

INVESTIGACIÓN

Efluente Piscícolas: Características Contaminantes, Impactos y Perspectivas de Tratamiento

Mónica Alexandra Luna Imbacuan

Grupo de Estudios en Bioindicación y Conservación, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia.

Recibido: 27 de mayo de 2011; revisado: 20 de junio de 2011; aceptado: 16 de julio de 2011.

Resumen— Las técnicas habituales de cultivo de peces, pueden generar impactos negativos sobre el medio ambiente, en especial hay que considerar los asociados a las descargas de sus efluentes caracterizados por ser ricos en materia orgánica, nutrientes y sólidos en suspensión que pueden alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua, y por lo tanto las poblaciones de organismos acuáticos. Ante lo mencionado en otros países se han estudiado y desarrollado diferentes alternativas de tratamiento como son los sistemas de filtración, sedimentación, humedales, digestión anaerobia, entre otras. En el caso de Colombia, el tema empieza a cobrar importancia.

Palabras Clave: Residuos Piscícolas, Tratamiento de Efluentes, Impactos en el Ambiente.

Abstract— The usual techniques of fish farming, can produce negative impacts on the environment, especially must be considered the related to the discharge of effluents characterized as being rich in organic matter, nutrients and suspended solids that can alter the physical, chemical and biological properties of water bodies, and therefore populations of aquatic organisms. As mentioned before, in other countries have been studied and developed various treatments such as filtration, sedimentation, wetlands, anaerobic digestion, among others. In the case of Colombia, the issue starts to gain importance.

Keywords: Fish Waste, Effluent Treatment, Environmental Impacts.

I. INTRODUCCIÓN

Colombia posee una de las mayores ofertas hídricas del planeta, otorgándole condiciones especiales para el desarrollo de la acuicultura. Según la FAO, (1997), [3] “La Acuicultura es la cría y cultivo de los organismos acuáticos, ya sean peces, moluscos, crustáceos o plantas acuáticas”. En la acuicultura, la piscicultura se constituye como la actividad dedicada al cultivo de peces bajo manejo e implementación de buenas prácticas (desarrollo genético, incubación, alimentación, reproducción y sanidad de las especies). En este contexto el desarrollo piscícola colombiano se ha orientado al cultivo de tilapia, cachama y trucha, con producciones de 49%, 31% y 16%, respectivamente [1, 4].

En los últimos años la piscicultura no se había considerado como una actividad contaminante; sin embargo, el rápido

crecimiento de esta actividad ha puesto en riesgo la sustentabilidad de las granjas piscícolas, por lo que agencias gubernamentales de varios países han reglamentado dicha actividad. Según la IFC (2007), [5] el desarrollo piscícola pone de manifiesto un amplio abanico de posibilidades asociadas con el medio ambiente, dentro de las cuales se encuentran: la transformación de hábitats naturales durante la fase de construcción; la posible introducción en el medio natural de especies foráneas criadas selectivamente o modificadas genéticamente; la posible pérdida de recursos genéticos debido a la recolección de larvas, alevines o juveniles de los ecosistemas para la producción acuícola; el uso de ingredientes de origen animal en la producción de alimento para peces (captura y procesamiento de peces pelágicos silvestres como anchoas, parrochas, arenques, sardinas, lanzones, espadines y capelanes); el desarrollo de la resistencia antibiótica en las bacterias patogénicas que pueden propagarse de las piscifactorías a la reserva silvestre y por último, el vertido de aguas residuales durante la fase de operación, las cuales según Crippset al., (2000) [14], se caracterizan por contener: alimento no consumido, productos del metabolismo de los peces (heces y orina), químicos y terapéuticos, peces muertos y enfermos, patógenos; Sin embargo la principal fuente de residuos potencialmente contaminantes son los residuos de la alimentación, como alimento no consumido, residuos de alimento sin digerir y productos de excreción, los cuales si no se gestionan de manera correcta puede ocasionar problemas tales como: eutrofización de la columna de agua, agotamiento de oxígeno y otros que perjudican al medio ambiente [5, 6].

Dentro de los múltiples impactos asociadas a esta actividad, el vertimiento de efluentes piscícolas asociado con los residuos derivados de la alimentación, se constituye en el objeto de revisión de este artículo, es así como se pretende dar una mirada global de las características contaminantes de los efluentes piscícolas, sus efectos y algunas alternativas de tratamiento. Se da relevancia a los efluentes provenientes del cultivo de tilapia y trucha, teniendo en cuenta que en conjunto representan más del 60% de la producción nacional, y dado el gran potencial que estas especies revisten en términos de mercado y demanda mundial [2].

II. PROCESO PRODUCTIVO

Se conocen una gran diversidad de tecnologías para la producción piscícola, cuyas variables generalmente pueden estar asociadas al flujo de agua empleado (agua en calma, flujo continuo, recirculación), densidad de siembra y tipo de alimentación (extensivo; sin alimentos, semiintensivos; suplementos alimenticios y /o fertilizantes, intensivos; uso de alimentos formulados) y a la especie.

En general el proceso de producción de una planta piscícola implica las siguientes etapas: 1. Preparación de los estanques, 2. Siembra con alevines o juveniles, 3. Alimentación inicial de alevines o juveniles, 4. Fase de crecimiento (levante y engorde), 5. Cosecha y limpieza de estanques. Las primeras cuatro etapas han sido agrupadas por algunos autores, denominandola operación normal, mientras que la etapa número cinco se le denomina operación de cosecha. El periodo de producción varía de unas especies a otras y de regiones a otras, esto depende del tamaño del pez requerido en el mercado y de la tasa de crecimiento de las especies. En el caso de la tilapia roja, el periodo de crecimiento puede durar en promedio 7 meses y el de la trucha 8 meses, valores variables dependiendo de la temperatura del agua, tipo y calidad de alimento [4, 5].

III. PRODUCCIÓN DE RESIDUOS

Para aumentar la productividad de los peces, se les debe proporcionar alimento artificial de alta calidad apropiado para cubrir sus requerimientos nutricionales y fisiológicos. Generalmente cuando los cultivos tienen mayor densidad de siembra, mayor es la dependencia de alimentos balanceados [6, 7].

Según Cripps et al., (2000), [14] la principal fuente de residuos de la industria piscícola, potencialmente contaminantes son los derivados de la alimentación, como alimento no consumido, residuos de alimento sin digerir y productos de excreción (heces y orina). Algunos autores mencionan que del total de alimento adicionado a un estanque piscícola el 70% - 75% es asimilado, lo que significa que entre el 25% y el 30% se convierte en residuo fecal [9].

Los desechos derivados de la alimentación son ricos en Fósforo (P) y Nitrógeno (N) los cuales han sido considerados como dos de los más importantes agentes contaminantes del medio natural contenidos en los efluentes de las operaciones de acuicultura [10].

En el caso de híbridos de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) sembradas en agua dulce y tanques en tierra, se reporta que del nitrógeno total introducido, solo 17.5% fue asimilado por los peces [12]. Así mismo, para la producción de Salmones Buschmann, (2001), [13] reporta que del total del alimento suministrado cerca de un 25% de los nutrientes son asimilados por éstos, mientras que un 75% a 80% queda en el ambiente en forma de residuo. Sin embargo, de esta concentración total de residuos, parte se encuentra en la fracción suspendida y el resto en forma diluida, cerca del 7% - 32% de Nitrogeno total y 30% - 84% de Fósforo total se encuentra en la fracción de

partículas y el resto es transportado en el efluente en la fracción disuelta [14].

De acuerdo con su concentración en Sólidos Suspendidos Totales (SST) las granjas piscícolas producen dos tipos de efluentes: El primero es el efluente principal cuya concentración de SST usualmente es menor que 5 mg l-1 asociado a la operación normal y el segundo asociado a una descarga periódica por labores de limpieza y mantenimiento de los estanques, con concentraciones de SST desde 100 mg l-1 hasta de 2050 mg l-1, constituidos principalmente por alimento no consumido, no digerido y heces [15, 16].

Otro contaminante de interés en los efluentes piscícolas es la materia orgánica contenida tanto en la fracción disuelta como particulada. Cripps et al., (2000) [14], indican que gran parte de la materia orgánica bio-degradable que produce la DBO y reduce los niveles de Oxígeno Disuelto (OD) está presente en la fracción de partículas. Kelly et al. (1997) citado por Cripps et al., (2000) [14], demostró remociones de DBO en un 79% después del paso de un efluente rico en partículas a través de un microfiltro de tamaño de poro de 60 µm.

En general la composición de los efluentes piscícolas puede presentar grandes variaciones dependiendo de factores como la densidad de siembra, número de estanques cultivados, frecuencia, tipo de alimentación, especie cultivada etc., tal como se evidencia en la tabla 1 y 2.

TABLA I
VALORES PROMEDIO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL EFLUENTE DE CULTIVO DE TILAPIA.

Parametro	O_N	O_C	O_N	O_C
	Tilapia Roja García y Luna, (2009), [17]		Tilapia Nilotica De la Cruz y Salazar (2007), [16]	
DQO(mgl ⁻¹)	63.67	105	7.03	151.8
DBO(mgl ⁻¹)	13.20	16.89	2.77	99.6
SST(mgl ⁻¹)	66.37	86-185	17.2	1780
PT (mgl ⁻¹)	0.066	0.13		
NT(mgl ⁻¹)	2.60	3.58		

O_N: Operación Normal O_C: Operación de cosecha.

TABLA II
VALORES PROMEDIO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL EFLUENTE DE CULTIVO DE TRUCHA.

Parámetro	O_N	L_E	L_E	L_E
	De la Cruz Y Salazar, [16]	(2007)	(Stewart, et al.,(2006), [18])	Piedrahita, (2003), [19]
DQO(mgl ⁻¹)	13.19	450		78000- 113000
DBO(mgl ⁻¹)	4.68	323		
SST(mgl ⁻¹)	4.18	763		
PT (mgl ⁻¹)			2405	0.7-2.4
NT(mgl ⁻¹)			2080	

O_N: Operación Normal L_E: Limpieza de estanques.

IV. EFECTOS AMBIENTALES

Los efluentes piscícolas pueden contener una gran variedad de constituyentes, material orgánico e inorgánico, nutrientes, tanto en forma particulada como disuelta, que al ser liberados al ambiente puede causar alteraciones negativas. El impacto

asociado a esta actividad depende de las características contaminantes del efluente así como de la capacidad de asimilación de los ecosistemas. El agua que sale del estanque (efluente) al ser vertida a un cuerpo de agua natural puede generar alteraciones como disminución en la concentración de Oxígeno Disuelto (OD), aumento en la concentración de sólidos en suspensión (SST), aumento en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), aumento en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), formas de Nitrógeno y Fósforo [20].

La presencia de sólidos en suspensión genera desequilibrios en los ecosistemas acuáticos, interfiriendo en la capacidad de penetración lumínica que se ve reflejada en la disminución de las tasas de producción primaria alterando las cadenas tróficas. Cobra importancia además, por el aporte de Carbono orgánico y nutrientes como el Fósforo y el Nitrógeno. Según Weston [22], el aporte de compuestos orgánicos ocasiona cambios en las comunidades bentónicas de las zonas aledañas al cultivo. Por su parte la introducción de nitratos y fosfatos en el medio acuático es de particular preocupación, ya que promueven el crecimiento de algas que a su vez producirá alteraciones en parámetros como pH y oxígeno disuelto. Además de lo anterior, la materia orgánica presente en el agua es destruida por organismos descomponedores (bacterias), que demandan oxígeno para actuar iniciando así un proceso de competencia por oxígeno con las especies ícticas, hasta crear ambientes anaeróbicos dando lugar a putrefacciones acompañadas de malos olores, aumentando los parámetros de DBO, DQO y disminuyendo la profundidad de los cuerpos de agua por acumulación de sedimentos [14, 23, 24].

V. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES PISCÍCOLAS

Según lo reportado por True et al., (2004) [15], en las granjas piscícolas existen dos tipos de efluentes: el primero de bajas concentraciones y altos flujos, y el segundo de menor flujo y mayor concentración de contaminantes. En este mismo sentido se han orientado sus tratamientos.

Se han desarrollado varios tipos de filtración mecánica y su uso se ha orientado tanto para la eliminación de partículas sólidas como para la concentración del efluente, algunos ejemplos de esta tecnología son los filtros de pantallas, filtros de bolsa y de cartucho, filtros de medios porosos y granulares, y filtros de bolas. Comparativamente todos tienen ventajas y desventajas cuando se consideran pérdidas de carga, carreras de filtración, tasas de filtración y facilidad de limpieza a contracorriente [25, 26].

García y Luna, (2009) [17], evaluaron un Filtro en grava de Flujo Ascendente en el tratamiento de efluentes de operación normal del cultivo de Tilapia roja, encontrando remociones para SST (57%), PT (54%), NT (41%), DBO5 (21%), DQO (25%), así como reducciones de coliformes fecales (0,97 Unidades log) a una velocidad de filtración de 0,6 m/h.

Otros autores reportan el uso de tanques de sedimentación, la cual es muy común para buscar el espesamiento de los efluentes del lavado de estanques. Una vez la carga de sólidos abandona los dispositivos de espesamiento, ésta es dispuesta en tierra para su infiltración o usada para compostaje y vermicompostaje [27, 29, 30].

Otras tecnologías reportadas en el tratamiento de efluentes del cultivo de tilapia incluyen el uso de Osmosis inversa, evaluado por QIN et al., (2005) [11], en la remoción de nitrógeno obteniendo tasas de remoción en el rango de 90% a 97%. Así mismo Redding, et al., (1997), [30] evaluaron la efectividad de remoción de tres sistemas de humedales: 1. Sistema emergente, 2. Sistema flotante y 3. Sistema sumergido. Las tasas de remoción de Fósforo total fueron de 3.16 Kg/Ha día, 0,46 Kg/Ha. día y 2.19 Kg/Ha. día respectivamente. Así mismo, el sistema emergente reportó reducciones promedio de 10,7%, 15,4% y 8,6% para amoníaco-N, Nitrato-N y Fosfato respectivamente.

La Digestión anaerobia ha sido reportada en el tratamiento de efluentes de lavado de estanques de producción de Trucha Arco iris, reportando ventajas comparativas sobre otros sistemas de tratamiento por la obtención de subproductos (lodo y biogás) susceptibles de aprovechamiento [31].

Por su parte Fernández, (2011) [33], ha dirigido la adaptación de varias de las alternativas tecnológicas arriba mencionadas, para el tratamiento de efluentes piscícolas en el departamento del Cauca, obteniendo resultados interesantes que contribuyen al desarrollo de dicha actividad en condiciones mas amigables con el ambiente.

VI. CONCLUSIONES

El conocimiento de las características contaminantes y adaptación de alternativas de tratamiento de efluentes piscícolas para el caso de Colombia es aún muy incipiente, en consecuencia se debe investigar más en este campo del conocimiento, en el cual es importante el desarrollo y adaptación de tecnologías de tratamiento al final de tubo, pero también se debe considerar el desarrollo de investigación en función de técnicas de producción más limpia, teniendo en cuenta que los alimentos formulados que hacen parte de la dieta de muchas especies de peces cultivadas, se consideran como los principales generadores de residuos potencialmente degradadores de la calidad de los cuerpos de agua.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento al Ingeniero Javier Ernesto Fernandez por sus aportes y apoyo impartido a mi formación profesional.

REFERENCIAS

- [1] Sistema de Información Nacional de Colombia. SIAC- Sistema de Información Nacional de Colombia. [En línea] 2011. <http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=42&conID=910>.
- [2] FAO de la O.N.U.-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -para un Mundo sin Hambre. Departamento de Pesca y Acuicultura. Vision general del sector cuicola nacional. Colombia. . [En línea] 2006-2011. http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es.
- [3] FAO-. Directrices técnicas para la pesca responsable 5. Desarrollo de la Acuicultura. [En línea] 1997. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/>.
- [4] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural . Observatorio Agrociencias Colombia: Documento de trabajo No 72. La Cadena de la piscicultura en Colombia. Una mirada global de su estructura y Dinamica.1991-2005. [En línea] 2005. http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/437/1/200511216431_5_caracterizacion_piscicultura.pdf.

- [5] Corporación Financiera Internacional-IFC. Grupo del Banco Mundial. 2007. Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para la acuicultura. s.l. : grupo del banco mundial, Documento de referencia técnica.
- [6] UICN-Unión Mundial para la Naturaleza, Gland, Suiza y Málaga. Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Mediterránea. Interacciones entre la acuicultura y el medio ambiente. España. : Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, 2007, pág. 114.
- [7] Ceniagua-Colciencias. Evaluación del cultivo de Tilapia el Nilo y Tilapia Roja en diferentes sistemas intensivos de Granjas camaronera como alternativa productiva del sector camaronicultor Colombiano, 2009.
- [8] Sanz, Fernando, La alimentación en piscicultura. ESPAÑA. : s.n., XVII Curso de especialización FEDNA, 2005.
- [9] Hussar, G., Conceição, C., Paradelo, A., Jonas, T., Rodrigues, J. y Barin, D., Tratamiento da agua de escoamento de tanque de piscicultura através de leitos cultivados de vazao subsuperficial: análise da qualidade física e química. Eng.ambient., Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, 2004, págs.025-034.
- [10] Losordo, T.M. y Westers, H., System carrying capacity and flow estimation Elsevier, Timmons, M.B., Losordo, T.M., Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management, 1994, págs. 9–60.
- [11] Qin, G. y otros, Aquaculture wastewater treatment and reuse by wind-driven reverse osmosis membrane technology: a pilot study on Coconut Island, Hawaii, Aquacultural Engineering, 2005, págs. 365–378.
- [12] Acosta-Nassar, M.V., Moreh, J.M. y J. E. Corredor., The Nitrogen budget of a tropical semi-intensive freshwater fish culture pond., Journal of the World Aquaculture Society, 1994, págs. 261-270.
- [13] Buschmann, A., Impacto ambiental de la acuicultura. el estado de la investigación en Chile y el mundo. un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos. Osorno, Chile : 2001, Terram Publicaciones.
- [14] Cripps, S. J y Bergheim, A. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems., Aquacultural Engineering, 2000, págs. 33-56.
- [15] True, B, Johnson, W y Chen, S, Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization., Aquacultural Engineering, págs. 129-144.
- [16] De la Cruz, C.A y Salazar, A.F.. Caracterización y estudio de tratabilidad del efluente de estaciones piscícolas. Colombia, Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Departamento Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, 2003, Popayan.
- [17] García Galindo, Carolina y Luna Imbacuan, Monica, Evaluación de un Sistema de Filtración en Grava de Flujo Ascendente (FGA) como Alternativa para el Tratamiento de los Efluentes en la Producción de Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*), Trabajo de grado (Ingeniera Ambiental). Departamento Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, 2009, Popayán.
- [18] Stewart, N, Boardman, G y Helfrich, L.. Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. Aquacultural Engineering, 2006, págs. 191-198.
- [19] Piedrahita, R.. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through aquaculture effluents through. Aquaculture, 2003, págs. 35-44.
- [20] Pardo S, Soriano, E y Suarez, H.. Tratamiento de efluentes: Una vía para la acuicultura responsable. 2006, págs. 20-29.
- [21] Palma, C. R., Aprovechamiento de Materia Orgánica De Efluentes De Instalaciones De Producción de Salmones en Pisciculturas en el Engorde de Camarón de Río del Sur, *Samastacus spinifrons*. Philippi 1882. TEMUCO : Universidad Católica de Temuco, Facultad de Acuicultura y Ciencias Veterinarias, Escuela de Acuicultura, 2004.
- [22] Weston, D. 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient., marine ecology progress series, págs. 233-244.
- [23] Gál, D. y otros. 2003. Experiments on the nutrient removal and retention of a pond recirculation system., Hydrobiologia, págs. 767–772.
- [24] EPA. United States Environmental Protection Agency. 2004. Rules and regulations. Effluent Limitations Guidelines and New Source Performance Standards for the Concentrated Aquatic Animal Production Point Source Category. Final rule.
- [25] Pfeiffer, T., Osborn, A. y Davis, M., Particle sieve analysis for determining solids removal efficiency of water treatment components in a recirculating aquaculture system., Aquacultural Engineering, 2008.
- [26] Malone, R.F. y Beecher, L.E., Use of floating bead filters to recondition recirculating waters in warmwater aquaculture production systems., Aquacultural Engineering, 2000, págs. 57–73.
- [27] Sharrer, M.J. y otros, Membrane biological reactor treatment of a saline backwash flow from a recirculating aquaculture system., Aquaculture Engineering, 2007, págs. 159–176.
- [28] Davidson, J, Helwig, N y Summerfelt, S., Fluidized sand biofilters used to remove ammonia, biochemical oxygen demand, total coliform bacteria, and suspended solids from an intensive aquaculture effluent. Aquacultural Engineering, 2008.
- [29] Ewart, J.W, Hankins, J.A y Bullock, D. State Policies for Aquaculture Effluents and Solid Wastes in the Northeast Region. Dartmouth, North Dartmouth, MA. : Northeastern Regional Aquaculture Center. University of Massachusetts., Bulletin No. 300, 1995.
- [30] Redding, T. The Treatment of Aquaculture Wastewaters—A Botanical Approach. Journal of Environmental Management, 1997, Pag. 283–299.
- [31] Marsh, L. y otros, Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting., Bioresource Technology, 2005, págs. 413–418.
- [32] Mirzoyan, N, Tal, Y y Gross, A., Anaerobic digestion of sludge from intensive recirculating aquaculture systems. Aquaculture, 2010, págs. 1-6.
- [33] Fernandez, J. Desarrollo y adaptación de Tecnología para el Tratamiento de Efluentes Piscícolas. 2007-2011 , Universidad del Cauca.

Mónica Alexandra Luna Imbacuan: Ingeniera Ambiental egresada de la Universidad del Cauca, candidata a Magister en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle. Actualmente trabaja en la línea de investigación de tratamiento de aguas residuales, específicamente en el tratamiento de efluentes piscícolas.