

DISOLUCIÓN DE LOS LODOS PISCÍCOLAS Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DEL AGUA.

Fernández Mera, J.¹; Hoyos Martínez, D.^{2*}; Caicedo Bejarano, J.³

FISH SLUDGE DISSOLUTION AND ITS EFFECT IN THE WATER QUALITY

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la disolución de los sólidos suspendidos generados en el cultivo de trucha en la calidad del agua. Lodos colectados en un estanque en concreto y en operación con una vida media de 1 día fueron depositados en un sistema cerrado tipo batch. El reactor operó durante 120 horas con agitación mediante burbujeo con aire, a una temperatura controlada de 14°C. Se realizaron muestreos para determinar la concentración de sólidos disueltos y en las fracciones sólida y disuelta se midieron: nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y amoniacal (NTA), fósforo total (PT) y DBO₅. Se estableció que hay transferencia de contaminantes desde la fracción sólida a la disuelta. La DBO₅ presenta incrementos en la fracción disuelta, alcanzando hasta el 47% de la DBO₅ total. Al realizar un análisis de las tasas de disolución en base seca se encontró que el NTK presentó una tasa de disolución de 0,044 mg N (h*g lodo), el NTA se detectó en la fracción soluble después 56 horas, con una tasa de generación de 0.068 mg N (h*g lodo)⁻¹ y el PT alcanzó una tasa disolución del 0.020 mg P (h*g lodo)⁻¹. Con el fin de establecer el tiempo máximo de permanencia de los lodos en el estanque, se recomienda realizar estudios complementarios en flujo continuo.

Palabras Clave: Lodo de Trucha, Nutrientes, Manejo de Sólidos, Contaminación Piscícola.

ABSTRACT

The effect on water quality of dissolution of suspended solids generated in trout culture was evaluated. Sludge with a half life of 1 day was collected in a raceway in operation and deposited in a closed system (batch) with a capacity of 20 L. The reactor operated for 120 hours with bubbling air stirring device at a controlled temperature of 14 °C. Samples were taken to determine the concentration of dissolved solids, solid and dissolved fractions of total nitrogen Kjeldahl (TKN), ammonia (NTA), total phosphorus (TP), and BOD₅. It was established the transference of contaminants from solid to the dissolve fraction. An increase of inorganic species was obtained in the soluble fraction since the beginning of the experiment. The BOD₅ shows increases in dissolved fraction, representing up to 47% of the total BOD₅. NTK presented a dissolution rate of 0.044 mg N (h * g sludge)⁻¹. The NTA was detected in the soluble fraction after 56 hours, with a rate of dissolution of 0.068 mg N (h * g sludge)⁻¹. The PT was detected in the soluble

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

^{2*} Químico, M.Sc, Ingeniería Sanitaria, Profesor Universidad del Cauca, Calle 5 No. 4 – 70. Tel. (572) 8209900, Popayán, Colombia. dhoyos@unicauca.edu.co

³Caicedo Bejarano, Julia Rosa; Universidad del Valle, Calle 13 No. 100-00. Tel (572)3212183, julia.caicedo@correounivalle.edu.co

fraction at reached rate of $0.007 \text{ mg P (h * g sludge)}^{-1}$. In order to establish the maximum time of sludge inside the raceway, we recommend further studies in continuous flow.

Key Words: Trout Sludge, Nutrients, Solid Management, Fish Contamination.

INTRODUCCIÓN

En la producción piscícola, los principales desechos son generados directa o indirectamente por la alimentación (alimento no consumido y las excretas) también se incluye productos farmacéuticos y químicos de uso en esta actividad, además de los peces muertos o moribundos [1,2]. Los componentes más importantes de los desechos son la materia orgánica, los sólidos suspendidos totales, nutrientes como fósforo y nitrógeno.

La trucha es una de las especies más exigentes tanto en la calidad y cantidad de recurso hídrico utilizado, como en los requerimientos alimenticios. Los sólidos suspendidos generados por el cultivo de trucha se caracterizan por poseer tamaño y peso suficiente para sedimentar con facilidad [3,4]. Estos sólidos se componen principalmente por materia orgánica rica en nutrientes [5,6,7] que puede ser degradada por procesos químicos y biológicos facilitando la transferencia a la fracción disuelta, lo que puede generar reducción en la calidad del agua afectando el desarrollo de los peces e impactar negativamente las fuentes hídricas que reciben este tipo de efluentes [8].

Los actuales estanques de producción de trucha tipo raceways son los más utilizados por su facilidad de operación en el proceso productivo. Estos se caracterizan por poseer áreas equivalentes en la superficie como en el fondo del sistema, lo que permite la distribución de los sólidos sedimentados en toda el área superficial del fondo de los reservorios, facilitando la interacción microorganismo-sustrato y permitiendo su rápida proliferación [9].

La remoción del material sedimentable es importante no solo porque su degradación y disolución generan detrimento en las condiciones del hábitat de los peces al interior del estanque, sino también por el impacto negativo sobre las fuentes hídricas receptoras ya que la transformación de los sólidos permite la salida de material disuelto y/o particulado que poseen un gran área superficial lo que facilita la transferencia de carbono orgánico y nutrientes al medio acuoso [10, 11, 12, 13]. Los fenómenos de disolución y degradación que se generan en los sólidos tanto sedimentados como suspendidos deben ser estudiados para evitar o minimizar la transferencia de los nutrientes y materia orgánica al medio acuoso y prever estrategias de limpieza en los estanques. En el presente documento se reporta los resultados del estudio realizado a nivel de laboratorio con el fin de estudiar los procesos de transformación de los sólidos generados por el cultivo de trucha.

METODOLOGÍA

La investigación fue desarrollada en el laboratorio de ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca, usando un sistema experimental cerrado tipo batch, donde se depositaron sólidos generados por el cultivo de trucha y se colocaron a degradar en condiciones controladas de temperatura, agitación y aireación. Los lodos con una vida media de un día se colectaron al interior de un estanque a escala real en la Estación

Piscícola Chiligo ubicada en Coconuco municipio de Puracé, Cauca. El estanque operaba con una densidad de biomasa de 9 kg/m^3 y peces de aproximadamente 110 g y un caudal de $2,4 \text{ L/s}$. Los lodos colectados fueron concentrados por decantación y almacenados a 4°C para su traslado al laboratorio en la ciudad de Popayán.

Como reactor se utilizó dos recipientes cilíndricos de polietileno con una capacidad de 20 L y dimensiones de 30 cm de diámetro por 36 cm de alto. Al interior se adicionaron los sólidos colectados y el volumen se llevó hasta los 20 L con la misma agua que abastece el estanque de cultivo, alcanzando una concentración final de sólidos suspendidos totales de 134 mg L^{-1} . Como mecanismo de agitación se utilizó un dispersor de aire conectado a un motor que permaneció en funcionamiento durante todo el tiempo del ensayo.

Cada reactor fue llevado al interior de una incubadora graduada a una temperatura de 14°C para simular las condiciones en que se degradarían los sólidos al interior de un estanque a escala real en la estación piscícola donde se realizó la colecta de los lodos.

El proceso de muestreo se realizó cada 8 horas durante un periodo de 120 horas , con lo que se obtuvo un total de 15 muestras . Se realizó medición de parámetros a las muestras filtradas a través de un papel de fibra de vidrio de $1.2 \mu\text{m}$ y a muestras sin filtrar. Los resultados de las muestras filtradas se consideraron como la fracción disuelta y a la diferencia de muestras sin filtrar y filtradas como la fracción sólida. Los parámetros fisicoquímicos medidos se describen en la Tabla 1.

Las tendencias de variación de cada parámetro a través del tiempo se analizaron utilizando ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación de Pearson. Se calculó la tasa de disolución dividiendo la pendiente de la regresión obtenida entre la concentración inicial del lodo.

Tabla 1. Parámetros evaluados frecuencia y método de medición

Parámetro	Muestra		Frecuencia (horas)	Procedimiento [12]
	Filtrada	No Filtrada		
Sólidos Suspendidos (mg/L)	--	X	8	2540 D
DBO ₅ (mg/L)	X	X	8	2540 C
Fósforo Total (mg P/L)	X	X	8	4500 – P D
Nitrógeno Kjeldahl (mg N/L)	X	X	8	4500 - N _{org} B y 4500 – NH ₃ F
Nitrógeno Amoniacal (mg N/L)	X	--	8	4500 – NH ₃ D 4500 – NH ₃ F
pH	--	--	8	4500 H

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al disolver los sólidos suspendidos en agua de la misma fuente que abastece la estación se obtuvo una concentración inicial de sólidos disueltos de 90 mg/L y a partir de esta concentración se evaluó su comportamiento en el tiempo. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que con el transcurso de las horas hay un crecimiento lineal de la concentración de los sólidos disueltos con una linealidad del 95,5%. Las concentraciones encontradas evidencian la transformación del material orgánico al interior del sistema.

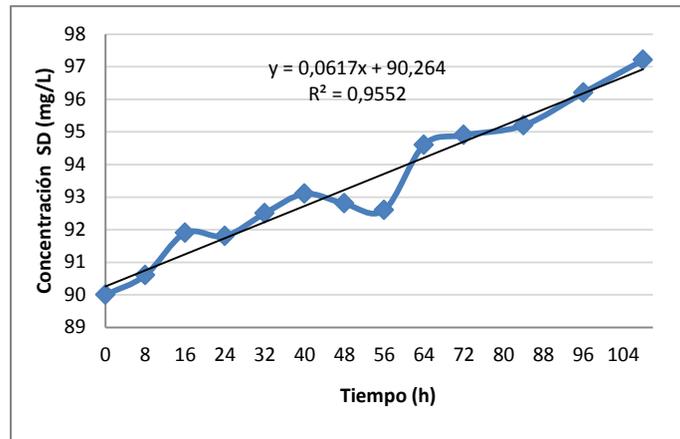


Figura 1 Concentración de los sólidos disueltos en el tiempo.

Dado que los sólidos disueltos se generan regularmente por la transformación de la materia orgánica en compuestos inorgánicos y estos a su vez se disuelven en el agua e incrementan la conductividad, es de esperarse que la medición de los sólidos disueltos represente de forma general lo que ocurre con otras especies químicas como los diferentes compuestos nitrogenados y fosforados.

La figura 2. Muestra el comportamiento de la DBO₅ en la fracción soluble en el periodo de muestreo.

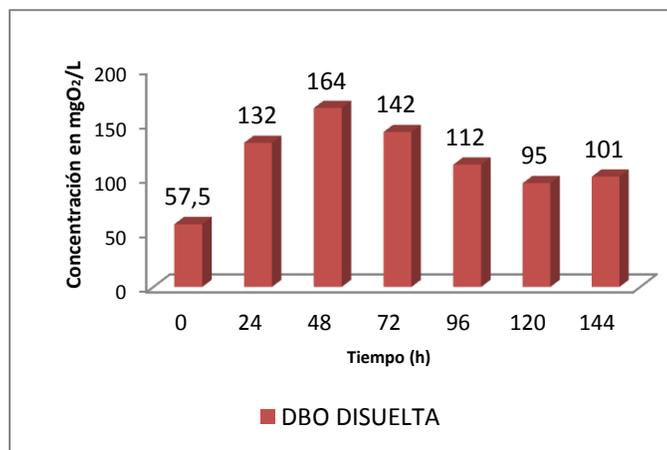


Figura 2. Porcentaje de DBO₅ disuelta en función del tiempo

Entre las 0 y 48 horas de incubado el sistema se observa un incremento cercano al 300% en la concentración de la DBO₅ en la fracción soluble, indicando que al interior del reactor los sólidos suspendidos se convierten en material biodegradable disuelto, lo que resulta desfavorable dado que este material está más expuesto a ser biodegradado por los microorganismos o en su defecto a ser arrastrado hacia las fuentes hídricas receptoras de los efluentes truchícolas. En horas posteriores se evidencia una disminución en la concentración de la DBO₅, esto se debe posiblemente al agotamiento del material biodegradable al interior del reactor por lo que se reduce la transferencia de materia orgánica biodegradable desde los sólidos suspendidos. Según lo encontrado con la medición de la DBO₅ la extracción de los lodos que se acumulan en los estanques debe ser realizada antes de las 48 horas para evitar mayores impactos en las fuentes receptoras.

El nitrógeno total Kjeldahl (NTK) incluye todas las formas de nitrógeno orgánico y amoniacal. El nitrógeno orgánico puede estar en forma sólida o disuelta, mientras que el amoniacal es fácilmente soluble en agua por lo que se espera que esté totalmente disuelto. Con los fenómenos de disolución y degradación que se presentan en el lodo sedimentado, las formas de orgánicas nitrógeno sólido son transformadas principalmente en nitrógeno amoniacal, asimismo en el proceso de degradación se espera una transferencia de las especies nitrogenadas desde la fracción sólida a la disuelta. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que entre las horas 0 y 40 la concentración del NTK no presenta grandes cambios tanto en la fracción sólida como en la soluble, contrastando con lo reportado por [14] quienes encontraron que la mayor tasa de disolución del nitrógeno se presenta en las primeras 24 h. Posteriormente hay un incremento en la cantidad de NTK disuelto desde la hora 40 a una tasa de $0,044 \text{ mg N (h} \cdot \text{g lodo)}^{-1}$, la cual es mucho mayor a la reportada por Stewart *et al.* (2006), que fue de $0,007 \text{ mg N (h} \cdot \text{g lodo)}^{-1}$ para el tiempo comprendido entre las 24 a 168 h, sin embargo este estudio fue realizado a una temperatura de 20°C lo cual pudo haber acelerado el proceso de degradación permitiendo la disolución del nitrógeno orgánico y la formación de especies como amonio, de otra parte el estudio fue realizado con un lodo con una vida media de 3.5 días, mientras que el usado en este estudio fue de 1 día de vida media.

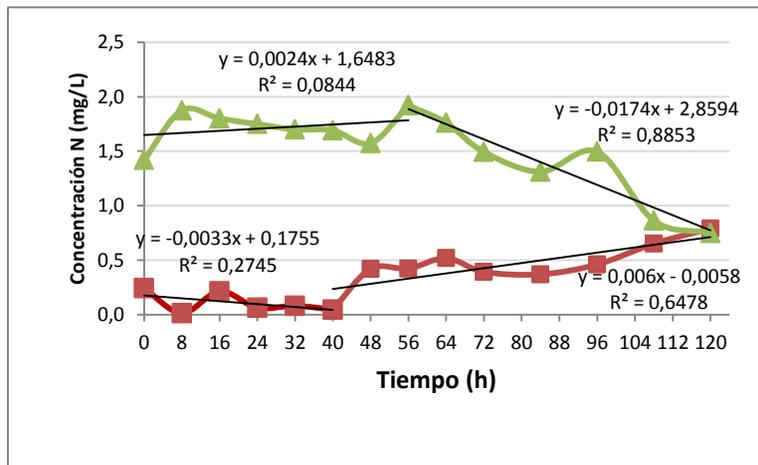


Figura 3 Concentración de Nitrógeno total Kjeldahl disuelto y sólido

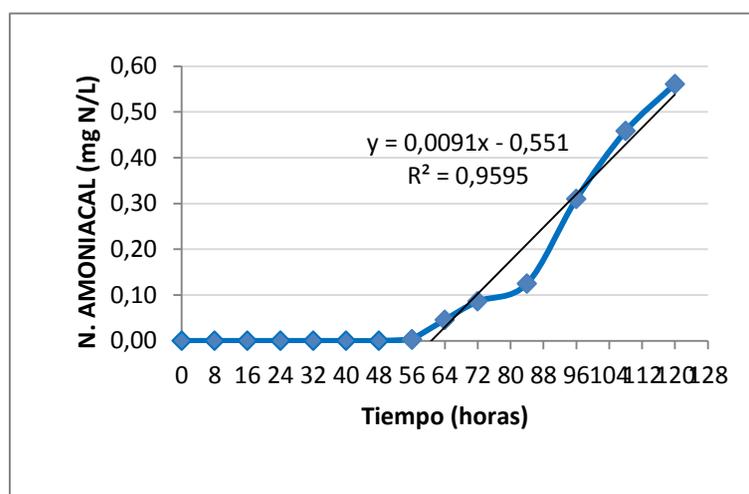


Figura 4 Aparición del Nitrógeno Amoniacal

Similar a lo ocurrido para los sólidos disueltos, la aparición del nitrógeno amoniacal (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*) se da de forma lineal con coeficientes de correlación de Pearson que indican 95,9% de linealidad, pero estos incrementos solo se inician cuando se ha operado el reactor durante 56 horas. Al comparar la aparición del Nitrógeno total Kjeldahl en la fracción disuelta con la del nitrógeno amoniacal se observa que el NTK (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*) inicia su incremento hacia la hora 40, mientras que el amoniacal lo hace para la hora 56. La diferencia de 16 horas podría corresponder al tiempo que se requiere para transformar el nitrógeno orgánico presente en la fracción disuelta en nitrógeno amoniacal, es decir, es el tiempo que le toma a los procesos de degradación química y microbiológica adecuar las condiciones para la degradación de este tipo de sustrato orgánico en la fracción disuelta.

El comportamiento del fósforo al interior del reactor batch se muestra en la

Figura 1. Al igual que lo ocurrido para el nitrógeno se observa un decremento en la concentración de la fracción sólida y un incremento en la fracción disuelta, pero con cambios menos notorios y con pendientes muy bajas. La concentración de fósforo disuelto se incrementa a una tasa de disolución de $0.020 \text{ mg P (h} \cdot \text{g lodo)}^{-1}$, mostrando la transferencia de este importante nutriente a las fuentes hídricas receptoras el que en conjunto con el nitrógeno pueden impactar negativamente la calidad del recurso hídrico generando incluso procesos tan indeseables como la eutrofización.

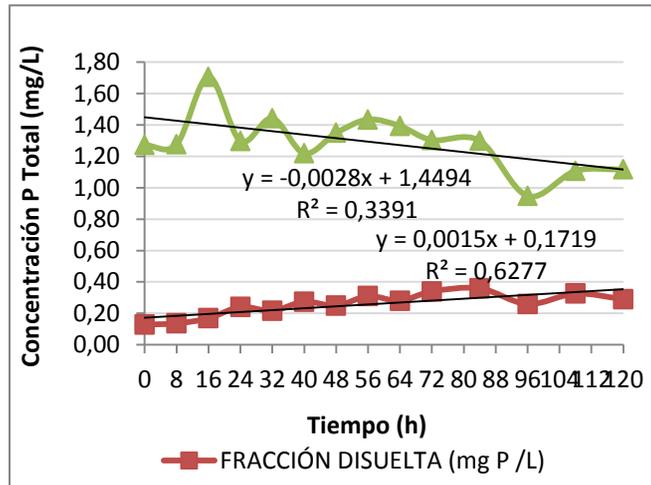


Figura 1 Concentración del Fósforo total en la fracción sólida y disuelta

CONCLUSIONES

Los procesos de transformación del lodo sedimentado en un estanque generan la transferencia del material biodegradable de la fase sólida a la fase disuelta, las cuales inician desde el mismo instante en que aparecen los lodos, tal como lo muestran el comportamiento de los sólidos disueltos y la DBO₅ disuelta, y se mantienen probablemente hasta que se oxide toda la materia orgánica presente.

Los fenómenos de degradación y disolución de los sólidos generados en los cultivos de trucha generan transferencia del material biodegradable desde la fracción sólida a la disuelta desde las primeras horas de iniciada la medición, alcanzando un máximo de transferencia para la DBO₅ a la hora 48 y la aparición de los NTK y NAT en las horas 40 y 56 respectivamente. .

La concentración de nitrógeno amoniacal al interior del reactor es muy cercana a cero para las primeras horas de operación del reactor y su incremento se da aproximadamente 16 horas después que se aumenta la transferencia de nitrógeno orgánico desde la fracción suspendida a la disuelta. La tasa de disolución alcanzada para el NTK después de las 40 h fue de 0,044 mg N (h*g lodo)⁻¹.

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 48 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.

RECOMENDACIONES

La transferencia de contaminantes desde la fracción sólida a la soluble debe seguir siendo estudiada, particularmente en flujo continuo, con el fin de determinar la frecuencia en la extracción del lodo del estanque para permitir el control de la contaminación disuelta y evitar de esta manera mayores impactos de las descargas de las granjas productoras de trucha en las fuentes hídricas superficiales.

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 apoyando el programa de investigación. Por una Piscicultura Ambientalmente Sostenible, en el marco del cual se presenta este documento.

REFERENCIAS

1. Ackefors, H. & Enell, M., 1994. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *Journal of Applied Ichthyology*, 10(4), pp.225-241.
2. Boaventura, R. et al., 1997. Trout farm effluents: characterization and impact on the receiving streams. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 95(3), pp.379-87.
3. Cripps, S. J. (1994). Minimizing outputs: treatment. *Journal of Applied Ichthyology*, 10(4), 284-294
4. Cripps S. & Bergheim A. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 22 pág 33-56. 2000.
5. Bureau, D. and Cho (1999). Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): estimation of dissolved phosphorus waste output. *Aquaculture*, 179(1-4), 127-140
6. Kajimura, M. (2004). Dogmas and controversies in the handling of nitrogenous wastes: The effect of feeding and fasting on the excretion of ammonia, urea and other nitrogenous waste products in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology*, 207(12), 1993-2002
7. Dalsgaard, J., & Pedersen, P. B. (2011). Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 313(1-4), 92-99.
8. Boaventura, R. et al., 1997. Trout farm effluents: characterization and impact on the receiving streams. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 95(3), pp.379-87.
9. Loix B. 2008. Manual on effluent treatment in aquaculture: Science and Practice. Disponible en: www.aquaetreat.org. Visitado en Julio de 2009.
10. Patterson, R., 1999. The power law in particle size analysis for aquacultural facilities. *Aquacultural Engineering*, 19(4), pp.259-273..
11. Cripps S. & Bergheim A. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 22 pág 33-56. 2000.

11. Maillard V. M., Boardman G. D., Nyly J. E., Kuhn D. D.; 2005. Water quality y sludge characterization at raceway-system trout farms. *Aquacultural Engineering* 33 (2005) 271–284
12. Stewart N., Boardman G. & Helfrich L. 2006. Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. *Aquacultural Engineering* 35 (2006) 191–198.
13. APHA. American Public Health Association, AWWA. American Water Works Association. WPCP Water Pollution Control Federation. 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20^a Edición.
14. Op cit.