulación de los sólidos al interior de un estanque de cultivo depende del tipo de control que se le desee realizar a la contaminación, siendo inferior a 24 horas para el control del material carbonaceo biodegradable, de 40 horas para evitar la contaminación de las fuentes hídricas receptoras con nitrógeno orgánico disuelto y de 56 horas para evitar la aparición de especies amoniacales [46].

Los resultados de la evaluación a escala real indican que si la extracción del lodo retenido se realiza antes de las 48 horas se puede evitar la disolución del lodo retenido en un estanque MULTIPRO, hasta en un 81,9% del nitrógeno amoniacal total, el 79,6% del nitrógeno total Kjeldhal, 97% del fósforo total y el 86,5% de los sólidos disueltos, con

lo cual se generara una mejor condición de calidad de agua para la cría del pez y se reduce el impacto sobre las fuentes superficiales donde se vierten los efluentes de estas piscícolas.

Comparación del estanque MULTIPRO con estanques convencionales

Esta investigación se viene desarrollando actualmente en la Estación Piscícola Chiliglo. Un estudio comparativo con estanques rectangulares en concreto (con igual densidad de biomasa, peso inicial/pez, caudal de agua, cantidad de alimento/pez), mostró que los peces del estanque MULTIPRO tuvieron un crecimiento más rápido, alcanzando un peso promedio de 250g, 21 días antes que el estanque convencional [49]. Si bien estos resultados están siendo comprobados con nuevos seguimientos, la mejor calidad de agua en el estanque MULTIPRO, especialmente en cuanto a contenido de Nitrógeno amoniacal, permite contar con un mejor ambiente para el desarrollo del pez.

CONCLUSIONES

- La producción de trucha presenta en el Departamento del Cauca presenta limitaciones técnicas en el manejo de la cantidad de agua utilizada, los estanques existentes no permiten un fácil mantenimiento y en la mayoría de piscícolas no se presenta control de la contaminación generada durante la producción.
- Al considerar una alternativa que permita el control de los sólidos generados en la producción de trucha, el estanque MULTIPRO propuesto en el desarrollo de la investigación, podría facilitar la reducción de hasta el 81,9% del nitrógeno amoniacal total, el 79,6% del nitrógeno total Kjeldhal, 97% del fósforo total y el 86,5% de los sólidos disueltos.
- La extracción del lodo separadamente del flujo principal permite la recuperación de importantes cantidades de nitrógeno y fósforo que podrían ser utilizadas en actividades agrícolas como abono orgánico.
- Se requiere de mayor investigación para la optimización de la tecnología de Estanque MULTIPRO, particularmente en su implementación en estanques construidos. También se debe evaluar y proponer alternativas para el control de la contaminación disuelta generada por las excreción metabólica del pez. En este sentido debe estudiarse dietas que permitan una mayor incorporación del nitrógeno y fósforo en la biomasa del pez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, a las Universidades del Cauca y del Valle, al Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca – CREPIC, a la Piscícola Chiliglo y a la Cadena Piscícola del Cauca, quienes vienen apoyado el programa de investigación Por una Piscicultura Ambientalmente Sostenible, en el marco del cual se presenta este documento. También expresan su gratitud a los Ingenieros Ambientales Carlos de la Cruz, Mauricio Ortiz, Carlos Urrea, Zuly Garcés, Erick Mamian, Juan Manuel Penagos y Eduardo Cepeda, por su valioso apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COLOMBIA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Acuerdo de Competitividad de la Cadena de la Piscicultura en Colombia, 2005. En: www.agrocadenas.gov.co/piscicultura/documentos/Acuerdo_Piscicultura.pdf (Citado Septiembre de 2007)
2. COLOMBIA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL y CCI, CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL; SIA. SERVICIO DE INFORMACION AGROPECUARIO. Encuesta de producción piscícola 2009. Disponible: www.cci.org.co/ccinew/SIA%20ENA%20REPORTES.html. (Citado en 26 de Enero de 2011)
3. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL; 2005. Acuerdo de Competitividad de la Cadena de la Piscicultura en Colombia, Visitado Septiembre de 2007, en: www.agrocadenas.gov.co/piscicultura/documentos/Acuerdo_Piscicultura.pdf
4. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM; 2001. El medio Ambiente en Colombia. Bogota: 2ed
5. FERNÁNDEZ, J.E. & CAICEDO, J.R., 2011. Evaluación de 10 piscícolas de trucha en el Departamento del Cauca. Consideraciones sobre sus características físicas y la generación del residuo. Artículo en Publicación
6. UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE, CENTRO REGIONAL DE PRODUCTIVIDAD DEL CAUCA, MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA, 2010. Proyecto estudio, diseño y evaluación de un prototipo de estanque piscícola. Informe Final. Popayán, Cauca.
7. BERGHEIM, A.; BRINKER. B., 2003. Effluent treatment for flow through systems y European Environmental Regulations. Aquacultural Engineering, 27, 1, 61-77, 2003.
8. TRUE B., JOHNSON W., CHEN S.; 2004. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluente characterization. Aquacultural Engineering 32 (2004) 129–144.
9. FERNÁNDEZ, J.E. & CAICEDO, J.R., 2011. Evaluación de 10 piscícolas de trucha en el Departamento del Cauca. Consideraciones sobre sus características físicas y la generación del residuo. Artículo en Publicación
10. UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE, CENTRO REGIONAL DE PRODUCTIVIDAD DEL CAUCA, MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA, 2010. Proyecto estudio, diseño y evaluación de un prototipo de estanque piscícola. Informe Final. Popayán, Cauca.

11. FERNÁNDEZ, J.E. & CAICEDO, J.R., 2011. Evaluación de 10 piscícolas de trucha en el Departamento del Cauca. Consideraciones sobre sus características físicas y la generación del residuo. Artículo en Publicación
12. UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE, CENTRO REGIONAL DE PRODUCTIVIDAD DEL CAUCA, MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA, 2010. Proyecto estudio, diseño y evaluación de un prototipo de estanque piscícola. Informe Final. Popayán, Cauca.
13. ACKEFORS H., ENELL M.; 1994. The release of nutrients y organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. Journal of Applied Ichthyology. Volume 10, pages 225–241.
14. MARINE LABORATORIES, DEPARTMENT OF SEA FISHERIES, Tasmania; 1989. Finfish Farming and the Environment – A Review. Technical Report. Howel Williams, Editor. Australia.
15. MAILLARD V. M., BOARDMAN G. D., NYLY J. E., KUHN D. D.; 2005. Water quality and sludge characterization at raceway-system trout farms. Aquacultural Engineering 33 (2005) 271–284
16. STEWART N. T., BOARDMAN G. D., HELFRICH L. A.; 2006. Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. Aquacultural Engineering 35 (2006) 191–198
17. TRUE B., JOHNSON W., CHEN S.; 2004. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluente characterization. Aquacultural Engineering 32 (2004) 129–144.
18. FERNÁNDEZ D., SÁNCHEZ, P., BAYLE J., CARRATALA A., LEON V.; 2007. Addition of dissolved nitrogen and dissolved organic carbon from wild fish faeces and food around Mediterranean fish farms: Implications for waste-dispersal models. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 340 (2007) 160–168
19. CRIPPS S. J, BERGHEIM A.; 2000. Solids management and removal for intensive ly-based aquaculture production systems. Aquacultural Engineering, Volume 22, Issues 1-2, May 2000, Pages 33-56
20. Op cit.
21. TRUE B., JOHNSON W., CHEN S.; 2004. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluente characterization. Aquacultural Engineering 32 (2004) 129–144.

22. EBELING, J. M.; RISHEL, K. L.; SIBRELL P. L. Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Aquacultural Engineering*, 33, 4, 235-249, 2005.
23. CRIPPS, S.J., Minimizing outputs: treatment. *Journal of Applied Ichthyology*, 10, 4, 284–294, 1994.
24. CRIPPS S. J, BERGHEIM A.; 2000. Solids management and removal for intensive ly-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, Volume 22, Issues 1-2, May 2000, Pages 33-56
25. ENGLE, C. R.; POMERLEAUA, S.; FORNSHELLB, G.; HINSHAWC, J. M.; SLOAND, D.; THOMPSON, S. The economic impact of proposed effluent treatment options for production of trout *Oncorhynchus mykiss* in flow-through systems. *Aquacultural Engineering*, 32, 303–323, 2005.
26. CRIPPS S. J, BERGHEIM A.; 2000. Solids management and removal for intensive ly-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, Volume 22, Issues 1-2, May 2000, Pages 33-56
27. MARINE LABORATORIES, DEPARTMENT OF SEA FISHERIES, Tasmania; 1989. Finfish Farming and the Environment – A Review. Technical Report. Howel Williams, Editor. Australia.
28. BOAVENTURA R., PEDRO A. M., COÍMBRA J., LENCASTRE E., 1997. Trout Farm Effluents: Characterization and Impact on the Receiving Streams. *Environmental Pollution*, Vol. 95, No. 3, pp. 379-387.
29. MAILLARD V. M., BOARDMAN G. D., NYLY J. E., KUHN D. D.; 2005. Water quality and sludge characterization at raceway-system trout farms. *Aquacultural Engineering* 33 (2005) 271–284
30. TRUE B., JOHNSON W., CHEN S.; 2004. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluente characterization. *Aquacultural Engineering* 32 (2004) 129–144.
31. CRIPPS S. J, BERGHEIM A.; 2000. Solids management and removal for intensive ly-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, Volume 22, Issues 1-2, May 2000, Pages 33-56
32. CRIPPS, S.J., Minimizing outputs: treatment. *Journal of Applied Ichthyology*, 10, 4, 284–294, 1994.
33. ELBERIZON, I.R. and KELLY, L.A. Empirical measurements of parameters critical to modeling benthic impacts of freshwater salmonid cage aquaculture. *Aquaculture Research* 29, 669-677, 1998

34. TRUE B., JOHNSON W., CHEN S.; 2004. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluente characterization. *Aquacultural Engineering* 32 (2004) 129–144.
35. BOERSEN, G. & WESTERS, H., 1986. Waste Solids Control in Hatchery Raceways. *The Progressive Fish-Culturist*, 48(2), pp.151-154.
36. BARNES, M.E., Saylor, W.A. & Cordes, R.J., 1996. Baffle Usage in Covered Raceways. *The Progressive Fish-Culturist*, 58(4), pp.286-288
37. TRUE, B., 2004. Reducing phosphorous discharge from flow-through aquaculture II: Hinged and moving baffles to improve waste transport. *Aquacultural Engineering*, 32(1), pp.145-160. Available at:
38. BARNES, M.E., Saylor, W.A. & Cordes, R.J., 1996. Baffle Usage in Covered Raceways. *The Progressive Fish-Culturist*, 58(4), pp.286-288

39. ORTIZ, M.F. & URREA, C.A., 2010. Evaluación de la influencia del ángulo de inclinación de un estanque piloto en la retención y redirección del lodo sedimentado en el efluente de una estación piscícola de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) Trabajo de Grado, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

40. Op cit.

41. DÍAZ PRIETO, D. & GÓMEZ AGUILAR, R., 2011. Estudio y evaluación de diferentes configuraciones geométricas de estanques piscícolas para el mejoramiento de las condiciones de lavado hidráulico de los estanques mediante la dinámica de fluidos computacional (cfd). Trabajo de Grado, Universidad del Valle, Popayán, Colombia.
42. BRINKER, A. & RO, R., 2005. Factors determining the size of suspended solids in a flow-through fish farm. *Aquacultural Engineering*, 33, pp.1-19.

43. DÍAZ PRIETO, D. & GÓMEZ AGUILAR, R., 2011. Estudio y evaluación de diferentes configuraciones geométricas de estanques piscícolas para el mejoramiento de las condiciones de lavado hidráulico de los estanques mediante la dinámica de fluidos computacional (cfd). Trabajo de Grado, Universidad del Valle, Popayán, Colombia.

44. FERNÁNDEZ J. E, HOYOS D.E, CAICEDO J. R., 2012. Disolución de los sólidos sedimentables generados en el cultivo de trucha. Evaluación en un reactor batch. Documento en Publicación. Revista de Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Universidad del Cauca.

45. UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE, CENTRO REGIONAL DE PRODUCTIVIDAD DEL CAUCA, MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA, 2010. Proyecto estudio, diseño y evaluación de un prototipo de estanque piscícola. Informe Final. Popayán, Cauca.

46. FERNÁNDEZ J. E, HOYOS D.E, CAICEDO J. R., 2012. Disolución de los sólidos sedimentables generados en el cultivo de trucha. Evaluación en un reactor batch. Documento en Publicación. Revista de Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Universidad del Cauca.
47. UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE, CENTRO REGIONAL DE PRODUCTIVIDAD DEL CAUCA, MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA, 2010. Proyecto estudio, diseño y evaluación de un prototipo de estanque piscícola. Informe Final. Popayán, Cauca.
48. FERNÁNDEZ J. E, CAICEDO J. R., HOYOS D.E, 2012. Disolución de los sólidos sedimentables generados en el cultivo de trucha. Evaluación en flujo continuo en un estanque MULTIPRO. Artículo en Borrador, para publicación
49. UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE, CENTRO REGIONAL DE PRODUCTIVIDAD DEL CAUCA, MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA, 2010. Proyecto estudio, diseño y evaluación de un prototipo de estanque piscícola. Informe Final. Popayán, Cauca.