

Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible: revisión del tema

Use and Management of Fish Farming Sediments as a Basis for Sustainable Management: a Review

JULIO A. GONZÁLEZ ACOSTA

Biólogo Esp., MSc. Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de La Salle.
jagonzaleza@unisalle.edu.co

RESUMEN

La piscicultura es un medio eficiente para producir alimento de alta calidad, que involucra la interacción entre agua y sedimento; por esta razón, el manejo inadecuado de cualquiera de estos dos elementos puede perjudicar la sobrevivencia y crecimiento de las especies cultivadas. Se considera importante caracterizar el sedimento de estanques piscícolas y determinar algunos parámetros como la concentración de materia orgánica, pH, macro y micronutrientes, con el fin de definir un manejo sostenible que incluya su adecuada disposición, uso y manejo de los sedimentos que produce la actividad piscícola.

Palabras clave: piscicultura, sedimento, laguna de oxidación, manejo sostenible.

ABSTRACT

Fish farming is an efficient means to produce high-quality food, involving the interaction between water and sediment; therefore, the inadequate management of any of the two elements can jeopardize the survival and growth of harvested species. It is important to characterize the sediment of fish farming reservoirs and determine specific parameters such as the concentration of organic matter, pH, macro and micronutrients, in order to define a sustainable management for the adequate disposal, use and management of sediments produced by fish farming.

Keywords: Fish Farming, Sediment, Oxidation Lagoon, Sustainable Management.

RECIBIDO: 21/08/2012 • APROBADO: 20/09/2012

Introducción

El sedimento hace parte integral de la actividad piscícola y se define como la capa superficial del fondo del estanque o de la laguna de oxidación que se forma por la sedimentación de sólidos en suspensión, nutrientes y partículas del suelo que están en contacto con el agua. Se calcula que el 5% en peso del alimento dado a los peces no es ingerido y que un 15% del alimento suministrado se convierte en heces, lo que permite estimar que un 20% del alimento ofrecido en los cultivos se transforma en sedimento.

A nivel ambiental toda explotación de peces debe disponer de un área para la recolección de los sedimentos que genera, en donde se almacenen por intervalos de tiempo variables, de manera que permita y facilite los procesos normales de degradación orgánica. En el país, las Corporaciones Autónomas Regionales no disponen de manuales de manejo en este sentido y su control se basa solamente en constatar la existencia de tales lagunas de sedimentación.

La investigación nacional referente al tema es escasa, pudiéndose citar el análisis de sedimentos de estaques piscícolas realizado por la Universidad de los Llanos (2009), donde se caracteriza la concentración de materia orgánica, pH,

macronutrientes y micronutrientes en dos granjas localizadas en Villanueva (Casanare) y Lejanías (Meta), dedicadas al cultivo de cachama blanca. Los análisis revelaron diferencias entre las fincas para los valores de pH, fósforo, calcio, cobre, hierro, zinc, boro y azufre.

Se puede decir que los lodos provenientes de piscicultura poseen un alto contenido de materia orgánica y nitrógeno, lo que mejora las condiciones del suelo en relación con la fertilización y la promoción de actividad microbiana; las concentraciones de metales pesados en lodos no sobrepasan los límites establecidos. Se podrían aplicar en suelos degradados, preservando y mejorando sus características, evitando su deterioro.

Materiales y métodos

Durante un periodo de dos semestres académicos se adelantó una recopilación sobre el material publicado tanto físico como digital, referente al tema de los sedimentos o lodos producidos por la actividad piscícola y sus posibles alternativas de uso y manejo. Se consultó en diversas fuentes como universidades, entidades oficiales ambientales (CAR, Cormacarena) y buscadores en la red. La información obtenida fue certificada de forma secundaria a través de los pocos expertos que existen en Colombia sobre el tema.

Resultados y discusión

Contexto

De acuerdo con Buschmann (2001), la piscicultura impacta en el medio ambiente a través de tres procesos: el consumo de recursos, el proceso de transformación y la generación del producto final. Con el fin de producir el alimento de especies carnívoras como los salmónidos (truchas y salmones), se está generando una alta presión sobre los bancos de peces. Además, la intervención intensiva que generan las prácticas acuícolas no controladas en todos sus aspectos puede convertirse en un factor de degradación ambiental. Esta degradación se ocasiona cuando se introducen en el agua importantes cantidades de desechos, como el alimento no consumido por los peces, heces y material particulado, que se sedimenta en el sustrato, deteriorando espacios en los que también permanecen otras especies; al final, se tiene que una significativa porción de los nutrientes quedan disueltos en la columna de agua, producirá fenómenos de eutroficación.

Usualmente, las actividades humanas producen cambios en los ecosistemas, los que muchas veces, generan efectos adversos en el medio ambiente. En ese contexto, la acuicultura, al igual que otras actividades económicas, usa y transforma los recursos en productos con un valor económico y social. Al hacerlo produce

desechos que, a su vez, requieren de otros servicios ambientales que los ayudan a ser asimilados o reciclados. Todo esto no sólo produce un costo a la sociedad en general sino, además, compromete la sustentabilidad de la acuicultura misma (Buschmann, 2001).

En todos los sistemas acuáticos el sedimento desempeña un importante papel en la dinámica global del ecosistema; el suelo de los estanques piscícolas no difiere grandemente de los suelos utilizados para la agricultura en sus características físicas, químicas y mineralógicas, la diferencia radica en que el suelo del estanque está continuamente inundado y el intercambio de compuestos entre los dos compartimentos (agua y sedimento) afecta en alto grado a la composición del agua (Boyd, 1995).

Problemática de los sedimentos piscícolas

En términos ambientales es una exigencia que toda explotación de peces destine áreas dirigidas a la recolección de los sedimentos producidos, en donde estos se almacenen, y que conforme avanza el tiempo, se facilite que los procesos de degradación orgánica se lleven a cabo normalmente. Aun con estos esquemas instalados y operando, toda laguna de oxidación sufre procesos de colmatación y, debido a que la producción de sedimentos es un evento constante, su vida

útil es limitada, obligando a establecer rutinas de manejo que aseguren su eficiente funcionamiento. En tal sentido, una vez ocurre la colmatación, el problema de mantenimiento se dirige fundamentalmente hacia el retiro, disposición y uso adecuado del material sedimentado.

Lo anterior supone que las limpiezas se efectúan localizadas en el tiempo y en elevados volúmenes, indicando que la descarga hacia el efluente puede ser intensa en un momento dado y que esto afecta ambientalmente la microcuenca y la calidad del agua de manera negativa. Los entes ambientales no disponen de regulación específica en este sentido, por esta razón, su control se puntualiza en constatar la existencia de áreas destinadas a la sedimentación del agua utilizada en las granjas.

Salazar, Alfaro, Teuber y Saldaña (2005) estiman que por cada tonelada de salmón producido se generan 1,4 toneladas de lodo, lo que indica que se deben buscar alternativas para su destino y uso. Blanco (1995) menciona que en España, una granja truchícola que produzca 150 toneladas anuales de carne, estaría generando 50 toneladas de sólidos.

En cultivo de truchas, Colombia produce cerca de 8000 toneladas de carne por año (Rosado, 2012) y se puede estimar que por cada kilo se tienen cuatro animales, lo que representaría unos 32.000.000

de truchas en procesos de levante y engorde. Según lo anterior, esta producción podría generar unas 2600 toneladas de sólidos por año, cifra que solamente es un indicativo teórico y que requiere ser recalculada bajo el concepto de pérdidas por alimentación y digestibilidad del alimento ofrecido. Estos registros ponen en evidencia la falta de información que existe sobre la producción, manejo y caracterización de estos desechos en el país. Más aún, la ausencia de una reglamentación clara sobre el particular y entendiendo que la dinámica de los sistemas de almacenamiento (cuando estos existen) conlleva que, en un momento dado, todas las explotaciones deberían proceder con el retiro del material acumulado, lo anterior pone en evidencia que, se trata de un problema ambiental de alto impacto, sin que se tengan directrices claras sobre las alternativas de manejo que se puedan implementar.

Los sedimentos piscícolas

El sedimento, como parte integral de la piscicultura, puede definirse como la capa superficial del fondo del estanque (o laguna de oxidación), que se forma por la sedimentación de sólidos en suspensión, nutrientes y partículas del suelo que están en contacto con el agua. En el cultivo de peces, la interfase agua-sedimento es altamente dinámica y del nivel de oxígeno y el pH dependen muchas reacciones e interacciones químicas, por ejemplo:

- El carbono (C) puede unirse a 4 hidrógenos para formar metano (CH_4), a hidrógeno y oxígeno para formar ácido carbónico (H_2CO_3), a oxígeno para formar dióxido de carbono (CO_2). Estos compuestos formados son gases que afectan el medio ambiente acuático y la producción piscícola; el metano resulta tóxico y los otros compuestos son responsables de la acidificación del medio.
- El nitrógeno se une a 4 hidrógenos y forma el amoníaco (NH_4), este a su vez puede perder un hidrógeno y formar amonio (NH_3), o puede unirse al oxígeno para formar nitrito (NO_2) o nitrato (NO_3). El amonio y el nitrito son compuestos tóxicos para los peces de cultivo.
- El azufre (S), se une al hidrógeno para formar sulfuro de hidrógeno (H_2S), gas incoloro con olor fétido y más tóxico que el monóxido de carbono (CO) en los sistemas acuáticos. Al unirse al oxígeno e hidrógeno formará ácido sulfúrico (H_2SO_4) que acidifica el medio.

Estas son tan solo algunas reacciones que ocurren en la columna de agua, en el sedimento y en la interfase, pues la expresión de la actividad de todo ecosistema acuático es dinámica y sus reacciones dependen de los componentes del suelo y del manejo que se brinde al cuerpo de agua (estanque o laguna de oxidación) (Yossa, Hernández, Vásquez y Ortega, 2011). La materia orgánica de granjas

piscícolas debe ser asimilada por el sistema para disminuir el impacto ambiental. La materia orgánica puede definirse como la fracción del suelo compuesta por el resto de alimento no consumido, organismos de origen animal y vegetal en diferentes estados de descomposición y sus principales componentes son carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre.

La materia orgánica se forma en estanques de piscicultura por la acumulación de los elementos suministrados al estanque (alimento, abonos) y por los productos del sistema como heces de animales, desechos metabólicos, bentos, plancton, hongos y bacterias que, sumados a las partículas del suelo erosionado, forman el sedimento. En la caracterización del tipo y calidad de materia orgánica en estanques se tiene que:

- Depende del origen del suelo, cantidad y calidad del alimento suministrado y las condiciones climáticas. En climas tropicales la temperatura favorece el crecimiento de las bacterias que mineralizan la materia orgánica presente en la columna de agua y en la interfase agua-sedimento; es normal además que, conforme avanza el tiempo, se disminuya la profundidad de los estanques o de las lagunas de oxidación en la medida en que el material mineralizado pasa a formar parte del suelo.

- Cuando no hay un manejo adecuado del sistema en las partes más profundas, la capa de materia orgánica aumenta, las bacterias actúan en ausencia de oxígeno y no la mineralizan; se acumula entonces y forma una capa gruesa y fangosa de color negruzco, que además genera gases como sulfuro y metano, perjudiciales para la producción y para el medio ambiente (Yossa et ál., 2011).

Hernández, Yossa y Vásquez (2010) determinaron el comportamiento del fósforo disponible (ortofosfato) en cultivos de cachama blanca, (*P. brachypomus*). Se seleccionaron dos granjas, una en Villanueva (Casanare), y otra Lejanías (Meta), en las que se evaluó la cantidad de fósforo disponible en el afluente, los estanques y en los efluentes, durante una fase de cultivo. Los resultados de fósforo disponible en el agua afluente, de los estanques y de los efluentes en Villanueva fueron en su orden: 0,072-0,105; 0,052-0,116 y 0,013-0,163 ppm; 0,043-0,151; 0,030-0,086 y 0,031-0,091 ppm en Lejanías respectivamente. Los valores reportados en sedimento estuvieron en 42,7-50,6; 60,58-68,43 y 16,10-30,8 en Villanueva y 23,1-29,1; 25,5-82,9 y 21,0-79,9 en Lejanías. Estos resultados evidencian que el ortofosfato no tiene efecto acumulativo durante la fase de cultivo, siendo los primeros reportes para la región y que podrían servir como parámetros de referencia, ante la falta de

legislación sobre los vertimientos de la actividad piscícola en Colombia.

A continuación se presenta la tabla 1 con los valores promedio de fósforo disponible en agua y sedimento de afluente y efluente en estanques de Villanueva, Casanare.

Tabla 1. Registros de fósforo disponible en agua y sedimento en Casanare

Muestreo	Tipo de muestra	Afluente	Efluente
1	Agua	0,105	0,162
	Sedimento	43,900	16,100
2	Agua	0,091	0,092
	Sedimento	50,600	30,800
3	Agua	0,095	0,053
	Sedimento	45,100	29,900
4	Agua	0,072	0,013
	Sedimento	420,700	22,400

De igual manera, se presenta en la tabla 2 los valores promedio de fósforo disponible en agua y sedimento de afluente y efluente en estanques de Lejanías, Meta.

Tabla 2. Registros de fósforo disponible en agua y sedimento en Meta

Muestreo	Tipo de muestra	Afluente	Efluente
1	Agua	0,077	0,091
	Sedimento	24,50	59,000
2	Agua	0,045	0,031
	Sedimento	23,10	79,900

Muestreo	Tipo de muestra	Afluente	Efluente
3	Agua	0,151	0,047
	Sedimento	29,100	35,300
4	Agua	0,054	0,040
	Sedimento	24,500	21,000
5	Agua	0,043	0,060
	Sedimento	30,800	29,100

Los resultados del trabajo demuestran que tanto en el agua como en el sedimento, la cantidad de fósforo disponible que ingresa con el afluente y el manejo de los cultivos, puede disminuir en el efluente, quedándose la mayor cantidad en el sedimento del estanque, bien sea en forma orgánica o inorgánica. Esto es porque el sedimento de los estanques piscícolas tiene diferentes minerales catiónicos cuya cantidad depende de la estructura geoquímica de la región, además, el sedimento de los sitios analizados difiere en cuanto a su contenido de los macro y micronutrientes; igualmente, en los sitios de estudio, el aluminio estuvo entre $0,16 \pm 0,06$ y $0,13 \pm 0,03$ meq/100 g, hecho que ayudaría a la rápida precipitación del ortofosfato o fósforo disponible.

Composición de sedimentos piscícolas

Márquez (2005) en dos granjas chilenas, estudió el tratamiento de lodos prove-

nientes de lagunas de oxidación de dos granjas de piscicultura, mediante un sistema de digestión anaerobio. La tabla 3 presenta los registros obtenidos.

Tabla 3. **Composición de sedimentos en dos granjas chilenas**

Parámetro	Unidades	Piscícola 1	Piscícola 2
DQO	mg/L	44339	39600
Sólidos totales	mg/L	28470	38580
Sólidos volátiles	mg/L	15200	21232
pH	mg/L	7,6	6,8
Alcalinidad	mg/L	2158	2454
C orgánico total	g/kg (base seca)	4266*	3146
N total	g/kg (base seca)	105,6*	92,4
N amoniacal	g/kg (base seca)	42,25*	45,6
N orgánico	g/kg (base seca)	60,35*	46,8
Aceites y grasas	% (base seca)	7,65*	17,3
AGV	mg/L	1449,3*	912,2

*Para lodos finales o digeridos.

En el lodo crudo existe un alto contenido de materia grasa (piscícola 2), la cual está dado por un 17,3%; cuando comienza el proceso de degradación de la materia orgánica esta disminuye llegando a 6,39%, con una eficiencia de remoción de 63% (piscícola 1); el contenido de aceites y grasas es similar a la granja 2 llegando

a un contenido de 7,65% durante un periodo de 52 días.

Por su parte, el nitrógeno total en el lodo digerido, en la granja 1 fue de 105,6 g/kg en base seca, y para la granja 2 de 105,4 g/kg (base seca), con un 42% y 51% de nitrógeno amoniacal, respectivamente. El índice de amonio sobre nitrógeno amoniacal aumentó durante la digestión debido al proceso de hidrólisis de las proteínas.

Uno de los principales parámetros a controlar en un proceso de degradación de la materia orgánica es la relación C/N, que es la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno. Casi la totalidad del nitrógeno orgánico presente en un residuo orgánico es biodegradable y disponible. Con el carbono orgánico ocurre al revés; una gran parte se engloba en compuestos no biodegradables.

Finalmente, se considera que un lodo ideal para ser un buen fertilizante debe presentar una relación de C/N de 30/1, según las caracterizaciones, el lodo presenta relaciones de C/N cercanas a 30 con valores para la granja 1 de 38/1 y para la granja 2 de 40/1; si bien, el lodo crudo presenta una relación C/N más cercana a 30, este lodo es perjudicial utilizarlo como fertilizante según lo establecido en el reglamento vigente que señala que un lodo crudo no es apto para su uso en agricultura.

Estudios recientes en Colombia sobre composición del sedimento en estanques piscícolas, son reportados por Hernández et ál. (2009), para dos granjas comerciales de cachama blanca ubicadas en Villanueva (Casanare) y Lejanías (Meta); la caracterización final se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. **Composición de sedimentos en dos granjas de los Llanos orientales**

Componente	Piscícola	
	Yavir (Villanueva) No. 1 (Media ± DE)	Las Palomas (Lejanías) No. 2 (Media ± DE)
Materia orgánica %	1,62 ± 0,69	1,50 ± 0,65
pH	5,74 ± 0,16	7,14 ± 0,10
P ppm	57,80 ± 17,89	78,34 ± 17,74
Al meq/100 g	0,16 ± 0,06	0,13 ± 0,03
Ca meq/100 g	3,33 ± 1,73	11,32 ± 4,82
Mg meq/100 g	0,39 ± 0,40	1,01 ± 0,63
K meq/100 g	0,15 ± 0,17	0,09 ± 0,03
Na meq/100 g	0,07 ± 0,04	0,05 ± 0,03
Cu ppm	2,08 ± 0,55	5,21 ± 1,65
Fe ppm	265,90 ± 110,89	60,27 ± 21,98
Mn ppm	5,14 ± 2,89	8,19 ± 4,68
Zn ppm	5,97 ± 1,98	1,43 ± 0,73
B ppm	0,99 ± 0,62	0,23 ± 0,16
S ppm	17,94 ± 4,04	42,16 ± 23,22

Fuente: elaboración propia.

No se encontraron diferencias significativas en cuanto al contenido de MO y minerales entre muestreos ni entre

estanques de una misma granja; sin embargo, sí hubo diferencias en parámetros como pH, contenido de fósforo, calcio, cobre, hierro, boro y azufre entre las dos granjas. El promedio de materia orgánica (MO) encontrada en la granja No. 1 (1,62%) y la No. 2 (1,5%), son valores bajos, comparados con el sedimento de manglar o estuario (40%).

Según Ramírez y Noreña (2004), cuando el porcentaje de MO es menor del 10%, se le cataloga como sedimento mineral y disminuye la capacidad de intervenir en la inmovilización de metales pesados, ya que actúa como agente complejante de algunos elementos. La temperatura del trópico también puede influir en los bajos valores de MO de los sedimentos porque aumenta la actividad microbiana produciendo una rápida mineralización del material orgánico aún dentro de la columna de agua.

El valor de pH presenta marcada diferencia entre las dos granjas: (7,14) en la No. 2 y (5,74) en la No. 1, aunque en los dos casos se encuentra dentro del rango considerado apto para la producción, tiene especial significado en el manejo del estanque, ya que el pH modifica la solubilidad de los minerales.

El fósforo, considerado macronutriente tiene características interesantes, es capturado por el sedimento de los estanques, allí el fósforo depositado en la materia or-

gánica es liberado por la actividad microbiana, una parte de esa porción liberada es absorbida por las plantas pero el sobrante reacciona con Fe_3 , Al_3 y Ca_2 , para ser nuevamente fijado en el suelo. Esto puede explicar la menor concentración de fósforo en el suelo de la granja No. 1 (57,8 ppm \pm 17,8) comparado con el fósforo de la granja No. 2 (78,3 ppm \pm 17,7), ya que allí, los altos contenidos de hierro pueden reaccionar con el fósforo para formar fosfatos de hierro.

Producción potencial de sedimentos

En el país, los tres grandes productores de alimento concentrado para peces de cultivo (en la línea de truchas), calculan una conversión alimenticia cercana a 1,3:1 para todo el ciclo. Sobre digestibilidad en la especie, no existen registros confiables en Colombia, pero en Chile, Hettich (2004), reporta valores de digestibilidad total para trucha arco iris del 85%.

Se calcula que un 5% en peso del alimento suministrado a los peces no es ingerido (pérdidas por manejo) y cerca del 15% del alimento suministrado se transforma en heces (digestibilidad del 85%). Así se estima que, por lo menos un 20% del alimento suministrado a peces de cultivo se transforma en sedimentos, lo que correspondería a unas 2400 toneladas/año de alimento exógeno que

formará parte del sedimento; además, se deben considerar los sólidos en suspensión que provienen normalmente de la fuente hídrica.

Ecoing Ltda. (2009) en Chile, elabora una guía para la evaluación de proyectos de piscicultura ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en los cuales proponen la aplicación de lodos en suelos de aptitud silvoagropecuaria, con el fin de impedir efectos adversos significativos de suelos, cultivos, ganadería, fauna y flora silvestre, aguas superficiales y subterráneas. La guía está enfocada en lodos generados en procesos de limpieza, recirculación y filtrado de las aguas de la piscicultura de agua dulce, incluyendo los generados después de concentración, floculación o estabilización y hace referencia a aquellos procedimientos rutinarios cuyo objetivo primordial es alcanzar una correcta producción en términos de calidad e inocuidad, siempre en cumplimiento de códigos y normas nacionales e internacionales. Igualmente, realiza una cualificación y cuantificación de los residuos asociados a lodos en cultivos de salmónidos.

Los lodos generados durante los ciclos corresponden principalmente a material fecal y restos de alimento no consumido y calculan un factor entre 1,4 a 1,8 toneladas de lodo por cada tonelada de pez producido. Se presentan resultados fisicoquímicos y biológicos de lodos se-

gún los diferentes estados del proceso en plantas piscícolas chilenas donde se incluyen aspectos ambientales y posibles implicaciones en el suelo por parámetro; a la vez que se hacen recomendaciones y medidas de manejo para la aplicación de lodos en el suelo.

Sedimentos y lagunas de oxidación

En Colombia, las granjas dedicadas al cultivo de truchas poseen aceptables prácticas de alimentación y uso alternativo para las vísceras. Lo anterior obedece a los altos costos por concepto de alimentación y a la mitigación de impactos originados por la generación de subproductos. Hoy día existen varios estudios sobre el uso de vísceras para hacer ensilajes destinados a la alimentación de la misma especie en las etapas de levante y ceba. Surge entonces la cuestión de la precisión sobre el impacto ambiental que generan las granjas productoras de truchas. Puede puntualizarse que básicamente se genera un impacto en la disposición y uso de los sedimentos de las lagunas de oxidación de las granjas, aspecto relevante en aguas frías.

En términos ambientales, se exige que toda granja de peces debe destinar un área a la recolección de los sedimentos originados, en donde se almacenen por periodos de tiempo variable, de manera que se permita y facilite los procesos de

degradación orgánica normal, situación cuyo control depende en principio de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), como organismos ejecutivos de las políticas ambientales del país. Estas instituciones, con base en la legislación vigente, determinan que las lagunas de oxidación deben permitir la retención del 80% de sólidos en suspensión, permitiendo la absorción de nitrógeno y otros excesos de nutrientes, a la vez que los sólidos existentes se decanten mediante el uso de plantas macrófitas.

Así mismo, se considera que las lagunas deben tener un área cercana al 10% del espejo total de agua y una profundidad mínima de 2 metros, garantizando la retención del agua entre 3 y 5 días. Se recomienda sembrar especies como el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) y el helecho de agua (*Azolla filiculoides*), las que, gracias a sus raíces flotantes, logran disminuir la concentración de sólidos y absorben nutrientes como nitrógeno y fósforo, y de esta manera, ayudan a disminuir los impactos.

La Asociación de Acuicultores de los Llanos Orientales (ACUIORIENTE), en su manual sobre Buenas Prácticas de Producción Acuícola (2007), recomienda para el buen manejo de estanques, algunas medidas como la de verificar la concentración de lodos en el fondo de estanques y lagunas de oxidación, redistribuirlos en estanques o en reparación

de diques, retirarlos de estanques o laguna de oxidación para una apropiada disposición y puede usarse como abono orgánico en la granja. En el departamento del Meta se publicó la *Guía ambiental piscícola* (2007), en la que se hace una breve mención sobre los sedimentos de estanques; en específico, sobre el manejo de lodos, se afirma que el mayor impacto radica en el deterioro del agua del medio natural por el mal manejo, anotando que para minimizar o mitigar efectos de deterioro se recomienda:

- Manejo adecuado del alimento.
- Adecuada práctica de fertilización de estanques.
- Uso de lodos como fertilizante para cultivos agrícolas.

La afirmación anterior sobre el uso indiscriminado de sedimentos o lodos como fertilizante agrícola carece de estudios específicos en el país, pues se desconoce su composición biológica y química para sugerir su uso en actividades de producción agrícola. Se supone que el uso estaría más como “acondicionador orgánico de suelos”, buscando mejorar las condiciones agronómicas.

Los estanques o lagunas de sedimentación deben retener el agua por un tiempo suficiente para la sedimentación de sólidos. El gran volumen y la gran cantidad de descarga de un estanque al momento de las limpiezas o cosechas torna

esta solución un tanto impracticable. La eficiencia puede ser incrementada si se descarga solamente la porción final del efluente dentro del estanque o laguna de sedimentación. Esto es, porque los nutrientes se concentran en la última porción, 5-20% del volumen de descarga del estanque. Nuevas técnicas han sido desarrolladas por Texas Natural Resource Conservation Commission, para el manejo de efluentes de la acuicultura; una de estas prácticas es la que el 25% final del efluente del estanque es dejado 48 horas en sedimentación antes de ser enviado al medio ambiente, siempre y cuando la cantidad de sólidos en suspensión no exceda los 30 mg/L (Pardo, Suárez y Soriano, 2006).

Brinker y Rosch (2005) afirman que, el tiempo de residencia en un estanque de sedimentación condiciona directamente el tamaño y el número de estanques necesarios para tratar los efluentes. Definen que la sedimentación es eficiente en la remoción de sólidos en suspensión (cenizas) y no lo es para el nitrógeno, por lo que este proceso debe ser solamente una parte del tratamiento del efluente. Estudiando el tamaño de las partículas, concluyen que deben evitarse situaciones que fragmenten más los sólidos en suspensión, como la exagerada turbulencia de los aireadores.

En climas tropicales la acumulación del lodo en lagunas anaerobias de oxidación es

muy rápida, puede oscilar entre dos a cinco años. La tasa de acumulación de lodos puede variar entre 0,03 a 0,04 m³/año, (Mara, 1976). La limpieza o dragado deberá ser realizado cuando el volumen de lodo corresponde a un tercio o a la mitad del volumen de la laguna; o también cuando se haya producido una acumulación de 50 a 100 cm de lodo, vaciando el agua almacenada y dejando secar el sedimento por evaporación, para su posterior traslado.

Sobre diseño general de lagunas de oxidación, Saéñz (1997) propone que dichas estructuras deberían ser cuadradas (relación ancho/largo de 1) y tener una profundidad adicional de 60 cm para la eficiente acumulación de lodos provenientes de la actividad piscícola y que dicha acumulación depende en gran parte de la temperatura promedio anual del agua, que cuando es cercana a 15 °C, se podrá remover cada dos años; sin embargo, en la mayoría de estudios de diseño de lagunas de oxidación, se ignoran aspectos muy importantes como la forma, la ubicación del afluente y del efluente y la acumulación, manejo y remoción de lodos.

Por otro lado, Blanco (1995) afirma que para aminorar las poluciones acuáticas derivadas del vertido directo de las aguas de cultivo de las truchifactorías, la legislación española dispuso la obligatoriedad de instalar estanques, balsas de

decantación o lagunas de oxidación. Su superficie debe ser equivalente al 10% de la superficie total de los estanques de que conste la piscifactoría y encontrarse situada de tal forma que recoja todas las aguas antes de ser vertidas. Cuando las instalaciones albergan alta concentración de peces por metro cúbico, con reoxigenaciones naturales o artificiales y con estanques de hormigón (cemento), especialmente preparados para eliminar los sólidos de los fondos, las dimensiones de estas lagunas por lo general no son las necesarias. Los daneses sugieren que dicha instalación debe tener una forma rectangular y estar dotada de tres compartimientos, siendo el central donde se realiza la sedimentación, coadyuvando los laterales en conseguir que la velocidad del agua no exceda de 2-4 cm/s.

Las lagunas de oxidación deben trabajar con un flujo muy lento (largo tiempo de permanencia) y una muy alta producción biótica. Para lograr separar los complejos de producción y aumentar su efectividad, idealmente, se deben diseñar y construir tres lagunas en serie, 1) la que recibe las aguas directas del proceso piscícola, 2) aquella que recibe aguas ricas en materia orgánica provenientes de la primera laguna y las diluye con agua fresca del afluente y, 3) la laguna que elimina el exceso de nutrientes con ayuda del buchón de agua (*E. crassipes*); sobre área y forma ideal de lagunas de oxidación, no se hace mención alguna. Se afirma

que las lagunas de oxidación sin mantenimiento se saturan rápidamente y pueden convertirse en una bomba ecológica (Wedler, 1998).

Estudios sobre sedimentos piscícolas en Colombia

La mayor documentación disponible se encuentra en los reportes documentados del Grupo de Investigación en Alimentación y Nutrición de Organismos Acuáticos (GRANAC) (Instituto de Acuicultura de los Llanos, Universidad de los Llanos en Villavicencio, Meta). En la investigación que adelantaron, se analiza el sedimento de estaques piscícolas comerciales de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), caracterizando la concentración de materia orgánica, pH, macronutrientes y micronutrientes en dos granjas de la región. Los análisis revelaron diferencias entre las dos granjas para los valores de pH, fósforo, calcio, cobre, hierro, zinc, boro y azufre (Hernández et ál., 2009). En las conclusiones mencionan que las diferencias en cuanto a cantidad de nutrientes en el sedimento piscícola, están fuertemente influenciadas por el origen de los suelos. Aunque algunos macro y micronutrientes tienen valores altos y hay diferencias entre las dos granjas estudiadas, no se observaron signos de toxicidad o deficiencias en los animales cultivados.

Por su parte, Yossa et ál. (2009) analizan la granulometría del sedimento en estan-

ques piscícolas de la misma universidad, encontrando que la arena representó más del 50%, seguida del limo y la arcilla; una composición que contiene limo y arcilla fue observada como capa superficial en el primer muestreo. El sedimento del estanque se clasificó como un suelo tipo arenoso. Los sedimentos que presentan porcentajes de materia orgánica menor a 10% —como es el caso de los que fueron analizados— son denominados sedimentos minerales y no aportan en la fijación de algunos de los metales presentes en el sedimento para que sean reciclados y se encuentren disponibles en la columna de agua.

Al respecto, Vialori, Bartoli, Giordani, Magni y Welsh (2004) mencionan que el tamaño de las partículas que componen el sedimento determinan, entre otros aspectos, la textura del fondo del estanque, la fauna que habita allí, la capacidad de retención de residuos de procesos metabólicos, como amonio y fosfatos, y la afinidad de absorción para sustancias adicionadas al estanque como cal y abonos orgánicos o inorgánicos.

Uso y manejo de sedimentos piscícolas en otros países

Stevenson, Fitzsimmons, Clay, Alessa y Kliskey (2010) investigan sobre la integración de la acuicultura y la agricultura en tierras áridas de Arizona (Estados Unidos) con el fin de la reutilización de

agua y la reducción en la dependencia de fertilizantes. Analizaron el agua y los biosólidos de estanques cultivados con tilapia nilótica, bagre de canal y carpa koi y su posible aplicación en cultivos agrícolas de algodón y cebada.

En los análisis se tomaron en cuenta nitrógeno total, amonio, nitrógeno orgánico, nitrato, fosfato, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y pH. Muestras de biosólidos de estanques como lodos residuales y sedimentos fueron colectados de diversos puntos de los estanques y analizados para contenido de nitrógeno y fósforo. El agua del efluente se caracterizó por su alto contenido de nitrógeno total y de amonio; este último, probablemente, no es retenido en lodos del fondo y es fijado frecuentemente por algas en forma de nitrógeno orgánico.

Los beneficios de la integración acuicultura-agricultura son evidentes para una mejor calidad del medio ambiente. El uso de tal integración en tierras áridas es efectiva, cuando se reutiliza agua y reducen costos de fertilizantes químicos. El efecto positivo de irrigar cultivos con aguas de efluentes fue el aumento de la producción de los cultivos, especialmente, cuando el agua contenía material de suelo con altos niveles de NO_3 y nitrógeno total.

La aplicación de biosólidos deshidratados provenientes de estanques no compete

con el histórico uso de fertilizantes durante determinados periodos de tiempo. Los indicadores más notables del estudio fueron el contenido de nitrato en plantas (no de fosfato), altura de las plantas y nudos por planta de algodón. En general, para esta clase de integraciones, la reducción en el uso de fertilizantes osciló entre 34 a 53% y la mejora en la fertilidad y biodiversidad de suelos, fueron aspectos positivos desde una perspectiva ambiental (Stevenson et ál., 2010).

En Brasil, los autores Glauco, Cortez, Bellingeri y Dalri (2009) realizaron ensayos de cultivos hidropónicos de alfalfa, *Lactuca sativa*, para integrarlo a la crianza intensiva de matriña, *Brycon cephalus*. El agua circulaba de forma continua entre los dos sistemas productivos. Luego que el agua pasara por los tanques de cría, era conducida hacia un decantador construido en fibra de vidrio de forma rectangular para reducir la velocidad del agua y posibilitar la decantación de los residuos sólidos (lodos) que eran removidos diariamente. Los tanques de cría de peces tenían una capacidad de 2,5 m³ cada uno para 60 peces. Los nutrientes disueltos en el agua residual utilizada para el cultivo hidropónico y provenían de la dieta ofrecida y de las excretas de los peces.

Comparando los nutrientes disueltos en el agua residual con los presentes en soluciones nutritivas comerciales, se ob-

serva que la mayoría de nutrientes están presentes en similar cantidad, excepto las concentraciones de calcio y magnesio. Es decir, la concentración de nutrientes presentes entre los sistemas, prácticamente no varía, esto posiblemente debido a varios factores como la especie del pez y la densidad de siembra, la calidad y cantidad de alimento ofrecido y la calidad del agua disponible. La concentración entre elementos químicos del agua del sistema integrado y el agua de dos soluciones nutritivas se reporta en la tabla 5.

A nivel de productividad se obtuvieron diferencias significativas entre los cultivos, variando de 2,33 a 4,49 kg/m². Seawright, Stickney y Walker (1998) obtienen valores de 1,8 kg/m² para la misma integración. El peso fresco de las plantas también mostró diferencias estadísticas entre los cultivos, variando entre 209 y 403 g, para un ciclo cultural de 56 días. En cultivo hidropónico convencional, Castellane y Araújo (1995) reportan un peso medio entre 182 y 206 g en 50 días y Seawright et ál. (1998) un valor de 120 g, en 35 días, ambos estudios en sistemas integrados.

Chile produce alrededor de 500.000 toneladas anuales de trucha y salmón, lo que lo posiciona como uno de los primeros productores mundiales de salmónidos, hecho que ha obligado al fortalecimiento de una política ambiental altamente responsable. Teuber, Salazar y

Tabla 5. Composición química del agua en sistema integrado y en dos soluciones nutritivas

Elemento	Sistema Integrado	Solución nutritiva, Castellane y Araujo (1995)	Solución nutritiva, Seawrighth et ál. (1998)
N	0,192	0,250	0,144
P	0,069	0,062	0,130
K	0,072*	0,430	0,147
Ca	0,283	0,190	0,146
Mg	0,017*	0,024	0,203
S	0,047	0,032	0,018
Cu	0,330	0,050	0,040
Fe	19,000	2,240	2,100
Mn	1,000	0,550	0,210
Zn	0,330	0,260	0,140
B	0,620	0,320	0,200

Valdebenito (2007) evaluaron el efecto de diferentes dosis de lodos provenientes de la crianza de salmones, en el cultivo de papa y su efecto residual en la gramínea *Ballica anual*. Los tratamientos con lodos se basaron en la adición de 50, 100 y 150 toneladas por hectárea, un control y un tratamiento con fertilización inorgánica. Se obtuvo un mayor rendimiento de la papa con el fertilizante empleado.

Entre los tratamientos de lodos, no hubo diferencia significativa sobre la producción de papa (45,6 a 47,5 toneladas por hectárea); tampoco se evidenció diferencia con el tratamiento control (39,5 toneladas por hectárea). En cuanto al peso del tubérculo, tampoco existió diferencia significativa en peso, pero sí en el número de tubérculos por planta. *Ballica*

anual presentó mejores rendimientos con el fertilizante y, en conclusión, los lodos o sedimentos provenientes de granjas de salmón, no afectaron la emergencia ni el desarrollo del cultivo de papa, pero elevaron el nivel de fósforo y las bases de intercambio del suelo.

La piscicultura Los Fiordos Limitada (2005) en Melipeuco, Chile, dentro de su plan de manejo para lodos provenientes de explotaciones de salmón, trabajan con una comunidad cercana en una superficie de cinco hectáreas, con suelos mal drenados y de textura franco-limoso. Evaluaron la utilidad potencial de los lodos generados en una piscicultura para su uso en la agricultura, en el sentido de aprovechar su calidad como mejorador de suelos, teniendo en cuenta resguardos

sanitarios y ambientales necesarios en su manejo; aplicando los lodos a una profundidad de 30 centímetros, mezclando con suelos propios del sitio. Se afirma que se mejoró la fertilidad y la actividad microbiana y los suelos no cambiaron significativamente con la aplicación de lodos provenientes de la piscicultura. En suelos degradados, preservaron y mejoraron las características; además, la concentración de metales pesados presentes en lodos y en suelos mezclados con lodos, no sobrepasaron los niveles permitidos.

Concluyeron que este tipo de lodos presenta un alto contenido de materia orgánica y nitrógeno, lo que mejora las condiciones del suelo (fertilización y actividad microbiana) y afirman que se pueden aplicar los lodos en suelos degradados, preservando y mejorando sus características, evitando su deterioro y daños a la salud o desarrollo de plantas o animales. Como se anotó, Salazar et ál. (2005) estiman que cada tonelada de salmón genera 1,4 toneladas de biosólidos, lo que pone en evidencia que si no se buscan alternativas para su destino, estos biosólidos llegarán a constituir un grave problema ambiental. Además, cuando estos son mal manejados pueden constituir un riesgo a la salud (As, Cd, Hg, Pb, Se y Zn), a los cultivos (Cu, Ni, y Zn), y a los ecosistemas en sus recursos de suelo y agua (N, P), llegando incluso a contaminar los suelos con patógenos.

También en Chile, Celis (2007) reportó estudios sobre la aplicación de biosólidos residuales de salmonicultura y demostró que estos residuos pueden reciclarse sin perjudicar los cultivos como el maíz forrajero y praderas de gramíneas, siempre y cuando, sean incorporados a 12 centímetros en el suelo. Por otra parte, Teuber et ál. (2007) sostienen que el reciclaje de los biosólidos acuícolas en suelos agrícolas es factible, pero requiere mayores estudios relacionados a su complementación con fertilizantes inorgánicos, biodisponibilidad de metales pesados al suelo y al posible efecto negativo de altas dosis en años sucesivos.

Otros estudios han reportado que cuando se trabaja con dosis de biosólidos, es importante tener presente que altas tasas de aplicación pueden generar problemas de contaminación de aguas por fósforo, tal como se indica en un estudio con residuos de salmónidos en suelos volcánicos chilenos (Teuber et ál., 2007). El uso de biosólidos provenientes de cultivos de salmónidos, indican que las propiedades químicas del suelo no se ven afectadas significativamente, y sólo aumenta el fósforo y algunas bases al aplicar dosis más altas (Salazar et ál., 2005). En suelos patagónicos sí hubo respuesta ante aumentos progresivos de las dosis utilizadas al poco tiempo de aplicar los biosólidos de lago y piscicultura; en términos de biorremediación, la aplicación de sólidos en suelos patagónicos, evidenció un aumento signi-

ficativo de la materia orgánica, la agregación de partículas, y en general, favoreció el movimiento de agua y aire del suelo.

Basare (2009) afirma que los residuos que se generan en el proceso productivo de las pisciculturas, denominados comúnmente sedimentos o lodos, están constituidos principalmente por restos de alimento no consumido, excretas y orina. Estos lodos presentan una alta concentración de materia orgánica y compuestos nitrogenados, debido a los desechos metabólicos de la especie de cultivo. Según la normativa vigente en Chile, estos lodos son clasificados como lodos no peligrosos. El Decreto Sanitario 90 de 2002, norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, se ocupa de este problema. En general, estos Residuos Líquidos Industriales (RILES) son trasladados a un tratamiento primario, que consiste en una o varias piscinas de sedimentación, con el objetivo principal de reducir los sólidos decantables en suspensión.

Es práctica común para el tratamiento de lodos de pisciculturas, el empleo de canchas de secado, las cuales no han dado resultado exitoso, ya que generan problemas de mal olor por la baja eficiencia que el sistema presenta, especialmente, en zonas de baja temperatura ambiental. Otra forma empleada por los

piscicultores para el manejo de lodos, es la disposición final en pozos de tierra, práctica que no se ajusta a la normativa ambiental vigente, dado que no existe control sobre los vectores, gases y lixiviados producidos por la biomasa.

Desde un punto de vista ambiental, el tratamiento de estos lodos mediante la lombricultura (vermicompostaje) es una excelente alternativa y en la normativa chilena, estos lodos se clasifican —desde el punto de vista sanitario— como de Tipo A, lo que significa que no tiene restricciones sanitarias para su aplicación a suelos agrícolas, atendiendo a que se transforman en lodos estabilizados. La práctica de vermicompostaje permite además obtener beneficios económicos extras, al generar un biofertilizante (humus de lombriz) de excelente calidad, inocuo y sin restricción para uso agrícola. En términos generales, para implementar este procedimiento es preciso considerar tres etapas: 1) de incremento de la flora microbiana con aporte del sustrato específico; 2) la composta de lodo de piscicultura y 3) de vermicompostaje, propiamente dicha.

Una nueva estrategia en este manejo, consiste en un equipo que funciona desplazando grandes caudales de agua rica en oxígeno, en forma constante, desde la zona superior de la columna de agua hacia el sedimento que se acumula bajo las jaulas de cultivo. La operación guiada por sistema de GPS, se realiza con una

irrigación punto a punto, logrando una completa cobertura del área objetivo, aumentando así la cantidad de oxígeno disponible en el sedimento, lo que permite su rápida recuperación a través de procesos naturales, en un menor tiempo y con el mismo resultado, en términos físicos, biológicos y químicos.

Las ventajas de la utilización del Servicio de Recuperación de Fondos (SRF) en centros de cultivo de salmónidos son: remediación a través del mejoramiento de la calidad del sedimento, dejándolo apto para cumplir las normativas, evitando cierres o caducidad de la concesión por incumplimientos ambientales; al aumento de la calidad y la valorización de la concesión acuícola, ya sea gracias a la operación del centro por más tiempo, o por la recuperación de la capacidad de carga de la zona de cultivo.

Troncoso, Rojas, Millán y Schroeder (2007) evaluaron la factibilidad del tratamiento de los sedimentos anaeróbicos ubicados bajo las jaulas de cultivo de salmones, empleando Hidróxido de Magnesio, para determinar su efecto en el pH, potencial Redox, materia orgánica total MOT (%), granulometría y abundancia de especies del macrozoobentos. Los tratamientos con distintas dosis del producto (100 g/m², 250 g/m², 500 g/m², 1000 g/m² y 2000 g/m²) fueron hechos en un área previamente definida, por un periodo de 11 meses en un centro de

cultivo de salmones, cercano a la ciudad de Calbuco, X Región, Chile. Los principales resultados permiten señalar que el uso de este producto podría retornar el potencial Redox de los sedimentos a valores positivos, elevar el pH, reducir el porcentaje de MOT e incrementar la abundancia de las especies presentes en el sedimento.

Se recomienda la aplicación en sedimentos anaeróbicos de dosis de 250 g a 500 g de Mg(OH)₂ por metro cuadrado, con una frecuencia de tratamiento de tres meses. Además, se propone ampliar este estudio a otras zonas de cultivo. Con condiciones anaeróbicas, que presenten diferentes características ambientales en términos de su batimetría, hidrodinámica y bioturbación, para complementar los resultados obtenidos en este trabajo, incluyendo un estudio de la evolución de la población microbiana presente en el sedimento bajo las jaulas de cultivo de salmones.

Sena-Ceniagua (2010) citan que en España, los efluentes de las instalaciones acuícolas incluyen el alimento no ingerido, las excreciones metabólicas, las heces y los peces muertos y están formados tanto por residuos sólidos como por nutrientes orgánicos e inorgánicos. Si el flujo de estos compuestos hacia el ambiente supera la capacidad de asimilación de los ecosistemas, podría causar impactos severos tanto en la columna

de agua como en el bentos (comunidades del sustrato), como eutrofización, agotamiento de oxígeno y alteración de la biodiversidad local. La magnitud del impacto ecológico dependerá de las condiciones físicas y oceanográficas del lugar, temperatura del agua y capacidad de asimilación del ecosistema, gestión de la granja, tamaño de la misma, densidad de cultivo, duración de las operaciones de cultivo, digestibilidad de la comida y estado de salud en general de los peces.

También mencionan la incorporación de modelos de evaluación de impacto ambiental basados en la información diaria de operación, en relación con la densidad de cultivo, tasa de alimentación y variables abióticas (corriente de agua, profundidad, ciclos de marea y vientos) relacionando la información con los ciclos bioquímicos de descomposición de la materia orgánica, tanto en el agua como en el sedimento (medición de nutrientes como N y P, materia orgánica), tanto de la columna como del sedimento. Lo anterior, para ser empleado en el análisis de comunidades biológicas antes y durante los ciclos de cultivo, apoyados con el uso de software y SIG, para monitorear las variables.

Como parte del proceso auxiliar de producción, se menciona la separación de heces y lodos en las aguas residuales acuícolas; se incluye dentro de la elaboración del diagnóstico ambiental el mues-

treo y análisis de residuos y vertidos, pero no se especifica nada al respecto. Una medida de minimización es la retención de sólidos y sustancias tóxicas en los sistemas de recirculación del agua a través de sistemas de retención de sólidos. Se reconocen los lodos como un residuo propio de la actividad acuícola, sin embargo, no se menciona nada sobre su manejo y utilidad (Jacumar, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino, 2008).

Conclusiones

En la producción truchícola, deben ser expuestas varias consideraciones, como: a) Se trata de producciones que por lo general se ubican en una escala intensiva, b) Por las exigencias de la especie, la calidad de agua requerida, hace que las explotaciones se localicen sobre cuencas que normalmente se utilizan también para la instalación de sistemas de acueducto para provisión de agua destinada a consumo humano, c) Las estimaciones indican que en esta escala intensiva, la generación de sólidos es particularmente elevada y d) Es claro el desconocimiento que tienen tanto las autoridades ambientales como los productores al respecto de la disposición final de estos desechos.

Aun cuando se disponga de infraestructura dirigida a su almacenamiento, las denominadas lagunas de oxidación tienen una vida útil limitada. Esto significa que en cualquier momento, tales estruc-

turas deberán ser sometidas a trabajo de mantenimiento en el cual la limpieza y el retiro de los sólidos es la estrategia a aplicar, lo que localiza el problema ambiental en el posible uso que se le pueda dar a los sedimentos generados.

El material sedimentado en muchos casos es devuelto a la cuenca, ocasionando pulsos de alto impacto sobre la cuenca y, obviamente, perdiendo el principio fundamental de autodepuración que supone la responsabilidad que asiste a cada productor. La naturaleza precisa de la composición del material y se debe, en consecuencia, ofrecer alternativas de uso pues es de presumir que este tipo de sedimentos tendría utilidad en otros escenarios de producción agropecuaria lo que, por tanto, requiere ser particularizado.

Se busca entonces, disponer de elementos analíticos dirigidos a proponer posibles esquemas de manejo de este tipo de lodos, dirigidos tanto a la eventual utilización en otras actividades agropecuarias, como para establecer los impactos que pueden generarse por una inadecuada disposición final. La valoración sobre la real eficiencia de los sistemas de oxidación es un producto adicional con utilidad puntual para las fincas experimentales y para determinar criterios de construcción y manejo que tengan una aplicación más universal, dentro del escenario que define la producción de truchas en Colombia.

Referencias

- Asociación de Acuicultores de Los Llanos Orientales-Acuioriente (2007). *Manual de buenas prácticas de producción acuícola*. Villavicencio, Meta.
- Blanco, M. C. (1995). *La trucha, cría industrial*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Boyd, C. E. (1995). *Bottom soils, sediment and pond aquaculture*. New York: Chapman & Hall, 69-137.
- Brinker, A. y Rosch, R. (2005). Factors determining the size of suspended solids in flow-through fish farm. *Aquacultural Engineering*, 33, 1-19.
- Buschmann, A. (2001). *Impacto ambiental de la acuicultura – el estado de la investigación en Chile y el mundo*. Santiago de Chile: Terram Publicaciones.
- Celis, J. (2007). Biosólidos Residuales de la Salmonicultura (BRS) y su potencial uso como remediadores de suelos. *Ciencia Ahora* 10(20), 80-85: Septiembre- Octubre.
- Ecoing Limitada. (2009). *Guía de aplicación de lodos de piscicultura en suelos*. Santiago de Chile, 21p. Recuperado el 21 de julio de 2012 de <http://www.sag.cl/common/asp/pagAtachadorVisualizador.asp?argCryptedData=GP1TKTXdhRJAS2Wp3v88hIPv%2BcfROCRm&argModo=&argOrigen=BD&argFlagYaGrabados=&argArchivold=14328>
- Gobernación Departamento del Meta (2007). *Guía ambiental piscícola*. Villavicencio, Meta.
- Glauco, E. P., Cortez, A.C., Bellingieri, P. A. y Dalri, A. B. (2009). Qualidade química

- da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(4), 494-498.
- Hernández, G., Yossa, M. y Vásquez, W. (2009). *Composición del sedimento en estanques piscícolas*. Memorias de XV Jornada de Acuicultura. Instituto de Acuicultura de Los Llanos IALL, 82-86.
- Hernández, G., Yossa, M. y Vásquez, W. (2010). *Dinámica del fósforo en estanques piscícolas cultivados con cachama blanca* (*Piaractus brachypomus*). Memorias XVI Jornada de Acuicultura. Instituto de Acuicultura de Los Llanos IALL, 78-85.
- Hettich, C. A. (2004). *Evaluación de la digestibilidad de dietas en trucha arco iris* (*Oncorhynchus mykiss*): *sustitución parcial de harina de pescado por tres niveles de harina de lupino blanco* (*Lupinus albus*). [Tesis de Grado]. Chile: Universidad Católica de Temuco.
- Jacumar-Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino (2008). *Guía de minimización de residuos de acuicultura*. Barcelona, España. 36p.
- Mara, D. (1976). *Sewage treatment in hot climates*. London: John Wiley & Sons.
- Márquez, C. F. (2005). *Estudio del tratamiento de lodos provenientes de pisciculturas mediante un sistema de digestión anaerobio*. [Trabajo de Grado] Ciencias de la Ingeniería. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile.
- Pardo, S., Suárez, H. y Soriano, E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Rev. MVZ Córdoba*; Enero-Junio; 11,1: 20-29.
- Piscicultura Los Fiordos, Limitada. (2005). *Plan de manejo de lodos*. Chile: Documento Técnico, 44p. Melipeuco.
- Ramírez, J. y Noreña, J. F. (2004). Caracterización del sedimento de una laguna tropical rasa. *Caldasía*, 26 (1), 173-184.
- Rosado, R. (2012). Comunicación personal. Docente-Investigador. Universidad Surcolombiana.
- Saézn-Forero, M. (1997). *IV Curso internacional sobre lagunas de estabilización: diseño, construcción, mantenimiento y uso del efluente*. Lima, 12p.
- Salazar, F., Alfaro, M, Teuber, N. y Saldaña, R. (2005). Uso de lodos de la industria salmonera en suelos agrícolas. *Rev. Tierra Adentro*; 60, Enero-Febrero, 53p.
- Seawright, D., Stickney, R., Walker, R. (1998). Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture*, 160, 215-237.
- Sena-Ceniagua-Oceanario Islas del Rosario (2010). *Cartilla de consideraciones ambientales y normativas para el establecimiento de cultivos marinos*, Recuperado el 18 enero 2012 de http://www.ceniagua.org/archivos/cartilla_cobia.pdf
- Stevenson, K., Fitzsimmons, K., Clay, P., Alessa, L. y Kliskey, A. (2010). Integration of aquaculture and arid lands agriculture for water reuse and reduced fertilizer dependency. *Expl Agric*; 46(2), 173-190.
- Teuber, N., Salazar, F. y Valdebenito, A. (2007). Efecto de diferentes dosis de lodo de la crianza de salmones, en el cultivo de papa y su efecto residual en *Ballica anual*. *Agricultura Técnica*, 67(4), 393-400.

- Troncoso, J. M., Rojas, X., Millán, M. y Schroeder, G. (2007). Recuperación de fondos marinos anaeróbicos, bajo balsas de cultivo de salmones, por medio del tratamiento con hidróxido de magnesio. *Salmo Ciencia*, (1), 67-71.
- Vialori, P., Bartoli, M., Giordani, G., Magni, P. y Welsh D. (2004). Biochemical indicators as tools for assessing sediment quality/vulnerability in transitional aquatic ecosystems. *Aquatic Conserv Mar Fresh Ecosyst*, (29), 14-19.
- Wedler, E. (1998). *Introducción en la acuicultura con énfasis en los neotrópicos*. Santa Marta: Litoflash Impresión.
- Yossa, M., Hernández, G., Ortega, J. y Vásquez, W. (2009). *Ensayo preliminar sobre granulometría en estanques piscícolas*. Memorias XV Jornada de Acuicultura, Universidad de Los Llanos, Instituto de Acuicultura de Los Llanos IALL, 78 -81.
- Yossa, M., Hernández, G., Vásquez, W. y Ortega, J. (2001). *Materia orgánica en estanques piscícolas*. Universidad de Los Llanos, Instituto de Acuicultura de Los Llanos IALL–Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 26p.

