

Composición y dinámica de los sedimentos en estanques de cachama blanca y tilapia roja

Composition and dynamics of sediments in fishponds with white cachama and red tilapia

Composição e dinâmica dos sedimentos em viveiros de pirapitinga e tilápia

**Martha I. Yossa^{1*}; Gilma Hernández-Arévalo^{2*}; Walter Vásquez-Torres^{3*}
Johana P. Ortega^{4*}; Julio Moreno⁵; Luis A. Vinatea-Arana^{6*}**

¹ Zootec, MSc, PhD, Instituto de Acuicultura de los Llanos-IALL

² MVZ, Esp, MSc, Dr

³ Biólogo, MSc, PhD

⁴ Tecn, Zootec

⁵ Agrólogo

⁶ Biólogo, MSc, PhD, Departamento de Acuicultura Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil

* Grupo de investigación en alimentación y nutrición de organismos acuáticos-GRANAC, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad de los Llanos

Email: granac.iall@gmail.com

Recibido: octubre 30 de 2014

Aceptado: noviembre 28 de 2014

Resumen

El objetivo de este estudio fue caracterizar y comparar el sedimento de estanques piscícolas comerciales de cachama blanca y tilapia roja durante dos ciclos productivos. El sedimento fue muestreado en tres puntos del estanque y para cada especie fueron seleccionados tres estanques al azar. La materia orgánica, el pH, el fósforo disponible, los macro y micronutrientes fueron comparados entre ciclos por especie. El sedimento de estanques con cachama no fue diferente entre ciclos, excepto en calcio ($P<0.05$), pH, potasio y cobre ($P<0.01$). Entre tanto, materia orgánica, fósforo disponible ($P<0.05$) y cobre ($P<0.01$) fueron las variables con diferencia significativa entre ciclos en los sedimentos de los estanques de tilapia. El valor medio de materia orgánica (1.8%) fue inferior en los estanques de tilapia lo que podría estar asociado con la acción bioturbadora de la especie que contribuye con el proceso de mineralización de la materia orgánica.

Palabras clave: materia orgánica, macronutrientes, micronutrientes, *Piaractus brachypomus*, *Oreochromis* sp.

Abstract

The objective of this study was to characterize and compare the sediment fish ponds commercial of cachama blanca and red tilapia during two productive cycles. The sediment was sampled at three points in the pond and for each species were selected three ponds at random. Organic matter, pH, phosphorus available, the macro- and micronutrients were compared between cycles per species. The sediment of ponds with cachama was not significant different between cycles, except in

calcium ($P<0.05$), pH, potassium and copper ($P<0.01$). In the other hand, organic matter, available phosphorus ($P<0.05$) and copper ($P<0.01$) were the variables with significant different between cycles in the sediments of the ponds of tilapia. The mean value of organic matter (1.8%) was lower in tilapia ponds what could be associated with the action bioturbation of the species and contribute to the process of mineralization of organic matter.

Key words: organic matter, macronutrients, micronutrients, *Piaractus brachypomus*, *Oreochromis* sp.

Resumo

O objetivo deste estudo foi caracterizar e comparar os sedimentos dos viveiros comerciais de pirapitinga e tilápia para dois ciclos de produção. O sedimento foi amostrado em três pontos do viveiro e para cada espécie, foram selecionados aleatoriamente três viveiros. A matéria orgânica, pH, fósforo disponível, macro e micronutrientes foram comparados entre os ciclos por espécie. O sedimento nos viveiros de pirapitinga não diferiram entre os ciclos, exceto em cálcio ($P<0,05$), pH, potássio e cobre ($P<0,01$). Enquanto isso, a matéria orgânica, fósforo disponível ($P<0,05$) e cobre ($P<0,01$) foram as variáveis com diferenças significativas entre os ciclos em sedimentos dos viveiros de tilápia. O valor médio de matéria orgânica (1,8 %) foi mais baixa nos de tilápia e poderiam ser associadas com a ação bioturbadora da espécie que contribui para o processo de mineralização da matéria orgânica.

Palavras-chave: macronutrientes, matéria orgânica, micronutrientes, *Piaractus brachypomus*, *Oreochromis* sp.

Introducción

La piscicultura en Colombia es una actividad económica importante basada principalmente en el cultivo de tilapia (49%), cachama (31%) y trucha (16%), cuyas producciones durante la última década ha representado aproximadamente el 66% de la acuicultura nacional y está principalmente soportada en cinco departamentos de alta productividad, con un total de 5.476 granjas y 11.891 estanques, constituyendo una superficie de 8'850.776 m² (CCI y MADR, 2012). Según Steeby y Hargreaves (2004), la infraestructura más usada para piscicultura en el mundo son los estanques excavados en tierra y, aunque bien construidos, están sujetos a la acumulación de sedimento por la erosión del suelo y material orgánico derivado de abonos adicionados, alimento balanceado, fitoplancton, sólidos excretados por los peces y otros elementos (Boyd, 1995). El sedimento es uno de los principales factores que afecta la calidad del agua y la producción, porque en él se van depositando materiales en diversos estados de descomposición y formas químicas (Ramírez y Noreña, 2004). En el sedimento orgánico se realizan intercambios de compuestos entre las fases agua-sedimento, sirviendo también como fuente de nutrientes para el fitoplancton y de varias sustancias potencialmente tóxicas para las especies cultivadas (Kumar et al., 2011). Asimismo en el sedimento se realiza el intercambio iónico y gaseoso (Boyd, 1995; Lefebvre, et al., 2001), además de la descomposición de la materia orgánica, que podría generar hipoxia en la columna de agua (Holmer et al., 2003). En términos generales, la calidad del agua en los estanques depende de la fuente de agua, del manejo de los cultivos, la localización y naturaleza del suelo así como de la composición del sedimento (Boyd, 1995).

El municipio de Villanueva (4°57'N y 73°94'O) está localizado al sur del departamento de Casanare, sobre la parte baja del piedemonte de la cordillera Oriental en la Orinoquia, a orillas de los ríos Aguaclara y Perales, a 300 m.s.n.m., con temperatura promedio de 25,7°C. Su ubicación geomorfológica de terraza baja ha permitido la mayor evolución de los materiales del suelo y de los ácidos orgánicos debido a que ha estado sometido a una mayor meteorización y liberación de elementos que lo acidifican, como hierro, aluminio y manganeso (Botero, 1999; Zapata, 2006). En esta región del Orinoco, por ejemplo, la naturaleza del suelo puede afectar significativamente la cantidad de nutrientes solubles en el estanque, reflejándose en la acumulación de óxido e hidróxido de hierro. Monitorear los compartimientos del estanque es importante, especialmente el del sedimento, porque allí se deposita la mayor parte de los contaminantes producto de las diferentes actividades humanas, del desarrollo de cultivos y del mismo suelo. Su calidad varía y se determina principalmente por el contenido de materia orgánica, potencial de hidrógeno, elementos minerales y potencial redox, entre otros (Boyd, 1995). El objetivo de este estudio fue caracterizar y comparar el sedimento de estanques piscícolas comerciales de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y tilapia (*Oreochromis* sp.) durante dos ciclos productivos, explorando el contenido de elementos mayores y oligoelementos que proporcionan información útil para identificar fuentes de contaminación y entender estos procesos en la región de la Orinoquia colombiana.

Materiales y métodos

En una granja ubicada a 10 km de Villanueva, Casanare, Colombia, en los años 2008 y 2010, se realizaron

análisis de sedimento en la explotación piscícola de ocho años de uso continuo. Se seleccionaron al azar seis estanques en tierra, de 1.600 m² cada uno, tres de ellos cultivados con cachama blanca y los otros tres con tilapia. Todos los estanques se trabajaron bajo las condiciones habituales de manejo del productor (lavado y secado hasta por 15 días); aplicación de óxido de calcio (CaO), cal dolomita CaMg (CO₃), urea CO(NH₂)₂ y abono (gallinaza+bovinaza seca) a razón de 250, 500, 44 y 1375 kg/ha respectivamente; densidad de siembra de 2 y 3.5 peces/m² para cachama y tilapia respectivamente; alimento comercial de la misma marca, iniciando el ciclo de producción con suministro de 45% de proteína y finalizando con 28%, recambio de agua diario entre 30 y 50%. El seguimiento se hizo durante dos ciclos productivos, en los cuales se realizaron 5 muestreos por ciclo y por estanque, con intervalos de 30 días.

Las muestras de sedimento fueron recolectadas en la capa superficial del fondo del estanque en tres puntos (entrada, centro y salida del agua). Como colector fue usado un tubo PVC de 2.5 cm de diámetro y 15 cm de largo, con orificios alineados lateralmente que permitió la salida del excedente de agua. Cada colector debidamente identificado fue acoplado a otro tubo de 1.5 m para llegar hasta el fondo. Las muestras se obtuvieron desde un bote para no disturbar el medio. Posteriormente las muestras fueron homogenizadas y empacadas en bolsas plásticas de cierre hermético, identificadas y transportadas refrigeradas al laboratorio de dinámica de nutrientes del IALL en la Universidad de los Llanos, donde fueron secadas en estufa a 55°C durante 48 horas.

Las muestras secas fueron maceradas hasta polvo fino, empacadas (100 gramos) en bolsas de papel y enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad de los Llanos, donde se realizó un análisis completo de suelos (Tabla 1).

Las variables estudiadas en los estanques de cada especie fueron sometidas a análisis de varianza, incluyendo dentro del modelo el efecto fijo del ciclo de cultivo y el efecto aleatorio del día de muestreo anidado dentro del ciclo de cultivo. En el caso del Ca fue necesaria la transformación Log₁₀ para garantizar la homogeneidad de varianzas y la normalidad del error. Para las variables Mg, K y Na se obtuvieron algunos valores por debajo del límite de detección, a los cuales se les imputó la mitad del límite de detección y se utilizó estadística no paramétrica (prueba de *Kruskal-Wallis*) para evaluar el efecto del ciclo de cultivo. En los valores de Al (en las dos especies), Cu y B (en tilapia) se presentaron problemas de heterocedasticidad y no normalidad

del error que no pudieron ser superados mediante la transformación Log₁₀, por lo cual se optó también por realizar prueba de *Kruskal-Wallis*. Para identificar correlación entre las variables estudiadas del sedimento, se utilizó el coeficiente t de Kendall. Los análisis fueron realizados mediante al paquete estadístico R., development core team, 2007.

Resultados

La caracterización y comparación de la composición del sedimento entre ciclos de cultivo de una misma especie y la correlación entre las variables analizadas están representadas en las tablas 2 y 3 respectivamente.

Discusión

La composición del sedimento (Tabla 2) de estanques cultivados con cachama blanca no fue diferente estadísticamente entre ciclos, excepto en Ca (P<0.05), pH, K y Cu (P<0.01). Entre tanto, materia orgánica, P disponible (P<0.05) y Cu (P<0.01) fueron las variables con diferencia significativa entre ciclos en los cultivos de tilapia. La materia orgánica (2.3%) encontrada en los estanques de cachama fue superior a los de tilapia, en los cuales se presentó diferencia significativa (P<0.05). Considerando que las prácticas de manejo y el suministro de alimento se realizaron indistintamente en toda la granja, la menor concentración de materia orgánica en los estanques de tilapia podría ser explicada por la acción bioturbadora que realiza la especie al alimentarse y/o al construir sus nidos (Jiménez-Montealegre *et al.*, 2002, Joyni *et al.*, 2011), fenómenos que acabarían contribuyendo con la mineralización de la materia orgánica (Boyd y Tucker, 1992). Este hecho también fue evidenciado en cultivos comerciales de tilapia que reciben alto suministro de aditivos, sin embargo, la concentración de MO no cambia significativamente entre ciclos productivos y es inferior al 3% (Yossa *et al.*, 2012).

En términos generales, los valores de materia orgánica (1.5 a 2.4%) reportados para los estanques de las dos especies, estuvieron dentro del rango encontrado por Steeby y Hargreaves (2004) en sedimento de estanques de catfish, constatándose que la acumulación de materia orgánica en estanques es porcentualmente inferior a la derivada en sistemas de jaulas (Holmer, *et al.*, 2003), lo que se podría interpretar como un sistema amigable con el ambiente (Yossa *et al.*, 2011). La concentración de P disponible fue similar para las dos especies, aunque presentó diferencia significativa (P<0.05) entre los ciclos de tilapia. Los valores de P aquí encontrados fueron superiores a los reportados

Tabla 1. Variables analizadas en el sedimento de estanques de cultivo de cachama (*Piaractus brachyomus*) y tilapia (*Oreochromis* sp.) durante dos ciclos productivos en una granja comercial, en Villanueva, Casanare/Colombia.

Variable	Método	Referencia
Materia Orgánica	Walkley & Black	APHA, 2005
Potencial de hidrógeno (pH)	Proporción 1:1 suelo-agua	
Azúfre (S)	Extracción con fosfato monobásico de calcio 0.008M	
Bases intercambiables: calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K)	Acetato de amonio 1N neutro	
Elementos menores: cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn)	Ácido dietilen-triamino-penta-acético (DTPA)	
Aluminio (Al)	KCl 1N	
Boro (B)	En frío con HCl 0.05 M	
Fósforo (P) disponible	Solución Bray II	

Tabla 2. Composición del sedimento (media±SD) de estanques de cultivo de cachama (*Piaractus brachyomus*) y tilapia (*Oreochromis* sp.) durante dos ciclos productivos en una granja comercial, en Villanueva, Casanare/Colombia.

Variable	Cachama blanca			Tilapia roja		
	<i>(Piaractus brachyomus)</i>		P	<i>(Oreochromis sp.)</i>		P
	Ciclo 1	Ciclo 2		Ciclo 1	Ciclo 2	
MO (%)	2.28 ± 0.75	2.43 ± 0.61	ns	1.54 ± 0.74	2.07 ± 0.48	*
Ph	5.78 ± 0.15	5.48 ± 0.20	**	5.64 ± 0.38	5.58 ± 0.23	ns
PD (mg/l)	61.47 ± 19.42	71.23 ± 26.10	ns	49.76 ± 11.61	80.33 ± 18.57	*
Al (mg/l)	24.36 ± 24.37	26.98 ± 12.22	ns	21.36 ± 24.86	20.83 ± 7.38	ns
Ca (mg/l)	992.8 ± 471.4	626.2 ± 208.8	*	690.5 ± 373.5	501.0 ± 147.9	ns
Mg (mg/l)	36.96 ± 51.88	36.89 ± 25.16	ns	19.24 ± 20.94	21.75 ± 16.46	ns
K (mg/l)	31.93 ± 19.55	72.89 ± 57.06	**	39.26 ± 49.96	46.92 ± 52.16	ns
Na (mg/l)	14.08 ± 7.69	12.81 ± 14.11	ns	12.64 ± 8.85	8.77 ± 12.68	ns
Cu (mg/l)	2.13 ± 0.33	1.04 ± 0.31	**	1.72 ± 0.86	0.82 ± 0.35	**
Fe (mg/l)	291 ± 99	415 ± 163	ns	233 ± 112	329 ± 146	**
Mn (mg/l)	8.33 ± 2.90	5.89 ± 2.98	*	5.36 ± 2.56	4.01 ± 2.08	ns
Zn (mg/l)	5.62 ± 2.95	8.64 ± 2.39	*	5.93 ± 2.33	8.34 ± 3.24	ns
B (mg/l)	0.91 ± 0.53	0.80 ± 0.87	ns	0.82 ± 0.54	1.06 ± 1.08	ns
S (mg/l)	23.46 ± 11.00	20.36 ± 8.00	ns	21.50 ± 7.05	16.77 ± 3.96	ns

Obs.:MO=materia orgánica; PD=fósforo disponible; P=probabilidad; ns=no significativo; *P<0.05; **P<0.01

en sedimentos de estanques de agua dulce (Boyd, 1995), donde la concentración media fue de 40 µg/g. El P puede estar presente en el sedimento en forma orgánica y/o inorgánica, siendo que los procesos geoquímicos y biológicos acostumbra a regular su disponibilidad, tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas, esta particularidad le permite al P su liberación y/o adsorción dependiendo de las condiciones del ambiente, el pH y la concentración de elementos como Ca, Fe, S. Por otro lado, el fósforo es un elemento con dinámica diferente en términos de adsorción, mineralización y disponibilidad (Reimer y Huerta-Díaz, 2011, Muendo et al., 2014) y dependiendo del pH, podría efectivamente ser aprovechado por los organismos. En suelos ácidos con alta concentración de Al, el P reacciona para formar compuestos altamente insolubles y ante la aplicación de cal se incrementa el pH, que, a su vez, disminuye la actividad del Al³⁺ permitiendo que se incremente la disponibilidad de P. Este hecho podría ser la causa por la cual, aunque el P forma parte de la materia orgánica y los compuestos químicos en general, no fueron encontradas correlaciones significativas con otros elementos (Tabla 3).

El aluminio en el sedimento tuvo concentraciones entre 20 y 26 µg/g, aunque sin diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los ciclos analizados. La presencia de Al puede ser atribuida a la acidez del medio, lo cual se corrobora en la correlación significativa ($P < 0.05$) con el pH en los estanques de cachama y tilapia (Tabla 3).

Los valores de Ca y Mg fueron mayores en los estanques cultivados con cachama, con diferencia significativa entre ciclos ($P < 0.05$) para el Ca; sin embargo, los valores fueron muy inferiores a los encontrados por Boyd (1995), hecho que podría ser explicado por la baja tasa de encalado y la pérdida de los elementos debido al alto recambio de agua practicado diariamente.

El potasio, otro macronutriente esencial para el crecimiento de fitoplancton en piscicultura, tuvo valores medios entre 31.93 y 72.89 µg/g, mostrando diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) en el sedimento de estanques con cachama. Sin embargo, estos valores concordaron con los reportados por Celis et al., (2009) en piscícolas de salmónidos.

Elementos menores como Fe, Mn, Zn y Cu, son necesarios en pequeñas concentraciones para el crecimiento de plantas y animales, pero altas concentraciones pueden resultar tóxicas para los organismos (Boyd, 1995; Márquez et al., 2008). En este trabajo fueron encontradas altas concentraciones de hierro en los estanques de ambas especies, sin embargo, se presentaron

diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) solamente en los estanques de tilapia. A la par, los valores de Fe fueron superiores a los reportados por Boyd (1995), con valor promedio de 140 µg/g en sedimento de estanques de agua dulce. Según Cuesta y Villaneda (2005) el hierro del suelo se encuentra en forma de óxidos e hidróxidos ferrosos, y que cantidades mayores a 50 µg/g son consideradas altas. La mayoría de estos complejos no son solubles en el agua, pero su solubilidad se incrementa a medida que el pH disminuye (Boyd, 2008). En este estudio el pH del sedimento fue ácido en todos los estanques, con diferencia significativa ($P < 0.05$) en los de cachama. La presencia de Fe se refleja en el color rojizo del sedimento y del agua de los estanques, sin embargo, no se ha evaluado la potencial toxicidad que podría causar a los animales cultivados. Cabe destacar que, a pesar de que el hierro pueda ser responsable también por la acidez de los sedimentos acuícolas, apenas en los estanques de cachama este presentó, aunque baja, una correlación significativa con el pH ($t = -0.12$, $P < 0.05$), lo cual podría estar relacionado a la formación de complejos ferrosos (óxidos e hidróxidos).

El cobre en el sedimento de los estanques estudiados presentó una diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) entre ciclos de cultivo de ambas especies. Boyd (1995) menciona que la concentración de cobre en los sedimentos piscícolas puede verse influenciado por el aporte de sulfato de cobre, que se utiliza como tratamiento o profilaxis, y que Fe, Mn, Zn, Mo son nutrientes altamente variables en agua dulce, de allí la dificultad de realizar mayores análisis interpretativos. Con todo, los valores de este estudio para los metales pesados fueron inferiores a los reportados por Kumar, et al., (2011) en sedimentos de estanques con suministro de aguas residuales.

Durante los ciclos de producción piscícola hay acumulación de materia orgánica (Boyd, 1995), la cual puede afectar el ecosistema acuático receptor, porque la acumulación de sedimentos es uno de los principales efectos negativos de las prácticas de la acuicultura (FAO, 2006). Sin embargo, el incremento en materia orgánica en los estanques, considerando el límite superior, no superó el 0.6%, a pesar de ser estanques con 8 años de uso continuo y no haberse realizado remoción de sedimentos entre los ciclos analizados. Con este resultado se podría suponer que estos estanques tampoco acumulan grandes cantidades de materia orgánica, y que la acumulación aquí estimada no estaría relacionada con la edad de los estanques, ni con la densidad de siembra de los peces, como expuesto por Thunjai et al., (2004) y Boyd et al., (2010).

Tabla 3. Estimativas de los coeficientes de correlación de Kendall⁽¹⁾ entre las variables de la composición del sedimento de estanques de cultivo de cachama (*Piaractus brachipomus*) y tilapia (*Oreochromis* sp.) durante dos ciclos productivos en una granja comercial, en Villanueva, Casanare/Colombia.

Variable	MO	P	pH	Al	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
Sedimento de estanques: de cachama arriba de la diagonal y de tilapia debajo														
MO		0.07	-0.13	0.39	0.27	0.19	0.16	0.09	0.15	0.2	0.51	0.21	-0.03	0.13
P	0.19		-0.05	0.13	-0.08	0.18	-0.15	-0.21	0	0.03	0.07	0.12	-0.07	0.08
pH	0.1	-0.17		-0.45	0.33	-0.1	-0.24	0.25	0.57	-0.12	0.11	-0.1	-0.22	-0
Al	0.12	0.4	-56		-0.12	0.36	0.12	-0.26	-0.32	0.22	0	0.17	0.07	0.04
Ca	0.37	-0.14	0.49	0.26		0.12	0.15	0.56	0.46	-0.03	0.46	0.12	-0.18	0.44
Mg	0.35	0.01	0	0.08	0.29		0.3	0.21	0.08	0.34	-0.1	0.41	-0.35	0.13
K	0.28	-0.13	0.11	-0.2	0.15	0.15		0.3	-0.25	0.31	0.02	0.4	-0.29	0.05
Na	0.2	-0.35	0.41	-0.29	0.51	0.23	0.45		0.34	0.15	0.28	0.3	-0.42	0.37
Cu	0.04	-0.34	0.39	-0.3	0.32	-0.1	0.02	0.47		-0.19	0.45	-0	-0.02	0.2
Fe	0.39	0.07	0.21	-0.03	0.12	0.25	0.28	0.21	0.16		0	0.36	-0.49	-0.2
Mn	0.26	0.11	0.11	0.14	0.18	-0.1	-0.07	0.16	0.5	0.18		0.01	0.02	0.32
Zn	0.37	0.29	0.33	-0.05	0.32	0.07	0.27	0.2	0.14	0.29	0.17		-0.34	0.15
B	-0.2	0.12	-0.35	0.26	-0.25	-0.2	-0.17	-0.31	-0.17	-0.52	0.02	-0.3		0.05
S	0.02	-0.02	0.16	0.02	0.09	0.02	-0.07	0.15	0.33	-0.11	0.4	0.1	0.16	

Obs.: ⁽¹⁾Valor superior a |0.29| para estanques de cachama y |0.27| para tilapia, con excepción de Na:Al es significativo al 5% de probabilidad. MO=materia orgánica; P= fósforo disponible.

En el contexto de los efectos de la acuicultura, las políticas globales de gobernanza designaron la responsabilidad ambiental de los cuerpos de agua en los países. En Suramérica, Brasil tiene estipulados valores permisibles para calidad de agua (CONAMA, 2005), pero no incluye la calidad de los sedimentos. En Colombia, aunque existe preocupación por conocer el grado de contaminación que la materia orgánica oriunda de la piscicultura cause, los estudios sobre los sedimentos piscícolas son incipientes (Yossa et al., 2012, Hernández et al., 2010, 2009) y no hay una normatividad que indique los valores permisibles en cultivo. Otro agravante en el contexto de los sedimentos piscícolas es que, aunque se reconoce el papel que desempeña el sedimento en el sistema productivo, pocas propiedades son consideradas debido a que los análisis de suelo son estandarizados apenas para suelos agrícolas, y este mismo procedimiento es aplicado a los suelos y sedimentos de los estanques acuícolas, lo que repercute en su interpretación (Boyd y Tucker, 1992; Márquez, et al., 2008). En este estudio se abarcó el análisis completo de los sedimentos piscícolas en aras de proporcionar un reporte cuantificable sobre la composición del sedimento en la región de la Orinoquia Colombiana, hecho que podría favorecer futuras aplicaciones de interpretación.

En este estudio se abarcó el análisis completo de los sedimentos piscícolas en aras de proporcionar un reporte cuantificable sobre la composición del sedimento en la región de la Orinoquia Colombiana, hecho que podría favorecer futuras aplicaciones de interpretación.

Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente (MADR), Universidad de los Llanos y Acuicultura Yavir por el financiamiento del proyecto Dinámica, convenio 057/2007.

Referencias

APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC.

Botero PJ. 1999. Paisaje fisiográfico de Orinoquia-Amazonia, ORAM, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, pp. 177-179.

Boyd C. Pond Bottom Soil Analyses vol. 11. Department of Fisheries and Allied, Aquaculture. 2008; Auburn University.p 91-92.

Boyd CE. 1995. Bottom soils, sediment, and pond aquaculture. Chapman & Hall, New York.

Boyd CE, Tucker C S. 1992. Water quality and pond soil analyses for aquaculture Auburn University, Alabama.

Boyd CE, Wood CW, Chaney PL, Queiroz JF. Role of aquaculture pond sediments in sequestration of annual global carbon emissions. Environ Pollut. 2010;158(8):2537-2540.

CCI, MADR 2012. Corporación Colombia Internacional - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Pesca y Acuicultura Agenda Nacional de Investigación en Pesca y Acuicultura, Bogotá, p. 143.

Celis J, Sandoval M, Zagal E. Actividad respiratoria de microorganismos en un suelo patagónico enmendado con lodos salmonícolas. Arch Med Vet. 2009;41:275-279.

CONAMA 2005. Resolução nº 357. In: Conama (Ed.). Ministério do meio ambiente pp. 23.

Cuesta PA, Villaneda E. 2005. El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. En: Manual Técnico "Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos", pp. 1-10.

FAO. 2006. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. El estado actual de la pesca y la acuicultura, Versión SOFIA 2006, pp. 176.

Hernández G, Yossa M, Vásquez-Torres W. Composición del sedimento en estanques piscícolas. Memorias Jornada XV de Acuicultura IALL. 2009;15:82-86.

Hernández G, Yossa M, Vásquez-Torres W. Dinámica del fósforo en estanques piscícolas cultivados con cachama blanca (*Piaractus brachyomus*). Memorias Jornada XV de Acuicultura IALL. 2010;15:78-85.

Holmer M, Duarte C M, Heilskov A, Olesen B, Terrados J. Biogeochemical conditions in sediments enriched by organic matter from net-pen fish farms in the Bolinao area, Philippines. Mar Pollut Bull. 2003;46:1470-1479.

Jiménez-Montealegre R, Verdegem M, Zamora JE, Verreth J. Organic matter sedimentation and resuspension in tilapia (*Oreochromis niloticus*) ponds during a production cycle. Aquacult Eng. 2002;26:1-12.

Joynt M J, Kurup B M, Avnimelech Y. Bioturbation as a possible means for increasing production and improving pond soil characteristics in shrimp-fish brackish water ponds. Aquaculture. 2011;318:464-470.

Kumar B, Shah R, Mukherjee D. Geochemical distribution of heavy metals in sediments from sewage fed fish ponds from Kolkata Wetlands, India. Chem Spec Bioavailab. 2011;23:24-32.

Lefebvre S, Bacher C, Meuret A, Hussenot J. Modeling approach of nitrogen and phosphorus exchanges at the sediment-water interface of an intensive fishpond system. Aquaculture. 2001;195:279-297.

Márquez A, Senior W, Martínez G, Castañeda J, González Á. Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la laguna de Castellero, Venezuela. Revista Científica, FCV-LUZ XVIII. 2008;2:121-133.

- Muendo PN, Verdegem MC, Stoorvogel JJ, Milstein A, Gamal EN, Duc PM, Verreth JA. Sediment Accumulation in Fish Ponds; Its Potential for Agricultural Use. *Int J Fish Aquat Stud.* 2014;1:228-241
- Ramírez J, Noreña J F. Caracterización del sedimento de una laguna tropical rasa. *Caldasia.* 2004;26:173-184.
- Reimer J, Huerta-Diaz M. Phosphorus Speciation and Sedimentary Fluxes in Hypersaline Sediments of the Guerrero Negro Salt Evaporation Area, Baja California Sur, Mexico. *Estuar Coast.* 2011;34:514-528.
- Steeby JA, Hargreaves JA. Accumulation, organic carbon and dry matter concentration of sediment in commercial channel catfish ponds. *Aquacult Eng.* 2004; 30:115-126.
- Thunjai T, Boyd C E, Boonyaratpalin M. Bottom soil quality in Tilapia ponds of different age in Thailand. *Aquacult Res.* 2004;35:698-705.
- Yossa M, Hernández-Arévalo G, Vásquez-Torres W. Composición nutricional del sedimento en estanques con tilapia roja. *Orinoquia.* 2012;16(2 suplemento):217-224.
- Yossa M, Hernández G, Vásquez W, Ortega J. 2011. Materia orgánica en estanques piscícolas. Universidad de Los Llanos, Instituto de Acuicultura de Los Llanos iall–Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, p. 26.
- Zapata HR. 2006 Química de los procesos podogenéticos, Universidad Nacional de Medellín, p. 63 -65.