

Estudio de geotextiles para el tratamiento de efluentes del cultivo de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

Study of geotextiles in the treatment of wastewater from farming rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Estudo de geotêxtis para o tratamento de efluentes de cultivo de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*)

Mónica Alexandra Luna-Imbacuán¹, Javier E. Fernández-Mera², Julia R. Caicedo-Bejarano³

¹ Ing. Ambiental; Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia.

² Ing. Sanitaria, MSc, PhD, Facultad de Ingeniería Civil. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

³ Ing. Sanitaria, MSc, PhD, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle, Ciudad Universitaria Meléndez. Cali, Colombia

Email: monicaluna@uniautonomo.edu.co

Recibido: 14 de julio de 2015

Aceptado: 26 de julio de 2017

Resumen

El proceso de producción piscícola genera dos tipos de efluentes; el primero de flujo continuo asociado a la operación normal de las granjas piscícolas y el segundo de flujo intermitente generado por labores de lavado de los estanques. Este último contiene la mayor concentración de contaminantes del proceso de cultivo. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar a escala de laboratorio la filtración en geotextiles no tejidos como alternativa para el tratamiento del flujo proveniente del lavado de un estanque multipropósito (MULTIPRO) con cultivo de Trucha Arcoíris, específicamente se evaluó el comportamiento del geotextil frente a la eficiencia en la reducción de material en suspensión, nutrientes y materia orgánica, así como el desarrollo de la pérdida de carga. Se determinó que el empleo de geotextiles permite obtener eficiencias promedio en reducción de sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fósforo total (PT) y nitrógeno total Kjeldahl (NTK) de 98%, 68%, 62% y 79% respectivamente, operando a tasa de filtración de 3 m/h. Estas eficiencias son superiores a las reportadas por tecnologías de mayor costo que podrían presentar limitaciones de uso en la zona rural en Colombia. Se observó un rápido desarrollo de la pérdida de carga y consecuentemente una baja duración de la carrera de filtración, alcanzando valores promedio de 39 min, lo cual sugiere que el empleo de este tipo de filtros, en términos de duración de carrera se debe optimizar, de modo que permita un uso más extendido de los geotextiles y disminuya los costos de inversión asociados al recambio de las mismas.

Palabras claves: Aguas residuales de acuicultura, Estanque MULTIPRO, Filtración, Geotextiles no tejidos.

Abstract

The process of production of the fish farms generate two types of effluents: one with continuous flow during normal operation and the other an intermittent flow during cleaning operations. This last one has a lot higher solid concentration than the normal operation effluent. The present study was designed to assess at laboratory scale, the non woven geotextile filtration

for the treatment of cleaning effluents from a MULTIPRO pond with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) culture. The efficiency in the reduction of suspended material, nutrients and organic matter was evaluated, as well as the development of the hydraulic head losses. It was determined that the filtration of these effluents through non woven geotextiles allows to obtain the following average removal efficiencies: total suspended Solids (98%), biochemical oxygen demand (68%), total phosphorus (62%) and total Kjeldahl nitrogen (79%) at filtration rate of 3 m/h. These efficiencies are comparable or even higher than those reported by higher-cost technologies, which would present limitations for rural use in Colombia. It was observed a rapid development of head loss and consequently low filter run duration with an average value of 39 min. This is suggesting that non woven geotextile filtration should be optimized in terms of filter run duration, so as to allow a more extended use of the blankets and to reduce the investment costs associated to the replacement of the same ones.

Key words: Wastewater aquaculture, MULTIPRO pond, filtration, non woven geotextiles.

Resumo

O processo de produção de peixes gera dois tipos de efluentes; o primeiro fluxo contínuo associado com a operação normal de explorações piscícolas e o segundo de fluxo intermitente, gerado pelo trabalho de lavagem dos tanques. Este último contém a maior concentração de contaminantes do processo de cultivo. O objetivo deste estudo foi avaliar em escala de laboratório a filtração em geotêxteis não tecido como uma alternativa para o tratamento do fluxo de um tanque de lavar multiuso (MULTIPRO) com cultivo de truta Arco-íris, especificamente avaliou-se o comportamento do geotêxtil contra a eficiência na redução do material em suspensão, nutrientes e matéria orgânica, bem como o desenvolvimento de perda de carga. Determinou-se que o uso de geotêxtil permite a obtenção de uma média na eficiência na redução de sólidos suspensos totais (SST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), total de fósforo (TP) e total nitrogênio Kjeldahl (TNK) de 98%, 68%, 62% e 79% respectivamente, operando com taxa de filtração de 3m/h, estas eficiências são superiores aos relatados por tecnologias de custo mais elevadas que podem apresentar limitações de utilização na área rural, na Colômbia. Reparou-se um desenvolvimento rápido da perda de carga e, conseqüentemente, uma baixa duração da carreira de filtração, atingindo valores médios de 39 min, o que sugere que o uso deste tipo de filtros, em termos de duração da carreira se deve aperfeiçoar, a fim que permita uma utilização mais generalizada de geotêxteis e reduza os custos de investimento associados com a substituição do mesmo.

Palavras chave: efluentes de aquicultura, MULTIPRO tanque, Filtração, geotêxteis não tecido.

Introducción

En el contexto colombiano la piscicultura se constituye como el principal sector productivo de la acuicultura, esta última ha presentado tasas medias de crecimiento en los últimos veinticinco años del orden del 20,4%, superiores a las reportadas para el resto del sector agropecuario (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural *et al.*, 2011), por lo que dicha actividad se ha considerado como fuente generadora de empleo, con un importante aporte a la seguridad alimentaria. Sin embargo, hay que considerar los posibles impactos que pueda ocasionar dicha actividad sobre los recursos hídricos, dado que durante la producción piscícola se generan residuos en forma suspendida y disuelta, constituidos principalmente por alimento no consumido, alimento sin digerir y productos de excreción como heces y orina (Cripps & Bergheim 2000). Parte de estos residuos se acumulan al interior del estanque, por lo que deben ser evacuados periódicamente mediante el lavado a fin de evitar la decadencia de la calidad del agua de cultivo y su interferencia en el desarrollo de los peces. Dicho mantenimiento genera efluentes ricos en material en suspensión, materia orgánica y nutrientes (Cripps y Bergheim, 2000; Pfeiffer *et al.*, 2008), a los cuales se les debe dar un adecuado manejo para disminuir la afectación a los cuerpos de

agua de alta montaña donde principalmente se desarrolla esta actividad.

Frente al tema, las Universidades del Cauca y del Valle, conjuntamente con el Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca, con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, han desarrollado un modelo de estanque denominado MULTIPRO, el cual permite utilizar menores cantidades de agua y promueve la retención de los sólidos suspendidos sedimentables en áreas específicas del estanque para su posterior extracción por métodos hidráulicos, facilitando su expulsión sin necesidad de extraer el cultivo e incrementando la frecuencia de limpieza a dos veces por semana. El estanque presenta paredes laterales con inclinación de 45°, conectadas en el fondo con un canal rectangular de pendiente 1,4%, ubicado a todo lo largo del estanque. La pared inclinada permite que los sólidos retenidos sobre ella puedan movilizarse hasta el canal, donde son almacenados para su posterior evacuación, mediante una válvula de apertura rápida de 6 pulgadas de diámetro ubicada en el extremo final, cuenta además en el extremo inicial con un tubería que permite la inyección de agua al estanque, por lo cual, cuando se abre la válvula se forma un flujo en corto circuito que permite el arrastre del lodo

acumulado en el canal (Universidad del Cauca *et al.*, 2010; Fernández y Caicedo, 2012).

Según datos reportados por Hoyos (2011) del total de los sólidos que ingresan al estanque MULTIPRO se retienen cerca del 68,5%; así mismo del total de nitrógeno y fósforo que ingresa en forma sólida, cerca del 41% y 26% respectivamente se retiene y acumula en su interior por procesos de sedimentación, lo que permite suponer que gran parte de los contaminantes presentes en los efluentes de lavado podrían ser removidos mediante procesos físicos de tratamiento.

En este sentido se reporta el uso de filtros en múltiples etapas, como unidades de tratamiento dentro de un sistema de recirculación acuícola para trucha arco iris, encontrando eficiencias de remoción de 28,53% para sólidos en suspensión y de 23,93% para sólidos totales (Cárdenas *et al.*, 2015). Por su parte los geotextiles no tejidos (NT) vienen siendo estudiados en los últimos años para el tratamiento de flujos de agua, dado que presentan una textura altamente permeable que permite un rápido paso del fluido, a la vez que retiene las partículas suspendidas de tamaño mayor al rango de poro del geotextil, el cual está entre 35 μm y 100 μm . Además, dada la naturaleza apolar del polipropileno, las partículas retenidas en el geotextil no se adhieren de manera permanente y por ende la limpieza del material es sencilla y con posibilidades de reutilización (Piegari, 2005). El uso de geotextiles no tejidos ha sido estudiado en combinación con filtros lentos para el tratamiento de potabilización (Fernández *et al.*, 2001), como alternativa de pre-tratamiento para mejorar la calidad del agua cruda (Pérez y Palechor, 2017) así como en la depuración de efluentes de lavado de sedimentadores y filtros rápidos, probando su gran capacidad de retención de material suspendido, con eficiencias de hasta 99,8% (Mulligan *et al.*, 2009; Ornelas y Rocha, 2013; García y Pineda, 2017).

Otros estudios reportan el uso del geotextil NT 2000 en la filtración de efluentes truchícolas de operación normal, demostrando eficiencias de remoción de SST de hasta 72% con tres capas (espesor 1.7 mm/capa) y velocidades de filtración de 5 m/h (Bueno y Quiñones, 2010). La filtración en geotextil presenta ventajas frente a otros métodos mecánicos típicamente implementados en el tratamiento de estos efluentes como filtros de correa inclinados, filtros de bolsa, filtros prensa, centrifugas y filtros al vacío (Sharrer *et al.*, 2009), dado que muchos de estos son tecnologías que por su dependencia a la energía eléctrica, su alto componente mecánico y altos costos de inversión dificultan su aplicación en la zona rural donde generalmente se desarrolla la actividad piscícola en Colombia. Es así como

el presente estudio buscó evaluar la filtración en geotextil como alternativa de tratamiento de efluentes de lavado de estanques, particularmente analizando el efecto de la tasa de filtración sobre la eficiencia en el control de la contaminación y desarrollo de la pérdida de carga.

Materiales y métodos

El estudio de la filtración en geotextil se realizó a escala de laboratorio empleando el efluente de lavado de un estanque MULTIPRO operando a escala real, con cultivo de trucha arco iris, manejando densidades de siembra en el rango 5,69 - 9,96 kg/m^3 , y alimentación artificial con un valor inicial de 1160 g y final de 2070 g por día, dividida en 5 raciones. Para el logro de los objetivos se planteó dos fases: La primera orientada a estudiar cuatro tasas de filtración (3, 5, 10 y 15 m/h) a fin de seleccionar la tasa de operación más conveniente con base en criterios de eficiencia en la reducción de SST, desarrollo de la pérdida de carga y duración de carrera. En la segunda fase se evaluó la filtración en geotextil a la tasa seleccionada, en términos de reducción de materia orgánica, sólidos en suspensión y nutrientes.

Los ensayos de filtración se realizaron en un dispositivo en acrílico transparente de diámetro interno 100 mm y altura 700 mm, dotado con un geotextil o manta no tejida referencia NT 2000 de PAVCO (Tamaño de poro: 150 μm ; Espesor: 1,7 mm; Pavco, 2004), como medio filtrante ubicado entre la cámara de filtración y la cámara de colección (Ver figura 1). La dosificación del agua residual al sistema de filtración se realizó mediante un tanque de cabeza constante garantizando un caudal con variación máxima de $\pm 2\%$. Así mismo, la muestra se mantuvo agitada mediante un sistema de aireación ubicado en el fondo del tanque, lo cual evitó la sedimentación del material particulado. Con el fin de evaluar la duración de la carrera de filtración, se consideró una pérdida de carga máxima de 15 cm, valor adoptado con base en los referentes de la literatura (Peña y Escobar, 2009; Bueno y Quiñones, 2010) en donde se reporta para filtración en geotextiles una pérdida de carga entre 10 y 15 cm, con velocidades de filtración entre 7 - 20 m/h, en ambos estudios se describe un comportamiento de la pérdida de tipo exponencial, indicando que al final de la carrera de filtración puede existir un gran aumento de la pérdida de carga en un tiempo relativamente pequeño. Las muestras de agua cruda y tratada fueron analizadas en laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca, siguiendo la metodología descrita en el Standard Methods, procedimiento 2540D para SST, 2510B para DBO_5 , 4500B para NTK, 4500C para PT (APHA *et al.*, 1998).

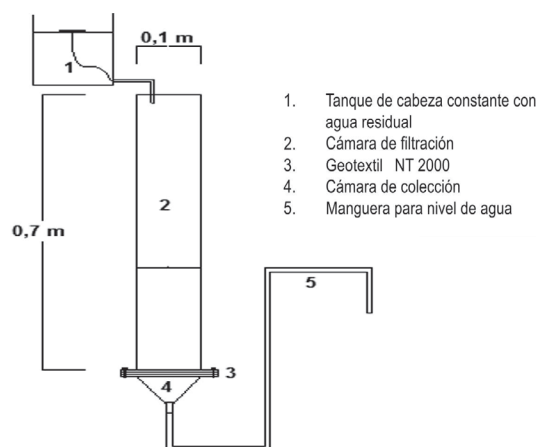


Figura 1. Esquema dispositivo de ensayo.

Para determinar la normalidad de los datos se empleó la prueba de Shapiro-Wilk (n menor 50). Dado que los datos no tuvieron un ajuste normal, la comprobación de la hipótesis estadística se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. En el caso en donde se evidenció diferencias estadísticas entre los datos, se empleó la prueba no paramétrica de Mann Whitney para datos independientes y así identificar los pares de datos que presentaron diferencias significativas. Todos los análisis se realizaron aplicando un nivel de confianza del 95%.

Resultados

Evaluación de la filtración en geotextil en la reducción de SST

En la figura 2 se presenta los resultados de eficiencia del geotextil en reducción de SST para efluentes de lavado de estanques con concentraciones de SST en el rango 179-553 mg/L. Las tasas de filtración evaluadas fueron de 3, 5, 10 y 15 m/h. La variabilidad en la concentración de SST en la muestra cruda se debió principalmente a las fluctuaciones de calidad del agua de entrada al sistema, por periodos de lluvia.

Para la comparación estadística de los datos, se comprobó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk (n menor 50) indicando que no se ajustan a la distribución normal ($P < 0.05$), por lo cual fue necesario realizar la comparación con base en la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para datos independientes, estableciéndose una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre los valores de Eficiencia en Reducción de Sólidos Suspendidos Totales (ERSST) para las velocidades evaluadas. Aplicando la prueba no paramétrica de Mann Whitney para datos indepen-

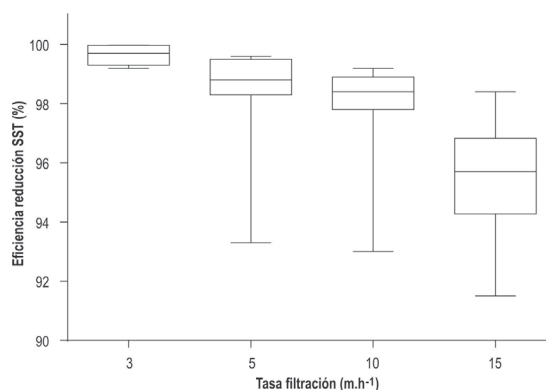


Figura 2. Eficiencia de remoción de Sólidos en suspensión en función de la velocidad de filtración (n=8).

dientes, se logró determinar que los valores en ERSST para la tasa de filtración 3 m/h difieren significativamente de los valores a tasa de filtración 5, 10 y 15 m/h ($P=0.028$, $P=0.006$, $P=0.006$ respectivamente).

Desarrollo de la pérdida de carga y duración de la carrera de filtración

Para cada tasa de filtración se realizaron seis ensayos de medición de la pérdida de carga. En la figura 3 se presenta los resultados de uno de ellos con la curva de ajuste exponencial de los datos. Los ensayos restantes presentaron el mismo ajuste con coeficientes de Pearson en el rango 0.8643-0.9993.

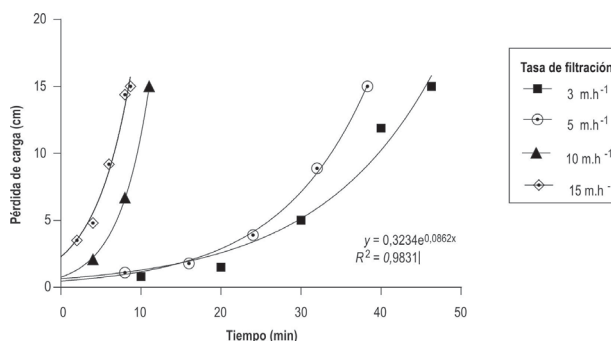


Figura 3. Desarrollo de la pérdida de carga en el tiempo para cuatro tasas de filtración y ajuste para tasa de 3 m/h.

Las velocidades de 3 y 5 m/h presentaron valores máximos en duración de carrera de 56 y 50 min respectivamente, mientras que las tasas de 10 y 15 m/h, tuvieron las más bajas duraciones de carrera del ensayo, como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Duración de carrera de filtración a diferentes tasas (n=6).

| Tasa (m/h) | Duración de carrera (Min) | | | |
|------------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | \bar{X} | S2 | Máx. | Min. |
| 3 | 39,73 | 11,60 | 55,60 | 25,22 |
| 5 | 25,21 | 15,16 | 49,90 | 14,23 |
| 10 | 8,64 | 6,89 | 21,70 | 4,07 |
| 15 | 4,52 | 2,48 | 8,07 | 2,25 |

En la figura 4 se presenta la relación entre velocidad de filtración y duración de la carrera.

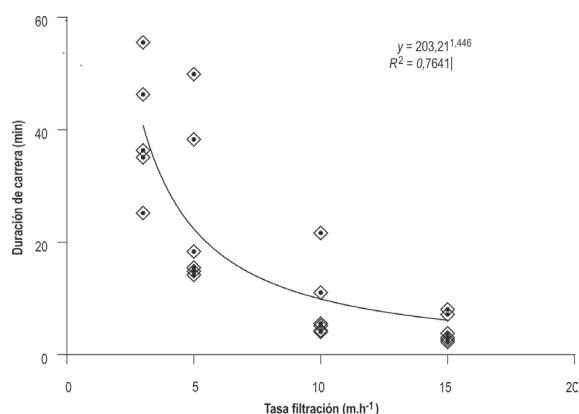


Figura 4. Efecto de la tasa de filtración sobre la duración de carrera de filtración.

Mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para datos independientes, se determinó con un nivel de confiabilidad del 95%, que la duración de carrera difiere significativamente para las diferentes tasas de filtración estudiadas ($P < 0.05$). Aplicando la prueba no paramétrica de Mann Whitney, se identificó que las tasas 3 y 5 m/h no difieren ($P > 0.05$), mientras que la tasa de 3 m/h difiere significativamente de las tasas 10 y 15 m/h ($P < 0.05$).

Evaluación de la filtración en geotextil en la reducción de SST, nutrientes y materia orgánica

En la figura 5 se presenta las eficiencias en reducción de material en suspensión, nutrientes y materia orgánica mediante filtración en geotextil NT 2000 a tasa de 3 m/h.

Discusión

La operación de filtración en geotextil presenta eficiencias en reducción de SST promedio de hasta 99,6%

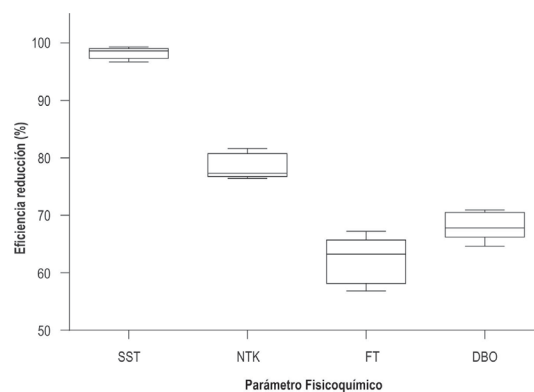


Figura 5. Eficiencias en reducción de contaminantes a través de Geotextil NT 2000 a tasa de filtración de 3m/h (n=5).

para la tasa de 3 m/h (Figura 2), similares a las reportadas por Sharrer *et al.*, (2010) quienes encontraron eficiencias promedio del 96% para un filtro de correa inclinado con adición de ayudantes de coagulación y floculación. Los resultados, indican las ventajas del uso de geotextiles frente a este tipo de tecnologías, no solo por su gran capacidad de reducción de contaminantes, sino además porque evita el uso de agentes químicos que pueden llegar a incrementar los costos de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento.

Bueno y Quiñones (2010) realizaron la evaluación de diferentes tasas de filtración (5, 10, 15 y 20 m/h) a través de geotextiles para el tratamiento de efluentes de operación normal del estanque MULTIPRO en el cultivo de Trucha Arcoíris y reportaron la tasa de 5 m/h como la más eficiente con reducciones de hasta 72% en SST y concentraciones remanentes en el rango de 4-31 mg/L. Las eficiencias reportadas por los autores, así como las encontradas en este estudio para efluentes de lavado muestran el potencial que tiene el uso de geotextiles para el tratamiento de los efluentes del cultivo de trucha Arcoíris. Las mayores eficiencias en la filtración de los efluentes de lavado están asociadas a flujos de agua más concentrados, con mayores tamaños de partículas en suspensión.

En el estudio de geotextiles para el tratamiento de efluentes piscícolas es importante además de la eficiencia en reducción de contaminantes, analizar aspectos como el desarrollo de la pérdida de carga, porque determina la duración de la carrera de filtración y por lo tanto la frecuencia de cambio o lavado del geotextil.

En la figura 3 se observa que el desarrollo de la pérdida de carga para filtración en geotextil se presenta con tendencia exponencial, al igual que lo reportado por Peña y Escobar (2009) y Bueno y Quiñones (2010). Es

así como la velocidad de 15 m/h presenta un rápido desarrollo de la pérdida de carga, con 4,5 min en promedio de duración de carrera de filtración, 25 veces menor que los valores reportados Bueno y Quiñones, (2010), para la misma tasa, tratando efluentes de operación normal con concentraciones de SST en el agua cruda entre 4 y 31 mg/L. La relativa baja duración de carrera obtenida para todas las tasas evaluadas en el presente estudio, se asocia a las concentraciones en SST característico de los efluentes de lavado, que para esta etapa del estudio estuvieron en el rango 179-553 mg/L con valores promedio de 329 mg/L, lo cual evidencia como la calidad del agua de los efluentes de lavado afecta de manera directa la duración de carrera y por tanto limita el uso de los geotextiles a escala real, por lo que habría que estudiar en próximas investigaciones alternativas para prolongar la duración de carrera.

Con el objetivo de explorar alternativas para aumentar la carrera de filtración se estimó la duración de carrera usando los ajustes exponenciales reportados en la Figura 3 y considerando un aumento a 30 cm en la máxima pérdida de carga permitida. Se encontró que para este valor de pérdida de carga, la duración de carrera se incrementa aproximadamente en 6, 8, 2 y 3 min para las velocidades de 3, 5, 10 y 15 m/h respectivamente. Esto evidencia que un incremento en el límite de pérdidas tiene un bajo efecto en el aumento de la carrera, pareciendo indicar que el geotextil NT 2000 se colmata cuando alcanza el nivel de pérdida de 15 cm y a partir de ese momento las pérdidas de carga crecen rápidamente. Una estrategia distinta para incrementar la duración de carrera podría ser el estudio de filtración en geotextiles de mayor porosidad, seguidos de geotextiles de menor porosidad. La mayor porosidad permite la retención de sólidos suspendidos de gran tamaño, con lo cual se evita el bloqueo del geotextil de menor porosidad encargado de la retención de partículas más finas, prolongando de esta manera su uso.

De los resultados observados en la figura 4, se confirma claramente la relación inversa entre las variables graficadas, ya que a medida que aumenta la velocidad se reduce la carrera de filtración, resultados que concuerdan con los obtenidos por Bueno y Quiñones (2010) en el estudio de geotextiles para el tratamiento de efluentes piscícolas de operación normal.

Estadísticamente se determinó que las tasas de 3 y 5 m/h no difieren significativamente en términos de duración de carrera, pero si en términos de eficiencia en reducción de SST, de modo que se adoptó la tasa de 3 m/h como la más adecuada para la operación y eva-

luación del filtro con geotextiles NT 2000 en el tratamiento primario de efluentes de lavado de estanques piscícolas en la producción de Trucha Arco iris.

Las eficiencias de remoción de contaminantes reportadas en la figura 5, se sustentan en los mecanismos de cernido y obstrucción descritos por Muthukumaran y llamparuthi (2006). True *et al.*, (2004) indican que las partículas presentes en los efluentes de mantenimiento de estanques, tienen tamaños en el rango 1.5-814 μm o incluso superiores para el caso del alimento no consumido y residuos fecales. El geotextil NT 2000 empleado presenta un tamaño de poro de 150 μm , luego se espera que toda partícula de tamaño mayor al poro sea retenida en la superficie del geotextil, formando una capa de lodo que genera obstrucción al paso de las partículas más pequeñas.

En el presente estudio se obtuvieron eficiencias promedio en reducción de SST de 98,2%, lo que representa una concentración de SST en el efluente tratado menor a 2 mg/L, cumpliendo ampliamente con los niveles recomendados (SST < 50 mg/L) por la Corporación Financiera Internacional (2007) para efluentes del sector acuícola, indicando la factibilidad del empleo de los geotextiles para el control de la contaminación por sólidos suspendidos.

Las eficiencias en reducción de materia orgánica (68%) son cercanas a las reportadas por Kelly *et al.*, (1997) del 70% empleando micropantallas en el tratamiento de efluentes acuícolas. Según Cripps y Bergeheim (2000) y Kelly *et al.*, (1997) cerca del 80% de la materia orgánica se encuentra asociada a la fracción particulada, de modo que la remoción de SST, implica a su vez la remoción de material orgánico.

En el caso de los nutrientes presentes en los efluentes piscícolas cuantificados como NTK y PT, se obtuvieron eficiencias promedio de 79% y 62% respectivamente, reducciones que se atribuyen al mecanismo de cernido que ejerce el filtro sobre los nutrientes en fracción sólida acumulados al interior del estanque MULTIPRO.

Se debe resaltar que las eficiencias en reducción de nutrientes alcanzadas en este estudio, se asocian, a las condiciones operacionales del estanque MULTIPRO, ya que su diseño hidráulico permite la extracción del lodo antes de las 72 horas, situación que según Hoyos (2011), permite una mayor retención de los nutrientes en la fracción sólida, pues se estima que pasado este tiempo se incrementan las tasas de transferencia de los contaminantes a la fracción disuelta. Por lo cual podría sugerirse que las estrategias para la disminu-

ción de la carga contaminante en efluentes piscícolas, deben enfocarse no solo al tratamiento final del agua residual, sino además a la incorporación de estrategias de producción más limpia, dentro de ellas el diseño hidráulico adecuado de los estanques de siembra.

Sharrer *et al.*, (2010) reportan eficiencias de reducción del 86% para Nitrógeno Total, tratando un efluente de Trucha Arcoíris mediante un filtro de correa inclinado en adición de sulfato de aluminio y polímeros. Estas eficiencias son similares a las encontradas en el presente estudio para NTK, aun cuando el NT determinado en el estudio de referencia incluye todas las especies de nitrógeno (orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos), por lo que se deben resaltar una vez más las ventajas de los geotextiles sintéticos para este uso frente a otras tecnologías, especialmente en términos de costos de inversión inicial y requerimientos energéticos que pueden llegar a ser limitantes en la zona rural donde se desarrolla la piscicultura en Colombia.

Los resultados obtenidos en términos de reducción de nitrógeno y fósforo cobran importancia dado que estos se consideran nutrientes esenciales, que de ser vertidos directamente a los cuerpos de agua podrían además de acelerar las condiciones de eutroficación, incrementar los procesos bioquímicos microbianos encargados de la degradación de materia orgánica (Metcalf y Eddy 2003), generando a su vez, ambientes anaeróbicos no propicios para el desarrollo de la vida acuática y la disminución de la calidad del agua para uso humano.

Conclusiones

La filtración en geotextil se constituye en una alternativa con un buen potencial para el tratamiento de efluentes de lavado de estanques MULTIPRO en la producción de trucha Arcoíris, dado que presenta eficiencias en remoción de SST, DBO₅, NTK y PT, comparables e incluso superiores a las reportadas por tecnologías de mayor costo.

Para la filtración de aguas de lavado de estanques MULTIPRO a través de geotextiles NT 2000 se sugiere la tasa de 3 m/h, no solo por sus mayores eficiencias en reducción de material suspendido, sino además por su mayor duración de carrera frente a las tasas restantes (5,10 y 15 m/h). Sin embargo, se observó una rápida obstrucción del filtro con duración de carrera promedio de 39 min, lo cual sugiere que se debe optimizar el empleo de geotextiles para esta variable, de modo que permita un uso más extendido y se disminuya los costos de inversión asociados al recambio de las mismas.

Agradecimientos

A la Estación Piscícola “Chiliglo” en Coconuco Cauca, por las instalaciones y los insumos (peces) en fase experimental, a la Universidad del Cauca por los espacios de laboratorio y la cofinanciación del proyecto, a la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca por la cofinanciación del proyecto y a la Universidad del Valle por el apoyo desde sus programas de posgrado y soporte académico. Al proyecto Optimización del Uso de Geotextiles no Tejidas en el Tratamiento de Efluentes de Lavado de Estanques MULTIPRO, en el marco del cual se realizó el presente documento.

Referencias

- APHA, WPCF, AWWA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition, Washington, DC.
- Bueno K, Quiñones A. 2010. Uso de geotextiles sintéticos NT para el control de la contaminación generada por sólidos suspendidos en la cría de trucha. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Sanitaria.
- Cardenas Calvachi GL, Sánchez Ortiz IA, Maya González JA, Solarte Vázquez A. Remoción de sólidos en aguas residuales de producción intensiva de trucha en un sistema de recirculación cerrado. UNIMAR. 2015;33(1):229-236.
- Corporación Financiera Internacional I. 2007. Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para la acuicultura.
- Cripps S, Bergheim A. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacult Eng.* 2000;22(1-2):33-56.
- Fernández Mera J, Latorre J, Berón F, Muñoz N, Vargas V. 2001. Uso de mantas sintéticas y Naturales en filtración lenta en arena. Una experiencia en ambientes tropicales. Retrieved from <http://cinara.univalle.edu.co/archivos/pdf/77.pdf>
- Fernández Mera J, Caicedo Bejarano J. Estanque MULTIPRO. Una alternativa para el control de los lodos en la producción de trucha. *Revista Electrónica de Ingeniería En Producción Acuicola.* 2012;6(4):1-14.
- García LJ, Pineda Muñoz JS. 2017. Evaluación de un cartucho en geotextiles sintéticos no tejidos (NT) para el pre-tratamiento de agua cruda. Universidad del Cauca.
- Hoyos Martínez DE. 2011. Evaluación del impacto de la retención de sólidos suspendidos en los estanques de cultivo de trucha sobre la calidad físicoquímica del agua para la producción de peces. Universidad del Valle.
- Kelly LA, Bergheim A, Stellwagen J. Particle size distribution of wastes from freshwater fish farms. *Aquacult Int.* 1997;65-78.
- Metcalf y Eddy, 2003. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse.* In McGraw-Hill, ed. España.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, FAO & Incoder, 2011. Diagnóstico del Estado de la Acuicultura en Colombia.

- Mulligan CN, Davarpanah N, Fukue M, Inoue T. Filtration of contaminated suspended solids for the treatment of surface water. *Chemosphere*. 2009;74(6):779–786. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.10.055>
- Muthukumaran A, Ilamparuthi K. Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering. *Geotext Geomembrane*. 2006;24(4):210–219.
- Ornelas Ferreira B, Rocha Vianna M. 2013. Eficiência do desaguamento de lodos de decantadores e água de lavagem de filtros de estação de tratamento de água através de filtros geotêxteis: estudo de caso. *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27. <https://doi.org/10.13140/2.1.4611.7125>
- Pavco, 2004. Especificación Internacional Geotextil PAVCO NT 2000M. , (571), p.1. Available at: <http://marienco.com/doc/nuevos/Especificaciones Tecnicas Geotextiles NT2000M.pdf>.
- Pérez Finscúe LY, Palechor Palechor JM. 2017. Estudio del uso de geotextiles NT en el tratamiento del efluente de sedimentadores y filtros rápidos en la planta de tratamiento de agua potable el tablazo de Popayán. Universidad del Cauca.
- Peña W, Escobar I. 2009. Determinación de la viabilidad del uso de geotextil no tejido como medio filtrante, en flujo horizontal para la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica en efluentes de piscifactorías de trucha. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- Pfeiffer TJ, Osborn A, Davis M. Particle sieve analysis for determining solids removal efficiency of water treatment components in a recirculating aquaculture system. *Aquacult Eng*. 2008;39(1):24-29.
- Piegari W. 2005. Cátedra de cimentaciones -geosintéticos. Universidad tecnológica nacional. Retrieved from [http://carreras.frba.utn.edu.ar/civil/cimentaciones/ Geosinteticos.pdf](http://carreras.frba.utn.edu.ar/civil/cimentaciones/Geosinteticos.pdf)
- Sharrer M, et al., The cost and effectiveness of solids thickening technologies for treating backwash and recovering nutrients from intensive aquaculture systems. *Bioresour Technol*. 2010;101(17):6630–6641.
- Sharrer M, Rishel K, Summerfelt S. Evaluation of geotextile filtration applying coagulant and flocculant amendments for aquaculture biosolids dewatering and phosphorus removal. *Aquacult Eng*. 2009;40(1):1–10.
- True B, Johnson W, Chen S. Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization. *Aquacult Eng*. 2004; 32(1):129–144.
- Universidad del Cauca U del V, CREPIC C. regional de P. e I. del C. & Rural, M. de A. y D., 2010. Proyecto Estudio, Diseño y Evaluación de un Prototipo de Estanque Piscícola.